

Možnosti ohlašování per- a polyfluorovaných látek (PFAS) do IRZ

PRO MŽP

AUDRLICKÁ VAVRUŠOVÁ LENKA

BRUNCLÍK TOMÁŠ

POUZAR MILOSLAV

Objednatel:

Ministerstvo životního prostředí
Odbor posuzování vlivů na životní prostředí a integrované prevence
Vršovická 65
100 10 Praha 10
IČO: 00164801

Zhotovitel:

Univerzita Pardubice
Studentská 95
53210 Pardubice 2
IČO: 00216275

| | |
|---------------------------------------|------------------------|
| Číslo smlouvy MŽP | 210 155 |
| Datum předání finální verze dokumentu | 11. 02. 2022 |
| Podoba dokumentu | Elektronická (MS Word) |

Obsah

| | |
|---|----|
| Seznam zkratk | 5 |
| Seznam tabulek | 8 |
| Seznam obrázků | 8 |
| 1. Výskyt polyfluoralkyl- a perfluoralkylovaných látek v životním prostředí | 9 |
| 1.2. Definice poly- a perfluoralkylovaných látek | 9 |
| 1.3. Fyzikálně-chemické charakteristiky | 10 |
| 1.4. Přehled průmyslových odvětví a typů produktů jako zdrojů PFAS | 11 |
| 1.5. Kontaminace odpadních, povrchových a pitných vod | 14 |
| 1.6. Kontaminace půd a sedimentů | 15 |
| 1.7. Ekotoxické účinky environmentálně relevantních koncentrací | 15 |
| 2. Zdravotní rizika polyfluoralkyl- a perfluoralkylovaných látek | 17 |
| 2.2. Toxikokinetika | 17 |
| 2.3. Toxikodynamika | 17 |
| 2.3.1. Biochemické mechanismy účinku | 17 |
| 2.3.2. Hepatotoxicita | 17 |
| 2.3.3. Reprodukční a vývojová toxicita | 18 |
| 2.3.4. Imunotoxicita | 19 |
| 2.3.5. Neurotoxicita | 20 |
| 2.3.6. Hormonální toxicita | 20 |
| 2.3.7. Tumorigeneze / karcinogenní účinky | 20 |
| 2.3.8. Limity pro ochranu lidského zdraví | 21 |
| 3. Analýza PFAS v různých typech matric | 23 |
| 3.1. Kapalinová chromatografie s hmotnostní spektrometrií (LC-MS) | 23 |
| 3.2. Další dostupné techniky | 24 |
| 3.3. Směry rozvoje analytických technik pro stanovení PFAS | 24 |
| 4. PFAS v seznamech chemických látek | 26 |
| 5. PFAS ve stávajících registrech emisí polutantů ve světě | 28 |
| 5.1. USA | 28 |
| 5.2. EU a členské státy EEA | 29 |
| 5.2.1. PFAS v registrech znečištění v Norsku a Švédsku | 30 |
| 5.3. Japonsko | 30 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.4. | Austrálie..... | 31 |
| 5.5. | Kanada | 31 |
| 6. | Legislativní normy dotýkající se problematiky PFAS..... | 32 |
| 6.2. | Evropská legislativa..... | 32 |
| 6.2.1. | PFOS v nařízení EU 2019/1021 | 32 |
| 6.2.2. | PFOA v nařízení EU 2019/1021 | 33 |
| 6.2.3. | PFAS v Evropské směrnici 98/83/ES o jakosti vod určené k lidské spotřebě..... | 35 |
| 6.2.4. | PFAS ve Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky | 35 |
| 6.2.5. | PFAS rámci nařízení REACH | 35 |
| 6.2.6. | PFAS rámci nařízení CLP | 36 |
| 6.2.7. | PFAS v rámci návrhů regulací předkládaných členskými státy EU | 36 |
| 6.3. | Legislativa v Austrálii | 36 |
| 6.4. | Legislativa v USA | 37 |
| 7. | Závěrečný souhrn | 39 |
| 8. | Literatura | 42 |
| 9. | Přílohy..... | 48 |
| 9.1. | Látky reportované do TRI v nenulovém množství Látky reportované v TRI za r. 2020 s nenulovým množstvím úniků, seřazeno podle celkových úniků, hmotnosti v Kg | 48 |
| 9.2. | Celková množství úniků PFAS reportovaná v TRI za r. 2020, v kg. | 50 |
| 9.3. | Cena analýzy | 50 |

Seznam zkratek

- ¹⁹F NMR: Fluorine-19 nuclear magnetic resonance – nukleární magnetické rezonance s využitím izotopu ¹⁹F, 23
- 3M: Kohorta pracovníků firmy 3M, 17
- 95%CI: 95% Confidence interval – 95% interval spolehlivosti, 20
- ADHD: Attention deficit hyperactivity disorder-porucha pozornosti s hyperaktivitou, 19
- AFFF: Aqueous Film-Forming Foam – pěnidla tvořící vodní film, 13
- AFFF/AR: Aqueous Film-Forming Foam/alcohol resistant – pěnidla tvořící vodní film odolná vůči alkoholu, 13
- AFPO: ammonium pentadecafluorooctanoate– pentadekafluortokonát amonný, 34
- AgPFO: Silver perfluorooctanoate – perfluoroktanoát stříbrný, 35
- ALT: Alaninaminotransferáza, 17
- ASTM: American Society for Testing and Materials - Americká společnost pro zkoušení a materiály, 22
- ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry – Americká agentura pro toxické látky a registr nemocí., 21
- C8: Kohorta obyvatel státu Západní Virginia, 17
- CIC: Combustion Ion Chromatography – spalovací iontová chromatografie, 23
- CLP: Classification, Labelling and Packaging Regulation – Nařízení o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, 34
- DLLME: dispersive liquid – liquid microextraction – dispersní mikroextrakce v systému kapalina - kapalina, 22
- DW: Dry weight– suchá váha, 14
- DWTPs: Drinking water treatment plants – úpravní pitných vod, 13
- EC: European Commission - Evropská komise, 27
- EFSA: European Food Safety Authority - Evropský úřad pro bezpečnost potravin, 21
- ECHA: European Chemicals Agency – Evropská chemická agentura, 34
- E-PRTR: The European Pollutant Release and Transfer Register - Evropský registr úniků a přenosů polutantů, 27
- EU: European Union–Evropská unie, 9
- FDA: Food and Drug Administration – Úřad pro kontrolu potravin a léčiv, 35
- FFF: Fluorine Free Foam – bezfluorová hasební pěnidla, 13
- FFF/AR: Fluorine Free Foam/Alcohol resistant – bezfluorová hasební pěnidla odolná vůči alkoholu, 13
- FTOHs: Fluorotelomer alcohols - Fluorotelomerní alkoholy, 9
- FTSAs: Fluorotelomer sulfonic acids– fluorotelomerní sulfonové kyseliny, 13
- GC: Capillary electrophoresis – kapilární elektroforéza, 23; Gas Chromatography – plynová chromatografie, 23
- GGT: γ -glutamyltransferáza, 17
- HED: Human Equivalent Dose – ekvivalentní dávka pro člověka, 21
- HFPO-DA: Hexafluoropropylene oxide-dimer acid - 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorproxy)propionová kyselina, 33
- HPLC FD: High-Performance Liquid Chromatography with Fluorescence Detection– vysokoúčinná kapalinová chromatografie s fluorescenční detekcí, 23

HZS ČR: Hasičský záchranný sbor ČR, 13

ILC: Ion liquid chromatography – iontová kapalinová chromatografie, 23

IRZ: Integrovaný registr znečištění, 37

KEMI: Švédská chemická agentura – Kemikalieinspektionen, 12

K_{OW}: Octanol-water partition coefficient – Rozdělovací koeficient oktanol-voda, 9

KPFO: Potassium perfluorooctanoate – perfluoroktanoát draselný, 35

LC PFAS: Long chain PFAS– perfluorované sloučeniny s dlouhým řetězcem, 9, 13

LC₅₀: Mean lethal concentration – střední letální koncentrace, 14

LC-MS: Liquid chromatography–mass spectrometry – kapalinová chromatografie ve spojení s hmotnostní spektrometrií, 22

LC-MS/MS: liquid chromatography with tandem mass spectrometry – kapalinová chromatografie s tandemovou hmotnostní spektrometrií, 22

LLE: liquid – liquid extraction – extrakce v systému kapalina - kapalina, 22

LOAEL: The lowest observed adverse effect level – nejnižší dávka s pozorovanými negativními účinky, 21

MRL: Minumum Risk Level – minimální riziková dávka, 21

MRM: Multiple Reaction Monitoring – režim sledování mnoha reakcí, 22

NEI: National Emission Inventory, 27

NK: natural killer, 18

NOAEL: No observed adverse effect level – nejvyšší dávka bez pozorovaných negativních účinků, 21

NTP: U.S. National Toxicology Program - Americký národní toxikologický program, 18

OECD: Organisation for Economic Co-Operation and Development – Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj, 8

PBTs: Persistent, Bioaccumulative and Toxic Chemicals– Perzistentní, bioakumulativní a toxické látky, 33

PFAAs: Perfluoroalkyl Acids - perfluoralkylované kyseliny, 9

PFAS: Per- and polyfluoroalkyl substances - Per- a polyfluoralkylované sloučeniny, 8

PFBA: Perfluorobutanoic Acid – Perfluorbutanová kyselina, 28

PFBS: Perfluorbutane sulfonate – perfluorbutansulfonát, 14

PFCAs: Perfluoroalkyl carboxylic acids - Perfluoralkylované karboxylové kyseliny, 9

PFDA: Perfluorodecanoic acid – Perfluordekanová kyselina, 28

PFDoDA: Perfluorododecanoic acid – Perfluordodekanová kyselina, 28

PFDoS: Perfluorododecanesulfonate – Perfluordodekansulfonát, 28

PFDS: Perfluorodecanesulfonate – Perfluordekansulfonát, 28

PFHpA: Perfluoroheptanoic acid – Perfluorheptanová kyselina, 28

PFHpS: Perfluoroheptanesulfonate – Perfluorheptansulfonát, 28

PFHxA: Perfluorohexanoic acid – Perfluorhexanová kyselina, 28

PFHxS: Perfluorohexanesulfonate – Perfluorhexansulfonát, 28

PFNA: Perfluorononanoic acid - Perfluornonanová kyselina, 21

PFNS: Perfluoronananesulfonate – Perfluornonansulfonát, 28

PFOA: Perfluorooctanoic acid - Perfluoroktanová kyselina, 9

PFOI: perfluorooctyl iodide – perfluoroktyl jodid, 35

PFOS: Perfluorooctanesulfonic acid – Perfluoroktansulfonová kyselina, 9

PFOSA: Perfluorooctane sulfonamide – perfluorooctan sulfonamid, 13
 PFOSF: Perfluorooctanesulfonyl fluoride – Perfluorooctansulfonyl fluorid, 9
 PFPA: Pentafluoropropionic acid – Pentafluoropropionová kyselina, 28
 PFPS: Perfluoropentanesulfonate – Perfluoropentansulfonát, 28
 PFSA: Perfluorosulfonic acid - Perfluorované sulfonové kyseliny, 9
 PFTTrDA: Perfluorotridecanoic acid – Perfluorotridekanová kyselina, 28
 PFTTrS: Perfluorotridecanesulfonate – Perfluorotridekansulfonát, 28
 PFUnDA: Perfluoroundecanoic acid – Perfluorundekánová kyselina, 28
 PFUnS: Perfluoroundecanesulfonate – Perfluorundekansulfonát, 28
 PIGE: Particle-Induced Gamma-ray Emission – emise záření gama indukovaná částicemi, 23
 PoD: Point of Departure – vstupní údaj pro výpočet daného limitu, 21
 PPAR α : Peroxisome Proliferator-Activated Receptor alpha, 16
 PRTR: Pollutant Releases and Transfer Register - Registr úniků a přenosů znečišťujících látek, 28
 PSDVB: polystyrenedivinybenzene – polystyrenedivinybenzen, 22
 PTFE: Polytetrafluoroethylene - Polytetrafluoretylen, 32
 PVDF: Polyvinylidene fluoride – Polyvinyliden fluorid, 32
 REACH: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals - European Union regulation, 12
 RfD: Reference dose – referenční dávka, 21
 RR: Relative risk-relativní riziko, 18
 SC PFAS: Short chain PFAS– perfluorované sloučeniny s krátkým řetězcem, 9, 13
 SDWA: Safe Drinking Water Act – Zákon o bezpečné pitné vodě, 35
 SEAC: Committee for Socio-Economic Analysis – Výbor pro socioekonomickou analýzu, 34
 SMR: Standardized mortality ratio – standardizovaná úmrtnost, 20
 SNUR: Significant New Use Rules– Pravidla pro významná nová použití chemických látek, 35
 SPE: solid phase extraction – extrakce na pevné fázi, 22
 SPME: solid phase microextraction – mikroextrakce na pevné fázi, 22
 SVHC: Substances of Very High Concern – Látky vzbuzující mimořádné obavy, 33
 T4: Tyroxin, 19
 TDI: Tolerable daily Intake – tolerovatelný denní příjem, 21
 TF: Total fluorine – celkový fluor, 23
 TOF: Total organic fluorine – celkový organický fluor, 23
 TOP: Total oxidizable precursor – celkový obsah oxidovatelných prekurzorů, 23
 TRI: Toxics Release Inventory, 27
 TSH: Tyreotropní hormon, 19
 TWI: Tolerable Weekly Intake – Tolerovatelný týdenní příjem, 34
 US EPA: U.S. Environmental Protection Agency– Americká agentura pro ochranu životního prostředí, 9
 WWTPs: Wastewater treatment plants – čistírny odpadních vod, 13

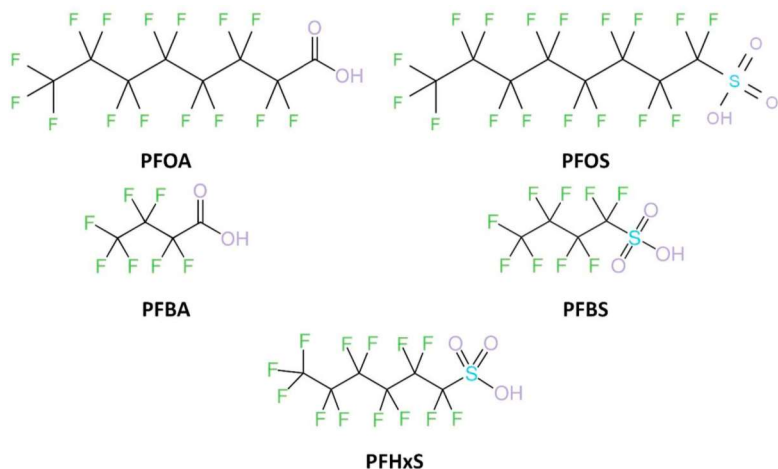
Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Hlavní kategorie PFAS podle OECD | 11 |
| Tabulka 2: Průmyslová odvětví a další oblasti využití PFAS..... | 12 |
| Tabulka 3: Vybrané hodnoty toxikologických limitů PFAS..... | 22 |
| Tabulka 4: Vybrané seznamy chemických látek obsahující PFAS | 26 |
| Tabulka 5: PFAS regulované na základě Drinking Water Directive 2020/2184..... | 29 |
| Tabulka 6: Seskupování PFAS podle vybraných kritérií pro potřeby prioritizace..... | 41 |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Příklady struktur nejběžnějších perfluorovaných látek..... | 9 |
| Obrázek 2: Stromová mapa využití PFAS v tunách v letech 2009-2017 v Norsku podle kategorií využití. Zahrnuty jsou pouze kategorie s využitím více než 200 kg PFAS. Celková plocha odpovídá 248 t PFAS..... | 13 |
| Obrázek 3: Stromová mapa množství PFAS v tunách importovaných do Norska 2009-2017. Celková plocha reprezentuje 249 tun. Barvy odpovídají OECD kategoriím struktury PFAS nebo KEMI PFAS. Šedě šrafovaná pole odpovídají CAS číslům látek zahrnutým podle OECD do polymerů. | 13 |

1. Výskyt polyfluoralkyl- a perfluoralkylovaných látek v životním prostředí



PFOA – perfluoroktanová kyselina
PFOS – perfluoroktan sulfonát
PFBA – perfluorbutanová kyselina
PFBS – perfluorbutan sulfonát
PFHxS – perfluorhexan sulfonát

Obrázek 1: Příklady struktur nejběžnějších perfluorovaných látek

1.2. Definice poly- a perfluoralkylovaných látek

Poly- a perfluoroalkylové- sloučeniny (PFAS) jsou skupinou vysoce fluorovaných syntetických organických látek se širokým spektrem fyzikálních a chemických vlastností a různými typy interakcí s živými organismy.

Definice látek spadajících do skupiny PFAS uváděné v publikacích nejsou vždy zcela jednotné a liší se v rozsahu látek, které zahrnují. V současnosti všeobecně uznávaná a citovaná definice, přejatá např. v souhrnném dokumentu Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) ¹o per- a polyfluorovaných látkách, je tato (v překladu)²

„Podskupina vysoce fluorovaných alifatických sloučenin obsahující jeden nebo více atomů C, na kterých všechny substituenty H (přítomné v nefluorovaných analogích, ze kterých jsou PFAS teoreticky odvozeny) byly nahrazeny atomy F takovým způsobem, že obsahují perfluoroalkylovou skupinu C_nF_{2n+1}.“

Strukturu PFAS lze tedy popsat obecným vzorcem C_nF_{2n+1}-R (zdroj³). Perfluoroalkylované látky jsou takové, které mají všechny atomy vodíku vázané na uhlík v nefluorovaném analogu nahrazené fluorem (kromě atomů vodíku, které jsou součástí funkční skupiny) a polyfluoralkylované látky pak mají alespoň u jednoho uhlíkového atomu (ne však u všech) všechny navázané vodíkové atomy nahrazené fluorem².

Jako příklad širší definice lze uvést novou definici podle OECD⁴ (v překladu):

„PFAS jsou definovány jako fluorované látky, které obsahují alespoň jeden plně fluorovaný metylový nebo metylenový atom uhlíku (bez jakéhokoli přímo vázaného atomu H/Cl/Br/I)“

Tato definice byla vytvořena mimo jiné proto, aby ze skupiny PFAS a potažmo z opatření k jejich sledování a regulaci nevypadly důležité látky, jako látky mající funkční skupinu na obou

koncích fluorovaného alifatického řetězce a látky s aromatickou strukturou ve funkční skupině vázané na takový řetězec. Přesto by i podle autorů materiálu OECD neměly být při regulaci fluorovaných látek opomíjeny další látky s přímými vazbami C-F, které nespadají ani pod novou definici, jako například látky jen s částečně fluorovanými alifatickými atomy uhlíku, či s fluorovanými aromatickými strukturami⁴. Vzhledem k velkému mezinárodnímu vlivu OECD se dá předpokládat, že tato definice se stane de-facto standardem.

OECD identifikovala v národních registrech chemických látek v členských zemích více než 4000 látek, které ve své molekule obsahovaly alespoň jednu perfluoralkylovou (-C_n-F_{2n}-) skupinu a na seznamu PFAS zpracovaném v roce 2019 Americkou agenturou pro ochranu životního prostředí (US EPA) figuruje více než 7000 položek. Zkratka PFAS popisuje polymerní i nepolymerní plně (per-) i částečně (poly-) fluoralkylované sloučeniny. Jedním z nejdéle používaných materiálů z dané skupiny je Teflon, modernější analogy jsou využívány např. k výrobě obalů na potraviny (obaly a nádoby pro fast-food provozy), čisticích a mycích prostředků (nepřílnavé povrchy), kosmetiky, vodu odpuzujícího textilu či hasebních směsí (pěny). Významná je též spotřeba PFAS při pokovování povrchů, v elektrotechnickém průmyslu a při zpracování minerálních olejů. Celá řada PFAS má amfipatický charakter, takže jejich molekula obsahuje jak hydrofilní, tak hydrofobní funkční skupiny. Díky přítomnosti vysoce stabilních vazeb mezi uhlíkem a fluorem (-C-F-) jde o molekuly, které jsou velmi odolné vůči chemickému, tepelnému i biologickému rozkladu. Vysoká stabilita představuje žádoucí vlastnost v rámci celé řady průmyslových aplikací, ale zároveň ovlivňuje osud PFAS v životním prostředí a je důvodem jejich perzistence a značného bioakumulačního potenciálu. Perzistence a s ní spojená všudypřítomnost těchto látek v jednotlivých složkách životního prostředí aktuálně vyvolává v mnoha zemích světa značné znepokojení. Narůstá objem literatury zabývající se toxickými a ekotoxickými účinky PFAS. K nejběžnějším a nejčastěji studovaným zástupcům dané skupiny látek patří zejména kyselina perfluoroktanová (PFOA) a perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS). PFOS a perfluoroktansulfonylfluorid (PFOSF) byly v roce 2009 přidány do přílohy B Stockholmské úmluvy a používání PFOS i PFOA je v mnoha zemích výrazně omezeno či zakázáno. V důsledku toho stoupá produkce náhradních látek jako jsou perfluoralkylované kyseliny (PFAAs) s krátkým řetězcem, k nimž patří zejména perfluorované sulfonové kyseliny (PFASs) a perfluoralkylované karboxylové kyseliny (PFCAs). K dalším alternativám patří i fluorotelomerní alkoholy (FTOHs). Právě působení PFAS s krátkým řetězcem na živé organismy je nyní v centru zájmu odborné komunity.^{5, 6}

1.3. Fyzikálně-chemické charakteristiky

Regulační orgány Evropské unie (EU) dělí poly- a perfluorované sloučeniny podle délky řetězce. Za PFAS s krátkým řetězcem (SC PFAS) jsou označovány PFAA, pokud se v jejich molekule vyskytuje méně než sedm fluorovaných uhlíků a PFSA s méně než šesti fluorovanými uhlíky. SC PFAS jsou více hydrofilní a rozpustné ve vodě, než PFAS s dlouhým řetězcem (LC PFAS). Rozpustnost SC PFAS ve vodě se pohybuje v rozmezí od $10^{-2,9}$ do $10^{0,94}$ mol/L a rozdělovací koeficient oktanol voda (K_{ow}) nabývá hodnot od $10^{0,5}$ do $10^{4,6}$. V případě LC PFAS je rozpustnost ve vodě podstatně nižší ($10^{-6,68}$ až $10^{-1,93}$ mol/L) a hodnoty K_{ow} jsou naopak výrazně vyšší ($10^{3,16}$ až $10^{5,3}$). LC PFAS mají díky tomu 5 až 600-krát větší bioakumulační

potenciál než SC PFAS a díky tomu představují mnohem zásadnější zdravotní i environmentální riziko.⁷

V dokumentech OECD je často používána kategorizace PFAS zohledňující jejich chemickou strukturu, resp. přítomnost funkčních skupin v dané molekule. Příklad takové kategorizace uvádíme v **Tab. 1** převzaté z publikace *Steindal and Grung, 2021* (v českém překladu)⁸.

Tabulka 1: *Hlavní kategorie PFAS podle OECD*

| <i>Hlavní kategorie OECD (když je dostupná)</i> | <i>Název kategorie OECD</i> | <i>OECD popis struktury</i> |
|---|---|---------------------------------|
| 100 | <i>Perfluoroalkyl karbonylové sloučeniny</i> | $C_nF_{2n+1}C(O)_R$ |
| 200 | <i>Perfluoroalkan sulfonylové sloučeniny</i> | $C_nF_{2n+1}S(O)(O)_R$ |
| 300 | <i>Perfluoroalkyl fosfátové sloučeniny</i> | $C_nF_{2n+1}P(O)_R$ |
| 400 | <i>Sloučeniny související s fluorotelomerem</i> | |
| 500 | <i>Sloučeniny na bázi per- a polyfluoroalkyl etheru</i> | $C_nF_{2n+1}O_{}_mC_mF_{2m+1}R$ |
| 600 | <i>Další PFAA prekurzory a související sloučeniny - perfluoroalkylované</i> | |
| 700 | <i>Další PFAA prekurzory a související sloučeniny – částečně fluorované</i> | |
| 800 | Fluoropolymery | |

1.4. Přehled průmyslových odvětví a typů produktů jako zdrojů PFAS

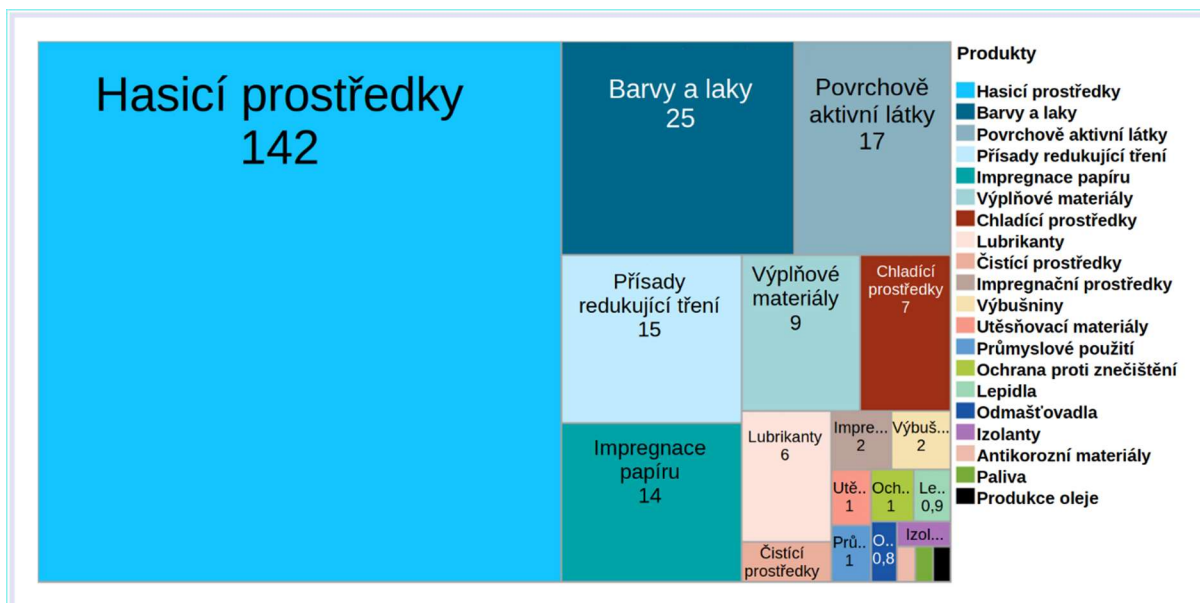
Jeden z nejkompletnějších přehledů průmyslových odvětví a činností využívajících PFAS je v publikaci Glüge et al., 2020⁹. Překlad souhrnné tabulky průmyslových odvětví činností z tohoto zdroje je u uveden v **Tab.2**. Výčet je založen na obsáhlé rešerši a není omezen na určitý region, v publikaci lze dále v příloze nalézt podrobnější přehled s jednotlivými podkategoriemi z tabulky v rozsahu několika stran.

Tabulka 2: Průmyslová odvětví a další oblasti využití PFAS

| Průmyslová odvětví | |
|---|---|
| Letectví a kosmonautika (7) | Těžba (3) |
| Biotechnologie (2) | Jaderný průmysl |
| Stavebnictví (5) | Ropný a plynárenský průmysl (7) |
| Chemický průmysl (8) | Farmaceutický průmysl |
| Elektrolytické pokovování | Fotografický průmysl (2) |
| Galvanické pokovování (2) | Výroba plastů a gumy (7) |
| Elektronický průmysl (5) | Polovodičový průmysl (12) |
| Energetika (10) | Textilní výroba (2) |
| Potravinářský průmysl | Hodinářský průmysl |
| Stroje a zařízení | Dřevařský průmysl (3) |
| Výroba kovových výrobků (6) | |
| Další oblasti využití | |
| Aerosolové pohonné hmoty | Kovové a keramické povrchy |
| Klimatizace | Hudební nástroje (3) |
| Odpěňovací prostředek | Optická zařízení (3) |
| Munice | Papír a obaly (2) |
| Oblečení | Fyzika částic |
| Automobilový průmysl (12) | Výrobky osobní péče |
| Čisticí prostředky (6) | Pesticidy (2) |
| Nátěry, barvy a laky (3) | Farmacie (2) |
| Konzervace knih a rukopisy | Potrubí, čerpadla, potrubí a vložky |
| Nádobí na vaření a pečení | Plasty, guma a pryskyřice (4) |
| Disperze | Tisk (4) |
| Elektronická zařízení (7) | Chladicí systémy |
| Snímání otisků prstů | Tmely a lepidla (2) |
| Hasicí pěny (5) | Pájení (2) |
| Retardéry hoření | Sanace půdy |
| Podlahové krytiny včetně koberců a laků (4) | Sportovní potřeby (7) |
| Sklo (3) | Kámen, beton a dlaždice |
| Přípravky pro domácnost | Textil a čalounění (2) |
| Laboratorní potřeby, vybavení a přístroje (4) | Trasování a značkování (5) |
| Kůže (4) | Úprava vody a čištění odpadních vod |
| Maziva a tuky (2) | Izolace vodičů a kabelů, těsnění a hadice |
| Lékařské potřeby (14) | |

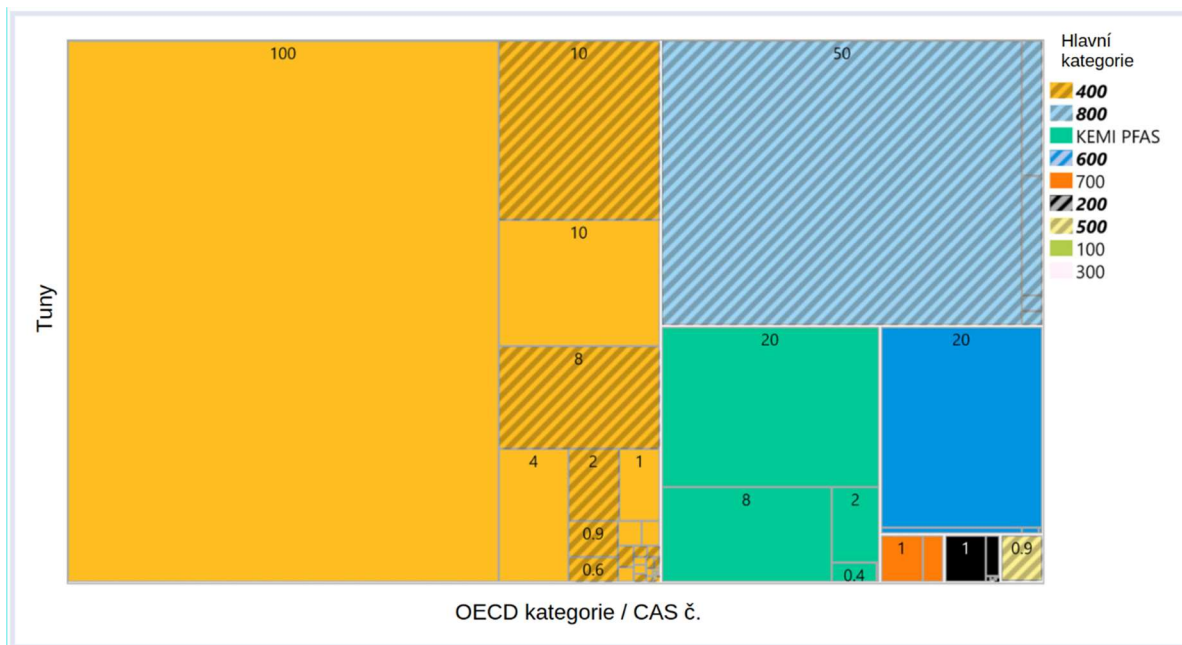
*číslo v závorce udávají počet podkategorií

Představu o množství látek používaných v jednotlivých průmyslových odvětvích si lze učinit s využitím stromové mapy znázorňující množství spotřebovaných PFAS v Norsku na **Obr 2**. Převzato a přeloženo z publikace *Steindal and Grung, 2021⁸*.



Obrázek 2: Stromová mapa využití PFAS v tunách v letech 2009-2017 v Norsku podle kategorií využití. Zahrnuty jsou pouze kategorie s využitím více než 200 kg PFAS. Celková plocha odpovídá 248 t PFAS.

Na **Obr. 3** je znázorněna stromová mapa pocházející ze stejného zdroje, která rozděluje PFAS dovezené do Norska do skupin podle OECD (viz. **Tab. 1**) a dále do skupin definovaných Švédskou chemickou agenturou KEMI. Tato agentura identifikovala a přidala do národního seznamu nebezpečných látek podle REACH látky PFAS, které nejsou zahrnuty v kategorizaci podle OECD⁸.



Obrázek 3: Stromová mapa množství PFAS v tunách importovaných do Norska 2009-2017. Celková plocha reprezentuje 249 tun. Barvy odpovídají OECD kategoriím struktury PFAS nebo KEMI PFAS. Šedě šrafovaná pole odpovídají CAS číslům látek zahrnutým podle OECD do polymerů.

V r. 2020 byl uveřejněn článek pojednávající o použití fluorovaných látek v pěnidlech u Hasičského záchranného sboru ČR (HZS ČR). V celkem patnácti pěnidlech byl analyticky stanovován obsah fluorovaných látek a specificky PFOS a PFOA. V článku je konstatováno, že v běžných víceúčelových pěnidlech (označení S) je obsah fluorovaných látek ve většině případů menší, než v pěnidlech deklarovaných jako bezfluorová (FFF), případně bezfluorová odolná vůči alkoholu (FFF/AR). V pěnidlech tvořících vodní film (AFFF) či tvořících vodní film odolných vůči alkoholu (AFFF/AR) je obsah fluorovaných látek vyšší. Pěnidla AFFF a AFFF/AR, resp. FFF a FFF/AR jsou určena k hašení hořlavých kapalin. Dále je v článku na dvou místech uveden rozdílný údaj o podílu pěnidel AFFF a AFFF/AR na použití u HZS ČR. V textu článku je uveden podíl 22%, následně v tabulce je uvedeno 15%. Dále je konstatováno, že žádné analyzované hasební prostředky již neobsahovaly zakázanou PFOS a většina neobsahovala ani nově regulovanou PFOA (byla přítomna pouze ve dvou vzorcích starší šarže pěnidel). Článek bohužel neobsahuje ani odhad celkové bilance množství fluorovaných látek použitých během jednoho roku, ani kompletní tabulku výsledků analýz všech vzorků. V závěrečném shrnutí zjištění je pouze konstatováno, že u PFOS a PFOA byly, kromě dvou zmíněných vzorků s PFOA, obě látky pod detekčním limitem, který je několik řádů pod legislativními limity obsahu obou látek v pěnidlech a výše zmíněné srovnání celkového obsahu fluorovaných látek v běžných (S) a bezfluorových (FFF, FFF/AR) pěnidlech. Celkový obsah fluorovaných látek byl testován metodou TOPA (Total Oxidizable Precursors Analysis). Dále je konstatováno, že se v současné době používají výhradně konvenční syntetická pěnidla s přímíšením max 3% (přímíšení = podíl objemu roztoku pěnidla v pění) a že celková spotřeba pěnidel v poslední době roste a v r. 2018 činila téměř 100 tun¹⁰

1.5. Kontaminace odpadních, povrchových a pitných vod

Běžně užívané technologie čištění odpadních vod (WWTPs) i úpravy vod pitných (DWTPs) mají velmi malou účinnost při odstraňování vysoce stabilních a hydrofobních PFAS. Pokud je účinnost odstraňování dané látky vyjádřena jako $RE (\%) = 100 \times (C_{inf} - C_{eff}) / C_{inf}$, kde C_{inf} představuje koncentraci dané látky na přítoku do čistírny a C_{eff} koncentraci na výtoku z čistírny, je v případě PFAS velmi častá i záporná hodnota účinnosti. V průběhu čištění totiž dochází ke vzniku sledovaných PFAS (zejména PFOA a PFOS) z jejich prekurzorů, jako jsou perfluorooctan sulfonamid či perfluorooctan sulfonamidoctová kyselina (PFOSA), fluortelomerní alkoholy (FTOHs) a fluorotelomerní sulfonové kyseliny (FTSAs). Prekurzory mohou tvořit 33 – 63 % celkového obsahu fluorovaných látek v odpadních vodách a díky jejich transformaci může během procesu čištění stoupnout koncentrace sledovaných látek až 3500 krát. Největší koncentrace PFAS lze nalézt v odpadních vodách vypouštěných např. ze závodů na výrobu hasebních směsí, z tréninkových ploch pro výcvik hasičů a z textilních závodů (tisíce až statisíce ng/L); méně pak v odpadních vodách z nemocnic a kovozpracujícího průmyslu (stovky až tisíce ng/L) a nejméně pak v odpadních vodách z domácností (jednotky až desítky ng/L). Z hlediska struktury bývají nejvíce zastoupeny SC PFAS, jejich koncentrace bývá až 50-krát vyšší, než je tomu v případě LC PFAS.⁷

Čistírny odpadních vod jsou hlavním zdrojem kontaminace vod povrchových. Po naředění dosahují koncentrace SC PFAS řádově jednotek až desítek ng/L a LC PFAS setin až jednotek ng/L. Distribuce PFAS závisí na typu vodního tělesa (stojaté či tekoucí vody, iontová síla vody apod.) a mění se v průběhu jednotlivých ročních období. Vysoká teplota v období such např. urychluje degradaci prekurzorů a zvyšuje koncentraci sledovaných PFAS v povrchových vodách.⁷

Více než povrchové vody bývají kontaminovány vody podzemní. Střední koncentrace PFAS v podzemních vodách se pohybuje v řádu jednotek až stovek ng/L a bývá o jeden až dva řády vyšší než v povrchových vodách v dané oblasti. Koncentrace SC PFAS pak bývá obvykle o řád vyšší než koncentrace LC PFAS, což patrně souvisí s vyšší schopností LC PFAS sorbovat se na půdní částice, a naopak vyšší mobilitou méně hydrofobních SC PFAS v půdách a sedimentech. Střední koncentrace PFAS v pitných vodách bývá o řád až dva nižší, než je tomu u vod podzemních – pohybuje se tedy v rozmezí desetin až jednotek ng/L. Technologie využívané k čištění a úpravě pitných vod (písková filtrace, flokulace, sedimentace) jsou málo účinné při odstraňování LC PFAS a prakticky neúčinné, pokud jde o SC PFAS. V DWTPs může naopak s vysokou účinností probíhat transformace prekurzorů na sledované zástupce PFAS a hodnoty účinnosti čistíren se tak mohou dostávat do vysoce záporných hodnot.⁷

1.6. Kontaminace půd a sedimentů

Nejvýrazněji kontaminované půdy lze nalézt na cvičišťích hasičských záchranných sborů. Zde mohou koncentrace PFAS dosahovat až několika tisíc ng/g suché váhy (DW) půdy. Dalšími významnými zdroji kontaminace půd mohou být znečištěné kaly z WWTPs, znečištěná povrchová voda používaná k zavlažování a depozice z ovzduší. Dále je možný transport PFAS ze skládek, kde byl uložen impregnovaný textil, podlahové krytiny či papír. V půdě mohou být PFAS adsorbovány na půdní částice, z nich pak mohou být vymývány půdní vodou, případně se mohou bioakumulovat v půdních organismech. Obecně se koncentrace PFAS v půdách pohybují pod hodnotou 100 ng/g DW. Problematika kontaminace sedimentů je v odborné literatuře zmiňována pouze okrajově, naměřené obsahy PFAS v tomto typu matrice se liší o několik řádů.¹¹

1.7. Ekotoxické účinky environmentálně relevantních koncentrací

Osud a transformace komplexních směsí PFAS v jednotlivých složkách životního prostředí byly dosud studovány pouze v rámci několika málo případových studií a aktuálně nám chybí dostatečně komplexní soubor dat, umožňující definovat obecné zákonitosti. Prakticky to samé pak platí i o problematikách bioakumulace a ekotoxických účinků PFAS. Většina ekotoxikologických dat, které máme nyní k dispozici, pochází z krátkodobých studií spojených s aplikací velmi vysokých dávek PFAS. O chronických účincích environmentálně relevantních dávek těchto polutantů máme zatím k dispozici jen velmi útržkovité informace.

Z výsledků krátkodobé studie na vodním korýši (*Moina macrocopa*) např. vyplývá, že hodnota střední letální koncentrace (LC₅₀) je v případě PFOS asi desetkrát nižší než v případě PFOA (18 vs. 200 mg/L). Vícegenerační test (deset generací) PFOS, PFAS a perfluorbutansulfonátu (PFBS) na larvách pakomárů (*Chironomus riparius*) ukázal, že koncentrace 10 µg/L těchto látek způsobuje zpomalení růstu, nikoli však morfologická

poškození, změnu reprodukční úspěšnosti či zvýšenou mortalitu daných organismů. Na populační úrovni nebyl v daném případě zjištěn žádný statisticky významný negativní účinek. Koncentrace použitá v tomto experimentu odpovídala dle autorů studie nejvyšším naměřeným hladinám testovaných látek v evropských řekách. Z hlediska akutní toxicity je pro většinu vodních organismů kritické, pokud koncentrace PFAS překročí hladinu 100 mg/L. U žab (např. *Rana pipiens*) byly projevy vývojové toxicity (prodloužená doba metamorfózy, menší délka pulců) pozorovány při překročení koncentrace 3 mg/L. Ryby vykazují vyšší citlivost na vývojovou toxicitu PFAS než obojživelníci. V rámci vícegenerační studie na Dánii pruhovaném způsoboval PFOS o koncentraci 0,6 µg/L sníženou míru přežití embryí a poškození vývoje plůdku, pětiměsíční expozice PFAS o koncentraci 50 µg/L pak vyvolávala u dospělých jedinců změny v poměru pohlaví a redukci velikosti těla. Mořské organismy na dané trofické úrovni bývají obvykle vůči účinkům PFAS odolnější než jejich sladkovodní ekvivalenty. Výjimku z tohoto pravidla tvoří např. mušle *Mytilus galloprovincialis*, kdy k opoždění vývoje ulity stačila expozice PFOS a PFOA o koncentraci 0,01 µg/L po dobu 48h. Prodloužení vývoje raných vývojových stádií vodních živočichů se zdá být nejčastějším důsledkem expozice nízkým koncentracím PFAS, změny v genové expresi pak mohou být pozorovatelné i za aktuálních environmentálně relevantních koncentrací.⁵

Toxicita PFAS v půdním prostředí byla nejčastěji studována s využitím žížal. Díky tomu, že žížaly tráví celý svůj životní cyklus v půdách, jeví se v tomto ohledu mnoha autorům jako ideální biologický model. V průběhu 14 a 42-denní expozice PFOS o koncentraci 120 mg/kg byla u žížaly *Eisenia fetida* pozorována snížená rychlost růstu. V případě žížaly *Aporrectodea caliginosa* způsobila 40-denní expozice PFOA i PFOS o koncentraci 100 mg/kg více než 60% úmrtnost. Dosud existuje jen velmi málo studií, které by se zabývaly dlouhodobým účinkem environmentálně relevantních koncentrací PFAS na edafon. Studie na *Eisenia fetida* v délce trvání 21 dní ukázala, že koncentrace nižší než 1 mg/kg neovlivňují růst žížal. Změny v rychlosti nárůstu biomasy byly pozorovány až u koncentrací vyšších než 100 mg/kg, což je úroveň řádově převyšující běžné obsahy PFAS v půdách a sedimentech. V případě PFAS budí obavy zejména jejich bioakumulační potenciál. Studie sledující bioakumulaci těchto látek v rostlinách (pšenice, oves, brambory, žito, kukuřice) pěstovaných v půdě, kde se jejich koncentrace pohybovala v rozmezí 0 – 50 mg/kg ukázala, že PFOA se v rostlinách akumuluje efektivněji než PFOS. Míra bioakumulace v rostlinách může být ovlivněna i délkou řetězce, např. v pletivech kukuřice se méně hydrofobní PFAS s kratším řetězcem akumuluji mnohem lépe než více hydrofobní PFAS s delším řetězcem.⁵

2. Zdravotní rizika polyfluoralkyl- a perfluoralkylovaných látek

2.2. Toxikokinetika

PFAAs mohou být teoreticky vstřebávány do lidského organismu inhalačně, transdermálně či perorálně, ale drtivá většina toxikokinetických studií provedených s využitím různých biologických modelů (myš, potkan, prase, kráva) popisuje pouze poslední ze zmíněných absorpčních cest. V trávicím traktu se obvykle vstřebá více než 90 % podané dávky, pokud byly popsány nižší úrovně vstřebání, šlo nejčastěji o důsledek chybně koncipovaného experimentu. PFAAs jsou v největší míře distribuovány v játrech, plicích, spermatu a ledvinách, ale také v tukové tkáni a v mozku. Distribuce však silně závisí na konkrétní látce, druhu organismu a dávce. U lidí byl popsán přestup PFAAs do placenty a mateřského mléka, zjištěna byla i silná korelace mezi hladinami těchto látek v séru matek a pupečnickové krvi. Transport PFAAs z mezi matkou a plodem byl potvrzen i v rámci studií na zvířatech. Z výsledků humánních i zvířecích studií vyplývá, že PFAAs nejsou v těle metabolizovány a nepodléhají žádným chemickým přeměnám, netvoří žádné metabolity ani konjugáty. Díky tomu dochází k jejich obtížnému vylučování, nejčastěji močí, v menší míře pak žlučí a stolicí. Biologické poločasy se výrazně liší v závislosti na druhu a pohlaví organismu, délce alkylového řetězce a funkčních skupinách vyskytujících se v molekule dané látky. Obecně platí, že u lidí jsou biologické poločasy delší, než u ostatních biologických modelů (člověk > opice > prase > myš > potkan). U lidí se pohybují řádově v hodnotách desítek dní až jednotek let, u laboratorních potkanů v jednotkách hodin až desítkách dnů. Druhovému rozdílu v rychlosti vylučování jsou připisovány rozdílné kinetiky transportu v proximálním tubulu ledvin, rozdíly mezi pohlavími pak hormonálními vlivům na expresi genů pro renální transportéry organických aniontů.¹²

2.3. Toxikodynamika

2.3.1. Biochemické mechanismy účinku

Biochemické mechanismy účinku PFAAs nebyly dosud uspokojivě vysvětleny, nicméně za nejvýznamnější je považována schopnost těchto látek aktivovat signální dráhu PPAR α receptorů. Tyto receptory se vyskytují v jádrech buněk a regulují činnost celé řady genů zasahujících např. do metabolismu lipidů a lipoproteinů či ovlivňujících hladiny zánětlivých mediátorů. V rámci *in-vitro* studií byla pozorována schopnost PFOS, PFAA a dalších PFAAs aktivovat PPAR α v myších, potkaních i lidských hepatocytech, přičemž tato schopnost silně závisela na přítomnosti funkčních skupin a délce řetězce testovaných látek. K dalším pravděpodobným mechanismům účinku PFAAs patří např. indukce tvorby reaktivních forem kyslíku (ROS), spojená s narušením funkce mitochondrií, poškození funkce hormonů štítné žlázy, narušení mezibuněčné komunikace, změny vlastností fosfolipidových dvojvrstev a vliv na funkci pohlavních hormonů (testosteron, estrogen, progesteron, inhibin).¹²

2.3.2. Hepatotoxicita

Per- a polyfluoralkylované sloučeniny (PFAS) se v největší míře akumulují v játrech a játra jsou proto také nejčastěji zasaženým cílovým orgánem u většiny organismů. V rámci *in-vivo* studií na hlodavcích byl po podání PFAS pozorován na dávce závislý nárůst hmotnosti jater a

zvýšený výskyt jaterní hypertrofie spojené s formováním vakuol a často i s proliferací peroxisomů. Tento efekt byl nejvýraznější v případě perzistentních PFAS s dlouhým řetězcem. K projevům toxicity pozorovatelným již po podání velmi nízkých dávek PFAS patří zejména změna v rychlosti proliferace hepatocytů a jejich apoptóza či nekróza. Dále též dochází k oxidativnímu poškození hepatocytů a k následnému zánětu a steatóze (ukládání tuku) jater. U hlodavců dochází v důsledku chronické expozice PFAS obvykle k poklesu hladiny cholesterolu v séru, přičemž u lidí byl opakovaně pozorován opačný efekt.¹³

Buňky hepatocelulárního karcinomu HepG2 vykazovaly v odezvě na působení PFOA a PFOS poruchy v transkripci celé řady genů. U hepatocytů obě skupiny látek vyvolávaly též zvýšenou produkci ROS, depleci glutationu, peroxidaci fosfolipidů a změny membránového potenciálu mitochondrií. Zda je oxidativní stres klíčovým jevem, který spouští následnou kaskádu toxického poškození jater, však dosud nebylo objasněno.¹²

Závěry několika epidemiologických studií ukazují na vztah mezi expozicí PFAS a zvýšenou hladinou jaterního enzymu alaninaminotransferázy (ALT), který patří k nejběžněji využívaným biomarkerům toxického poškození jater. Daný vztah byl pozorován jak u vysokých pracovních expozic, tak i u méně zatížených populací žijících poblíž průmyslových závodů, kde dochází k výrobě či zpracování polyfluorovaných látek. Tento vztah je statisticky významný i ve studiích zvažujících různé typy interferujících proměnných a zpětnou kauzalitu (poškození jater vzniklé před expozicí vede k pomalejšímu vylučování PFAS). V případě dalších dvou běžně využívaných biomarkerů jaterního poškození – tedy enzymu γ -glutamyltransferázy (GGT), který signalizuje nástup cholestázy a bilirubinu, jsou výsledky epidemiologických studií málo konzistentní. Také ohledně klinického významu zvýšených hladin ALT způsobených expozicí PFAS existuje vysoká míra nejistoty. V rámci epidemiologických studií se totiž jen výjimečně podařilo prokázat statisticky významný vliv expozice PFAS na frekvenci medicínsky diagnostikovaných onemocnění jater (steatóza, cirhóza, hepatomegalie) či na úmrtí v důsledku těchto nemocí. Zvýšená míra zdravotního rizika byla konstatována pouze ve studiích s nízkým počtem participantů a dlouhou (více než 10 let) dobou expozice, v případě velkých kohort (C8, 3M) se hepatotoxický účinek PFAS prokázat nepodařilo.¹⁴

2.3.3. Reprodukční a vývojová toxicita

Pokud byly samice potkanů, myši či opic v období březosti exponovány PFAAS s dlouhým řetězcem, došlo k projevům vývojové toxicity zahrnující sníženou hmotnost plodu, zvýšenou pre- i postnatální mortalitu, opožděnou osifikaci, edém, rozštěp patra, opožděný vývoj plic a zpomalený růst. Testy reprodukční toxicity prokázaly, že PFOS i PFOA jsou schopny poškodit jak samčí, tak i samičí reprodukční orgány, ovlivnit hladinu pohlavních hormonů i expresi klíčových genů.¹²

V rámci epidemiologických studií byl intenzivně studován zejména vliv expozice PFAS na porodní váhu novorozenců a tato problematika se dokonce stala tématem několika metaanalýz. Metaanalýzy z let 2014 až 2018 popisují vztah mezi přítomností PFAS v séru matky či v pupečnickové krvi a poklesem porodní váhy dítěte. Zjištěný pokles se pohyboval v řádu 10 g na každý ng PFOS/ml séra či krve.^{15, 16} Silnější asociace byla opakovaně zjištěna hlavně ve studiích, kde byl obsah PFOS v tělních tekutinách měřen v pozdější fázi těhotenství a ve

studiích s velmi nízkým rozpětím zjištěných koncentrací PFOS. To vede k úvahám o možném vlivu interferujících proměnných a o vlivu efektu zpětné kauzality při interpretaci výsledků těchto studií. V každém případě, zjištěný pokles váhy by neměl mít žádný zásadní vliv na vývoj novorozence. V raných studiích byl také popsán vliv vysokých koncentrací PFOA na počet a kvalitu spermií a na mírné prodloužení doby potřebné k oplodnění (fekundita), ovšem novější data tato zjištění nepotvrdila. Diskutován byl rovněž vliv PFOA na těhotenskou hypertenzi, přičemž střední hodnoty relativního rizika (RR) pro tento efekt se běžně pohybovaly jen mírně nad hodnotou 1. Nejednoznačné výsledky poskytly i studie zaměřené na problematiku předčasných porodů či vývojových vad.¹⁴

2.3.4. Imunotoxicita

PFAS s dlouhým řetězcem byly schopné ovlivnit stav imunitního systému hlodavců i primátů. Pozorovány byly zejména imunopresivní účinky spojené s redukcí hmotnosti brzlíku a sleziny a se snížením aktivity cirkulujících NK buněk. Snížena byla i schopnost těchto organismů odolávat infekčním onemocněním a schopnost vytvářet specifické protilátky v reakci na antigeny.¹³

Negativní vliv PFAS na tvorbu protilátek byl pozorován i v rámci celé řady humánních studií. Mnoho z nich bylo zaměřeno na studium poklesu účinnosti očkování. V rámci prospektivní studie zahrnující 656 a následně 587 dvojic matka-novorozenec bylo s využitím metody strukturního modelování odhadnuto, že každé zdvojnásobení koncentrace PFOS v mateřském séru v době porodu vede u dětí, které dosáhly věku 5 let, k poklesu hladiny protilátek vytvořených po očkování proti záškrtu o 39%.¹⁷ Zvýšená expozice PFAS může též do určité míry ovlivňovat odezvu na očkování proti tetanu, zarděnkám, příušnicím, chřipce a hemofilové infekci a to jak u dětí tak i u dospělých. Imunopresivní účinek PFAS se dále může projevat zvýšeným rizikem infekcí dýchacích cest, průjmových onemocnění či atopického ekzému. Vedle imunopresivních účinků byl studován i možný vliv expozice PFAS na projevy hypersensitivity (dětské alergie, astma). Tento vliv byl však detekovatelný pouze pro některé věkové skupiny a lišil se v závislosti na pohlaví.¹³

Na základě výsledků jak retrospektivních, tak i prospektivních studií se jako velmi významná jeví asociace mezi expozicí PFOS a vznikem zánětlivého autoimunitního onemocnění trávicího traktu zvaného ulcerózní kolitida. V případě dalších autoimunitních onemocnění jako je revmatoidní artritida či Crohnova choroba jsou výsledky epidemiologického výzkumu méně průkazné.¹⁴

Již v roce 2016 bylo v dokumentu Amerického národního toxikologického programu (NTP) konstatováno, že existuje poměrně vysoká míra konzistence mezi výsledky experimentálních toxikologických studií a epidemiologických studií prokazujícími negativní vliv PFOS na hladinu protilátek. Za méně jednoznačná, avšak významná byla v daném dokumentu označena i data z epidemiologických studií, popisující vztah mezi expozicí PFOS a zvýšeným výskytem infekčních onemocnění případně i některých typů hypersenzitivních reakcí.¹⁸ V následujících letech vznikla celá řada odborných publikací, které potvrzují, že imunotoxicita je jedním z nejvýznamnějších projevů toxicity PFOS.¹³

2.3.5. Neurotoxická

U dospělých myši se po tříměsíční expozici PFOS projevily negativní změny prostorového učení a paměti, které byly s největší pravděpodobností způsobeny snížením synaptické plasticity a narušením funkce hipokampu. Pokud byly samice potkanů v období březosti vystaveny PFOS, projevily se u mláďat výrazné změny v expresi genů zapojených do vývoje nervové soustavy. *In-vitro studie* prokázaly schopnost PFOS indukovat oxidativní poškození a apoptózu neuronů. V celé řadě studií byl účinek PFOS na buňky nervového systému výraznější než účinek PFAA.¹²

Celá řada epidemiologických studií i přehledových prací se zabývala možným vztahem mezi expozicí PFAS v období prenatálního vývoje či raného dětství a zvýšeným rizikem poškození nervové soustavy, které se může projevovat jako zpoždění neuromotorického a mentálního vývoje, porucha pozornosti s hyperaktivitou (ADHD), poruchy autistického spektra a další poruchy chování či kognitivních schopností. Data z prací zabývajících se danou problematikou jsou málo konzistentní a neumožňují formulovat jasné stanovisko ohledně vlivu expozice PFAS na riziko poškození nervové soustavy.¹⁴

2.3.6. Hormonální toxicita

V rámci *in-vitro* studií byl pozorován negativní účinek PFOS a PFOA na proliferaci a viabilitu buněk štítné žlázy, a to zejména ve vyšších koncentračních úrovních. Také několik *in-vivo* studií prokázalo vliv PFAS na funkci hormonů štítné žlázy. Tento vliv se však projevoval jinak, než je běžné u klasického hypotyreoidismu, kdy není pokles celkové hladiny cirkulujícího tyroxinu (T4) doprovázen kompenzujícím nárůstem hladiny tyreotropního hormonu (TSH). V případě PFAS spíše dochází k ovlivnění vazby T4 na transportní proteiny transthyretin a globulin vázající tyroxin.¹³

Ovlivnění interakce hormonů štítné žlázy s vazebnými proteiny a narušení zpětné vazby mezi hladinou volného tyroxinu dostupného buňkám a aktivitou osy hypotalamus-hypofýza byla zjištěna i v rámci některých starších studií na lidských populacích. Sledovaný účinek byl však silně závislý na pohlaví, zdravotním stavu (diabetes) či typu kontaminantu (délka řetězce). V současné době jsou výsledky ohledně vlivu PFAS na funkci hormonů štítné žlázy jak v rámci pracovních expozic, tak v rámci expozic běžné populace, považovány za velmi nejednoznačné. Za nejlépe prokázaný je považován fakt, že expozice matek PFAS je spojena s mírným, ale statisticky významným, nárůstem rizika změn parametrů funkce štítné žlázy jak u matky, tak i u novorozence. Klinický význam těchto zjištění je však dosud nejasný.¹⁹

2.3.7. Tumorogeneze / karcinogenní účinky

Chronická orální expozice PFOS vedla u samců i samic potkanů ke zvýšenému výskytu hepatocelulárního adenomu. Testovaná látka byla podávána v potravě a statisticky významně vyšší incidence tohoto nádoru jater se vyskytovala pouze ve skupinách s její nejvyšší koncentrací (20 ppm). U samců z této skupiny se také vyskytl statisticky významný nárůst folikulárního adenomu štítné žlázy. V případě PFOA byl pozorován zvýšený výskyt adenomu

Leydigových buněk u potkaních samců, jejichž potrava obsahovala 300 ppm testované látky. U samic se na této expoziční úrovni projevila zejména nárůst incidence fibroadenomu prsní žlázy. Polyfluorované látky mohou též fungovat jako promotory karcinogeneze a zvyšovat tak účinnost jiných karcinogenů. Pokud byl Aflatoxin B₁ či N-metyl-N'-nitro-nitrosoguanidin podáván v kombinaci s PFAAs došlo u pstruha duhového ke zvýšené indukci tvorby jaterních nádorů v porovnání se stavem, kdy PFAAs nebyly součástí testované směsi.¹²

V rámci dosud provedených epidemiologických studií se vztah mezi expozicí PFOS a zvýšeným rizikem výskytu rakoviny jater obvykle prokázat nepodařilo. Výjimku tvoří italská studie, kde u pracovníků v chemickém průmyslu vystavených v letech 2000 až 2013 vysokým koncentracím PFOA (průměrná koncentrace v séru 4048 ng/mL, rozsah 19 – 91 900 ng/mL) byla v porovnání s pracovníky z kovozpracujícího průmyslu zvýšená úmrtnost na rakovinu jater (SMR = 2,32, 95%CI = 1,11 – 4,87). V kohortě pracovníků z chemického průmyslu byla pozorována též zvýšená úmrtnost na maligní novotvary lymfatických a hematopoetických tkání (SMR = 2.26; 95%CI: 1.08–4.73).²⁰ Obecně platí, že závěry epidemiologických studií zabývajících se vlivem expozice PFAS na riziko vzniku jednotlivých typů nádorových onemocnění jsou málo konzistentní, největší shody dosahují studie týkající se nádorů varlat a ledvin. Slabiny v designu jednotlivých studií a metodách zpracování dat mohly vést jak k identifikaci neexistujících asociací, tak i ztížení detekce asociací skutečně existujících. Celkově lze však důkazy o vztahu mezi expozicí PFAS a zvýšeným rizikem vzniku nádorů považovat za slabé.²¹

2.3.8. Limity pro ochranu lidského zdraví

Většina regulačních agentur s výjimkou Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA) považuje za vhodný výchozí bod pro výpočet toxikologických limitů výsledky *in-vivo* experimentů. EFSA určila hodnotu tolerovatelného denního příjmu pro vybrané PFAAs na základě výsledků epidemiologických studií. Ke kritickým efektům vyskytujícím se v nejnižších dávkových hladinách příslušných sloučenin patří zejména hepatotoxicita, vývojová toxicita, imunotoxicita a poškození žláz s vnitřní sekrecí. V případě směsí je obvykle zvažován aditivní účinek daný součtem účinků jednotlivých složek. Příklady jednotlivých limitů společně s údaji využitými pro jejich výpočet jsou shrnuty v **Tab.3**¹²

Tabulka 3: Vybrané hodnoty toxikologických limitů PFAS

| Látka | Agentura | Organismus | Kritický efekt | PoD [mg/kg/den] | Limit [ng/kg/den] |
|-------|----------|------------|---|--------------------|----------------------|
| PFOS | EFSA | člověk | Zvýšená hladina celkového cholesterolu u dospělých, snížená hladina protilátek u dětí po očkování | - | TDI = 1.86 |
| | ATSDR | potkan | Opožděný vývoj očí a nízká hmotnost mláďat | NOAEL = 0.000515 | MRL = 2 |
| | US EPA | potkan | Nízká hmotnost mláďat | HED = 0.00051 | RfD = 20 |
| PFOA | EFSA | člověk | Zvýšená hladina celkového cholesterolu u dospělých | - | TDI = 0.857 |
| | ATSDR | myš | U mláďat změny chování a poruchy osifikace | LOAEL = 0.000821 | MRL = 3 |
| | US EPA | myš | U mláďat poruchy osifikace a u samců urychlená puberta | HED = 0.0053 | RfD = 20 |
| PFHxS | ATSDR | potkan | Poškození folikulárních buněk štítné žlázy | NOAEL = 0.0047 | MRL = 2 |
| PFNA | ATSDR | myš | U mláďat opožděný vývoj a nízká tělesná hmotnost | NOAEL = 0.001 | MRL = 3 |

3. Analýza PFAS v různých typech matric

Značná síla chemické vazby C-F (485 kJ/mol) je příčinou vysoké termodynamické stability PFAS a s tím spojené vysoké odolnosti této skupiny látek vůči hydrolýze, metabolickým přeměnám, fotolýze a dalším typům biologicky, chemicky či fyzikálně řízené degradace. PFAS jsou perzistentní, mají vysoký bioakumulační potenciál, mohou být silně poutány na určité typy environmentálně relevantních matric a vykazovat biologickou aktivitu již v ultra-stopových koncentracích. C-F konce PFAS jsou hydrofobní, naopak sulfonové či karboxylové skupiny mají spíše hydrofilní charakter. Ve vysokých koncentracích (nad 1000 mg/L) tvoří PFAS ve vodném prostředí micely a hemi-micely; v podzemní vodě může formování těchto útvarů nastat i v podstatně nižších koncentracích, a to z důvodu interakce PFAS s jinými kontaminanty či s dispergovanými částicemi. V přírodních matricích se PFAS obvykle vyskytují ve formě aniontů, kladný náboj se v jejich molekule může vyskytnout vlivem pH či v důsledku přítomnosti některých funkčních skupin. Elektrické vlastnosti ovlivňují transport a sorpci PFAS na různých typech částic. Všechny tyto parametry kladou nemalé nároky na proces analýzy PFAS v jednotlivých složkách životního prostředí. Většina profesionálních laboratoří využívá pro stanovení PFAS techniku kapalinové chromatografie ve spojení s hmotnostní spektrometrií (LC-MS), přičemž zásadní výzvou je zejména optimalizace techniky přípravy vzorku k analýze s ohledem na konkrétní typ matrice. K selektivní separaci analytu je tradičně využívána celá řada extrakčních technik, jako je extrakce na pevné fázi (SPE), extrakce v systému kapalina – kapalina (LLE), mikroextrakce na pevné fázi (SPME) nebo disperzní mikroextrakce v systému kapalina-kapalina (DLLME). V současné době je obvykle kvantitativně analyzováno pouze necelých 30 z více než 5000 komerčně využívaných PFAS.²²

3.1. Kapalinová chromatografie s hmotnostní spektrometrií (LC-MS)

Americká Agentura pro ochranu životního prostředí (U.S. EPA) v roce 2016 nastavila pro obsah PFOA a PFOS v pitné vodě limit zohledňující zdravotní účinky celoživotní expozice na úrovni 70 ng/L (70 ppt)²³. Již v roce 2009 je v oficiálních dokumentech U.S. EPA zmíněna metoda EPA 537, která využívá k prekoncentraci PFAS z vodného vzorku SPE kolonu naplněnou polystyrenedivinylbenzenem (PSDVB) a jako analytickou koncovku kapalinovou chromatografií na koloně C₁₈ spojenou s tandemovou hmotnostní spektrometrií (LC-MS/MS).²⁴ Uvedená metoda je určena ke stanovení 14 zástupců PFAS včetně PFOA a PFOS, pro které se detekční limity pohybují v rozmezí 0.7 až 4.2 ng/L. Aktualizovaná verze dané metody z roku 2018 označovaná jako EPA 537.1 je určena pro analýzu 18 zástupců PFAS v rozsahu detekčních limitů 0.7 až 2.8 ng/L.²⁵ V roce 2019 byla dále zveřejněna metoda EPA 533, která rozšiřuje možnosti předchozích metod především v oblasti analýzy PFAS s krátkým řetězcem. V rámci metody EPA 533 je aplikována technika izotopového zředování a ke zvýšení citlivosti a specifity stanovení je hmotnostní spektrometr tvořený trojicí kvadrupolových detektorů provozován v režimu sledování mnoha reakcí (MRM).²⁶ Pomocí dané metody je možné stanovit 25 zástupců PFAS v rozsahu detekčních limitů 1.4 až 16 ng/L. Kapalinová chromatografie je rovněž základem některých metod vyvinutých Americkou společností pro zkoušení a materiály (ASTM) - ASTM D7979-17, ASTM D7968-17a. Techniky založené na využití LC-MS/MS se vyznačují vysokou časovou i materiální náročností a vyžadují vysoce

kvalifikovanou obsluhu. Cena analýzy jednoho vzorku se aktuálně pohybuje 300 až 600 USD a je tudíž prohibitivní z hlediska podrobného a dlouhodobého monitoringu. Díky nárokům techniky na parametry prostředí nejsou tyto metody vhodné pro provádění terénních in-situ měření.²⁷

3.2. Další dostupné techniky

Metody založené na iontové kapalinové chromatografii (ILC) a vysokoúčinné kapalinové chromatografii s fluorescenční detekcí (HPLC FD) jsou pro některé PFAS schopné poskytovat detekční limity srovnatelné s LC-MS/MS, ale tyto metody vyžadují před vlastní analýzou náročnou přípravu vzorku ve druhém případě navíc spojenou s derivatizací s fluoroforem.²⁷ Pomocí plynové chromatografie (GC) lze stanovit pouze neutrální dostatečně těkavé PFAS a detekční limit silně závisí na použitém typu detektoru. Kapilární elektroforéza (CE) je cenově dostupnější, ale pro většinu PFAS poskytuje detekční limity na úrovni jednotek až desítek mg/L.

Pro většinu z více než 5000 zástupců průmyslově využívaných PFAS neexistují komerčně dostupné analytické standardy, z tohoto důvodu je často jediným řešením stanovení celkového obsahu PFAS jako skupiny. V rámci metody stanovení celkového obsahu oxidovatelných prekurzorů (TOP) jsou prekurzory PFAS s pomocí oxidačních činidel na bázi hydroxylových radikálů nejprve převedeny na finální perfluoralkylované kyseliny a jejich celkový obsah je následně analyzován prostřednictvím HPLC-MS. Celkový organický fluor (TOF) a celkový fluor (TF, organický + anorganický) může být stanoven např. technikou PIGE, spalovací iontovou chromatografií (CIC) či nukleární magnetické rezonance s využitím izotopu ¹⁹F (¹⁹F NMR).

3.3. Směry rozvoje analytických technik pro stanovení PFAS

Konvenční analýza PFAS je založena především na kapalinové chromatografii ve spojení s hmotnostní spektrometrií (LC-MS), která je schopná dosahovat detekčních limitů až na úrovni jednotek ng/L (ppt). Vysoká pořizovací cena a provozní náklady chromatografických technik s dostatečně citlivou hmotnostní detekcí (tandemové MS/MS spektrometry), nároky na prostředí, v němž analýza probíhá, a potřeba vysoce kvalifikované obsluhy takových zařízení se promítají do ceny analýzy. Stanovení PFAS v jednom vzorku provedené v souladu s výše zmíněnými metodikami U.S. EPA stojí mezi 300 až 600 USD.²⁷ Tato cena je prohibitivní z hlediska možnosti provádět rutinní monitoring v podmínkách malého či středního podniku. K dalším omezujícím faktorům patří např. i omezená dostupnost standardů s odpovídající maticí (matrix-matched standards), nebo pokles citlivosti tandemových MS/MS spektrometrů v důsledku nízkého výtěžku fragmentace některých PFAS.²⁸ Určité komplikace se objevují i v souvislosti s procesy přípravy vzorků k analýze. Při odběru terénních vzorků musí být např. zamezeno jejich kontaktu s teflonem a slepé pokusy v laboratořích musí zohlednit vliv každého materiálu s nímž přišel vzorek do styku během odběru, transportu a všech následných před-analytických kroků.²⁹ Většina komerčních laboratoří je schopná analyzovat PFAS pouze ve vzorcích povrchových a podzemních vod, za jednu z hlavních výzev v oblasti analýzy tohoto typu kontaminantů lze tedy považovat nutnost vývoje separačních a analytických technik

aplikovatelných na vzorky se složitější matricí jako jsou odpadní vody, půdy, sedimenty, kaly, potraviny, rostlinné a živočišné tkáně atp. Zcela svébytnou oblastí se v tomto jeví být analýza odpadů, která je charakteristická jak nebývale vysokou komplexitou matric, tak i značným koncentračním rozmezím, v němž se jednotliví zástupci PFAS mohou v příslušných vzorcích vyskytovat. Aby bylo možné rutinně sledovat množství PFAS vstupujících do jednotlivých složek ŽP a jejich osud v těchto složkách, bude nezbytný rozvoj také v následujících oblastech

- (i) Rozvoj metod pro stanovení hladiny prekurzorů PFAS a sledování jejich transformace v jednotlivých složkách ŽP
- (ii) Rozvoj rychlých, levných a robustních detekčních systémů (senzorů²²) použitelných pro terénní in-situ detekci PFAS
- (iii) Rozvoj metod vhodných pro „finger-print“ analýzu, které budou použitelné pro identifikaci zdroje PFAS
- (iv) Rozvoj dostatečně stabilních a citlivých systémů pro kontinuální monitorování PFAS v reálném čase
- (v) Rozvoj techniky vnitřní standardizace založené na izotopovém zředování pro různé typy extraktů
- (vi) Rozvoj testů vhodných pro určení celkové hladiny oxidovatelných prekurzorů (TOP assay) zejména ve vzorcích půd

4. PFAS v seznamech chemických látek

V **Tab. 4** je uveden výčet vybraných mezinárodních a národních seznamů obsahujících látky ze skupiny PFAS. Další informace o některých těchto seznamech a také další seznamy látek pro specifické použití lze najít ve zdrojové publikaci *OECD, 2018*³⁰. Z téhož zdroje pocházejí názvy seznamů a počty látek ze skupiny PFAS uvedených v těchto seznamech do r. 2018 – tyto počty ve většině seznamů chemických látek s postupujícím časem dále rostou. Většina uvedených seznamů látek souvisí s oznamováním chemických látek uváděných na trh či látek obsažených v produktech, jako jsou například evropské seznamy chemických látek podle legislativy REACH. Poslední položka tabulky vychází z hledání v komerční databázi SciFinder, jedné z nejobsáhlejších databází chemických látek vůbec. Ta je doplňována v podstatné míře z rešerší vědecké literatury a obsahuje tedy i látky raritní a dosud prakticky nevyužívané. Odkazy na webové zdroje ze zdrojové publikace *OECD, 2018* byly aktualizovány, kde to bylo nutné, a jsou uvedeny jako odkazy do seznamu literatury. Stejně tak byly aktualizovány informace v popisu jednotlivých seznamů. Tyto seznamy chemických látek mohou sloužit jako jeden z podkladů pro rozhodování o zařazení konkrétních látek do registrů emisí.

Tabulka 4: Vybrané seznamy chemických látek obsahující PFAS

| Typ | Název seznamu ve zdroji Popis | Počet PFAS 2018 (Odkaz) |
|-------------|--|--|
| Mezinárodní | Lists of PFOS, PFAS, PFOA, PFCA, Related Compounds and Chemicals that may degrade to PFCA seznam OECD založený na dotazníkové akci v členských zemích a národních registrech nebezpečných látek | 993 <i>(OECD, 2007)</i> ³¹ |
| | ECHA Registered substances Seznam registrovaných látek Evropské chemické agentury podle REACH | 1014 <i>(Registered substances - ECHA)</i> ³² |
| | ECHA Pre-registered Substances Seznam předregistrovaných látek Evropské chemické agentury podle REACH – obsahuje látky ne ještě registrované, ale připravované k registraci pro evropský trh – má sloužit registrujícím subjektům také k tomu, aby pokud se chystají registrovat stejnou látku, učinily tak společně | 5801 <i>(Pre-registered substances - ECHA)</i> ³³ |
| | Substances in Preparations in Nordic Countries (SPIN) Databáze chemických látek sestavená z registrů Norska, Švédska, Finska a Dánska. Obsahuje množství, průmyslová odvětví využití a funkci dané látky. | 733 <i>(SPIN - Substances in Preparations in Nordic Countries)</i> ³⁴ |

| Typ | Název seznamu ve zdroji Popis | Počet PFAS 2018 (Odkaz) |
|-------------|---|---|
| Mezinárodní | <i>Occurrence and use of highly fluorinated substances and alternatives</i> Seznam chemických látek Švédské chemické agentury (KEMI) sestavený ze švédského registru produktů a evropského registru registrovaných látek, doplněný z různých mezinárodních zdrojů převážně ze severní Ameriky a Asie. | 2542 (KEMI, 2015) ³⁵ |
| Národní | <i>Australian Inventory of Chemical Substances (AICS)</i> Databáze pod uvedeným názvem již není na URL ve zdroji dostupná a není ani zmíněna na daném serveru, nicméně na aktualizovaném odkazu na web Australian Industrial Chemicals Introduction Scheme v sekci Search chemical information lze najít informace pravděpodobně právě na této databázi založené. | 903 (AICIS) ³⁶ |
| | <i>Canadian Domestic Substances List (DSL)</i> Seznam je nyní součástí vyhledávání na aktualizovaném odkazu vpravo. Součástí hledání jsou i další seznamy nebezpečných látek podle kanadské legislativy. | 519 (Substances Search - Canada.ca) ³⁷ |
| | <i>Existing and New Chemical Substances</i> Japonský seznam chemických látek. Informace o obsažených látkách lze vyhledávat na aktualizovaném odkazu vpravo. | 1589 (NITE-CHRIP) ³⁸ |
| | <i>US EPA TSCA Inventory</i> Americký seznam látek vyráběných, zpracovávaných a dovážených do USA podle Toxic Substances Control Act (TSCA). | 2094 (TSCA Chemical Substance Inventory) ³⁹ |
| | <i>US EPA CDR Inventories</i> Americký seznam látek podle Chemical Data Reporting (CDR), nyní spadá také pod TSCA. | 1441 (Chemical Data Reporting under the Toxic Substances Control Act) ⁴⁰ |
| Komerční | <i>SciFinder Database</i> Jedna z největších databází chemických látek. Jde o vědeckou databázi obsahující látky, chemické reakce a odkazy na literaturu. Do databáze existuje několik rozhraní včetně aplikací, jedno z webových rozhraní pro vyhledávání je na stránce uvedené v odkazu. Využití není volné, vyžaduje autorizaci. | 9290 (SciFinder Search) ⁴¹ |

5. PFAS ve stávajících registrech emisí polutantů ve světě

5.1. USA

Ve Spojených státech existuje několik různě zaměřených registrů emisí spravovaných US EPA. Z hlediska PFAS je zřejmě nejdůležitější registr Toxics Release Inventory (TRI). V lednu 2021 byl do TRI přidán seznam 172 látek ze skupiny PFAS a byl vytvořen rámec pro každoroční doplňování tohoto seznamu. Za fiskální rok 2020 jsou již tyto PFAS reportovány. Při prohlížení registru je možné tyto látky filtrovat jako samostatnou skupinu.

Mezi látkami reportovanými v roce 2020 je celkem 43 látek ze skupiny PFAS, z toho 27 je reportováno s nenulovým množstvím odpadů a úniků, 19 s množstvím větším, než 0,5 libry za rok⁴². Množství látek je reportováno i uváděno ve výstupech v librách (1 lb = 0,454 kg). Největší reportované množství odpadů a úniků je u PFOA, přes 21 t. V reportech jsou rozlišovány úniky na místě zpracování, resp. externí, což odpovídá našim únikům, resp. přenosům nebezpečných látek. Uvedený největší únik je celý z kategorie externího úniku, tj. u nás přenosu. Největší únik na místě zpracování látky je u metylesteru perfluorooktanové kyseliny (CAS 376-27-2, jeden z derivátů PFOA), což je hned druhá látka v pořadí v celkovém součtu obou typů úniku. Únik v místě zpracování u něj činí přes 1,7 t a externí přes 140 kg. Ucelený přehled všech látek reportovaných do TRI v nenulovém množství, s hmotnostmi přepočtenými na kg je uveden v tabulce v **Příl. 1**. Z hlediska hlavních průmyslových odvětví se na celkových hlášených únicích obou typů dohromady přes 25,5 t PFAS podílí z téměř 84 % potravinářský průmysl, z necelých 13 % chemický průmysl, z 2,5 % zpracování odpadů. Přibližně po půl procentu má podíl zpracování ropy a uhlí, resp. nekovové minerální produkty. V absolutních číslech a s rozdělením na interní a externí odpady a úniky viz. tabulka v **Příl. 2**.

Podle National Defense Authorisation Act for Fiscal Year 2020 byla skupina PFAS přidána do seznamu s limitem pro reportování 100 lb ročně, přičemž pro konkrétní látky může být do pěti let od uvedení látky do seznamu iniciována revize tohoto limitu administrátorem seznamu⁴³. Jak konkrétně byl právě takový limit určen se lze jen dohadovat, ale téměř jistě byla aplikována zásada uvedená v Emergency Planning and Community Right-to-Know Act (EPCRA), která zní, že výše limitu by měla být taková, aby to vedlo k reportování podstatné většiny emisí produkovaných všemi provozovny zpracovávajícími a vyrábějícími danou látku⁴⁴. Dále byla zřejmě využita analogie s limity látek s podobnou toxicitou, perzistencí a mobilitou v životním prostředí, jako má podmnožina látek ze skupiny PFAS, která je nejlépe prozkoumaná. V dalších letech se dají předpokládat úpravy limitů pro jednotlivé látky podle jejich konkrétních vlastností a také dosud reportovaných množství.

Aktuální limit pro reportování do TRI vycházející z obecně platných pravidel vede k tomu, že všechny provozovny spadající do oborového seznamu a mající nejméně 10 zaměstnanců na plný úvazek, nebo jeho hodinový ekvivalent, musejí reportovat své emise, pokud zpracovávají nebo vyrábějí (což zahrnuje i import) více, než 100 lb za rok kterékoli z PFAS uvedených ve výše zmíněném seznamu. Při dosažení tohoto zpracovávaného množství PFAS se reportují i nulové emise.⁴⁵

Pro fiskální rok 2021 byly již základě National Defense Authorization Act do seznamu TRI přidány tři další látky ze skupiny PFAS⁴⁶. Přidávání a odebrání látek do/ze seznamu pro

reportování v TRI může také provést správce seznamu z EPA na základě v legislativě EPCRA nastaveného mechanismu peticí požadujících tyto změny ze strany veřejnosti a zástupců amerických států.⁴⁴

V plánu na rok 2020 US EPA uvádí, že seznam látek pro reportování v registru National Emission Inventory (NEI), což je registr emisí do ovzduší, bude rozšířen o kategorii PFAS a seznam látek bude převzat z registru TRI a následně bude postupně rozšiřován o další PFAS, které v TRI nejsou reportované⁴⁷.

US EPA dále vydala v červnu 2021 návrh nařízení o požadavcích na hlášení a pořizování záznamů o PFAS v rámci Toxic Substances Control Act. Jedná se o hlášení výrobců a dovozců PFAS o jejich celkovém množství uvedeném na trh, ale návrh obsahuje i hlášení množství emisí do vody, půdy a ovzduší. Tento návrh řeší také hlášení nově dovážených či vyráběných látek z této skupiny, tj. látek dosud neuvedených v žádných registrech či seznamech. PFAS jsou v něm definovány obecně s příklady typických fluorovaných struktur a příklady známých látek⁴⁸. Po předpokládaném schválení nařízení tato hlášení nových látek tedy mohou sloužit také jako jeden z podkladů pro rozšiřování seznamů látek ve stávajících registrech emisí o nové zástupce PFAS.

5.2. EU a členské státy EEA

V Evropské Unii (EU) je v poslední době problematice regulace výroby a používání PFAS věnována zvýšená pozornost. Jak vyplývá z kapitoly o legislativě, hlavní snahy směřují k omezení či úplnému zákazu řady látek z této skupiny. Evropský registr úniků a přenosů polutantů (E-PRTR) v současné době žádné látky ze skupiny PFAS nezahrnuje, nicméně zavedení jejich reportování je připravováno. V pracovním dokumentu Evropské komise (EC) týkajícím se PFAS⁴⁹ je mimo jiné zmíněno doporučení přidat do seznamu látek reportovaných v E-PRTR PFH_xS, PFOS a PFOA včetně jejich solí a prekurzorů⁵⁰, stejně jako zhodnocení možného převzetí dalších 20 látek z Drinking Water Directive 2020/2184⁵¹. Tyto látky by podle doporučení mohly též sloužit jako základ pro výpočet souhrnného parametru Σ PFAS. Jde o látky uvedené v **Tab. 5**. V dané tabulce jsou **tučně** vyznačeny látky, které jsou zároveň součástí amerického seznamu pro reportování do TRI a **tučnou kurzívou** pak látky, jejichž deriváty a soli jsou součástí daného seznamu.

Pracovní dokument EK zmiňuje také možnost zavedení povinnosti reportovat souhrnné emise celé skupiny PFAS v rámci parametru *totální PFAS*. Do doby, než bude nalezena vhodná rutinně použitelná a cenově dostupná analytická metoda, mohl by být reportován parametr typu Σ *organického fluoru*.⁵²

Tabulka 5: PFAS regulované na základě Drinking Water Directive 2020/2184

| | |
|---|---------------------------------------|
| perfluorbutanová kyselina (PFBA) | perfluorbutansulfonát (PFBS) |
| pentafluorpropionová kyselina (PFPA) | perfluoropentansulfonát (PFPS) |
| perfluorhexanová kyselina (PFHxA) | perfluorhexansulfonát (PFHxS) |
| perfluorheptanová kyselina (PFHpA) | perfluorheptansulfonát (PFHps) |
| perfluoroktanová kyselina (PFOA) | perfluoroktansulfonát (PFOS) |
| perfluornonanová kyselina (PFNA) | perfluornonansulfonát (PFNS) |

| | |
|---|---|
| perfluorodekanová kyselina (PFDA) | <i>perfluorodekansulfonát (PFDS)</i> |
| perfluorundekánová kyselina (PFUnDA) | perfluorundekansulfonát (PFUnS) |
| perfluordodekanová kyselina (PFDoDA) | <i>perfluordodekansulfonát (PFDoS)ⁱ</i> |
| perfluortridekanová kyselina (PFTrDA) | perfluortridekansulfonát (PFTrS) |

V členských zemích EU a EEA zřejmě aktuálně nejsou látky ze skupiny PFAS do registrů emisí ohlašovány; tento fakt byl přímo ověřen v registrech Německa⁵³, Norska⁵⁴, Švédska⁵⁵, Španělska⁵⁶ a Polska⁵⁷, ani nebyla nalezena žádná zmínka o takovém kroku v mnoha dokumentech a vyhledávacích dotazech v rámci rešerše. Nicméně řada zemí vyvíjí iniciativu v oblasti omezení PFAS na mezinárodním poli i v rámci své národní politiky, která k urychlení zavedení reportování v registrech emisí na unijní i národní úrovni může přispět. V následující kapitole budou uvedeny příklady takových kroků ze skupiny severovýchodních zemí.

5.2.1. PFAS v registrech znečištění v Norsku a Švédsku

Severovýchodní země (Dánsko, Finsko, Norsko, Švédsko, Island, Grónsko, Faerské ostrovy a Alandy) jsou členem Severovýchodní rady (Nordic Council) a v mnoha ohledech postupují společně⁵⁸. Dánsko, Švédsko a zejména Norsko, které není členem EU, ale je členem EEA, patří k zemím vyvíjejícím výraznou iniciativu směrem k omezení a zákazu látek ze skupiny PFAS v rámci EU a Evropské agentury pro životní prostředí i v rámci dalších mezinárodních institucí a dohod⁵⁹, viz též kapitola o evropské legislativě.

V současné době národní registry úniků a přenosů znečišťujících látek (PRTR) skandinávských zemí látky ze skupiny PFAS nezahrnují, nicméně např. v norském PRTR byl implementován obecný mechanismus pro zahrnutí emisí z použití produktů pomocí emisních faktorů pro skupiny produktů⁶⁰. Uvedený nástroj by mohl být v budoucnu důležitý právě u PFAS, jelikož pro řadu z nich jsou emise v důsledku použití produktů majoritní cestou, jakou se tyto látky dostávají do životního prostředí.

Ve Švédsku byla v r. 2019, tj. od ohlašovacího roku 2020, zavedena povinnost hlásit obsah PFAS do registru produktů. Povinnost se týká chemických produktů ohlašovaných do registru produktů, ve kterých je přítomna jakákoli PFAS látka jako úmyslně přítomná složka, a to v jakékoli koncentraci, pro firmy s obrátem nad 5 mil. švédských korun⁶¹. Data z tohoto typu ohlašování budou opět cenná také při zavádění PFAS do registrů emisí díky lepšímu povědomí o PFAS v různých typech produktů pocházejících z různých odvětví průmyslu.

5.3. Japonsko

PRTR systém Japonska⁶² zahrnuje požadavek na reportování 462 látek, z nichž jedna patří do skupiny látek PFAS. Touto látkou je PFOS a její soli⁶³. V seznamu látek pro reportování je již od r. 2009. Vláda Japonska schválila v dubnu 2021 změny ve vyhlášce týkající se PRTR, které zařazují PFOS a její soli do seznamu Specific Class I Designated Substances. Tato změna však

ⁱ v seznamu TRI polyfluorovaný a nikoli perfluorovaný derivát

vejde v platnost až v průběhu roku 2022 nebo později⁶⁴. PRTR Japonska má jednotné limity pro hlášení: Class I Designated Substances musejí být hlášeny provozovny (z vyjmenovaných odvětví, s nejméně 21 stálými zaměstnanci) zpracovávajícími 1 t látky a více ročně, Specific Class I Designated Substances jsou hlášeny od 0,5 t látky. Hlášeny jsou emise do ovzduší, vody a půdy a transfery na skládky a provozovny pro zpracování odpadů⁶⁵.

5.4. Austrálie

V australském registru emisí National Pollutant Inventory (NPI) nejsou v současné době látky PFAS zahrnuty⁶⁶. Australská a novozélandská agentura pro životní prostředí vydaly začátkem roku 2020 plán managementu látek ze skupiny PFAS, který se zabývá mnoha oblastmi, ale jejich zavedení do registru emisí mezi nimi není. V Austrálii momentálně probíhají úpravy legislativy na úrovni jednotlivých států i Commonwealthu, které mají umožnit mj. ratifikaci již platných stejně jako budoucích rozšíření Stockholmské konvence, protože Austrálie k ní přistoupila s výhradou, že případná její rozšíření bude ratifikovat a nestanou se tak pro ni automaticky závazná. Plán managementu PFAS se dále zabývá oblastmi jako je monitoring znečištění prostředí a zavádění registru produktů a materiálů s obsahem PFAS⁶⁷.

5.5. Kanada

V kanadském registru emisí National Pollutant Release Inventory (NPRI) nejsou v současné době látky ze skupiny PFAS obsaženy⁶⁸. Použití PFOS, PFOA a Perfluorokarboxylových kyselin s dlouhým řetězcem (LC-PFCAs) je v Kanadě zakázáno. V plánu na rok 2021 se kanadská vláda chce zabývat výzkumem a monitoringem PFAS, sběrem informací o PFAS jako skupině a řeší vývoje opatření v jiných zemích⁶⁹.

6. Legislativní normy dotýkající se problematiky PFAS

6.2. Evropská legislativa

Přístup Evropské unie k problematice látek ze skupiny PFAS vychází ze Stockholmské úmluvy o perzistentních organických polutantech. Tato úmluva při nakládání s PFAS počítá s aplikací principu předběžné opatrnosti. V rámci EU byla Stockholmská úmluva aplikována prostřednictvím Nařízení Evropského parlamentu a Rady EU 2019/1021 o perzistentních organických znečišťujících látkách ze dne 20. června 2019⁷⁰. V důsledku této normy je od 4. července 2020 zakázáno používání PFOA a jejích derivátů. Dále se uvažuje o zahrnutí perfluorhexansulfonové kyseliny (PFH_xS), jejích solí a derivátů do Stockholmské úmluvy, což povede k omezení jejich využívání⁷¹

V nařízení Evropského parlamentu a Rady EU 2019/1021 o perzistentních organických znečišťujících látkách jsou kapitoly věnované omezení PFOS a PFOA

6.2.1. PFOS v nařízení EU 2019/1021

V případě kyseliny perfluoroktansulfonové a jejích derivátů (PFOS) C₈F₁₇SO₂X (X = OH, kovová sůl (O-M⁺), halogenid, amid a jiné deriváty, včetně polymerů) je zakázána výroba, uvádění na trh a používání kromě výjimek uvedených níže

- a) Pokud je koncentrace PFOS v látkách nebo směsích rovna nebo menší než 10 mg/kg (0,001 % hmotnostních)
- b) Pro koncentraci PFOS v polotovarech nebo výrobcích nebo v jejich částech, pokud je koncentrace PFOS vypočtená na základě hmotnosti částí obsahujících PFOS, jež jsou z hlediska struktury nebo mikrostruktury samostatné, menší než 0,1 % hmotnostních, nebo, v případě textilních výrobků nebo jiných povlakovaných materiálů, pokud je množství PFOS menší než 1 µg/m² povlakovaného materiálu
- c) Používání výrobků obsahujících PFOS, které již byly v Unii používány před 25. srpnem 2010, je povoleno. Dozví-li se členský stát o předmětech, neprodleně to oznámí Komisi a agentuře. Kdykoliv Komise obdrží takovou informaci nebo se jinak dozví o takových předmětech, oznámí to v příslušném případě neprodleně sekretariátu úmluvy
- d) Pokud je minimalizováno množství uvolňované do prostředí, výroba a uvádění na trh jsou povoleny do 7. září 2025 pro použití jako látky potlačující tvorbu zákalu při nedekoratивním tvrdém pochromování v uzavřených systémech. Pokud členské státy, v nichž se používá PFOS, podají Komisi do 7. září 2024 zprávu o pokroku v odstraňování PFOS a odůvodní přetrvávající potřebu pro toto použití, Komise přezkoumá potřebu prodloužení výjimky pro toto použití PFOS o dobu nejvýše pěti let do 7. září 2025

Pokud je minimalizováno množství uvolňované do prostředí, výroba a uvádění na trh jsou povoleny do 7. září 2025 pro použití jako látky potlačující tvorbu zákalu při nedekoratивním tvrdém pochromování v uzavřených systémech. Pokud členské státy, v nichž se používá PFOS, podají Komisi do 7. září 2024 zprávu o pokroku v odstraňování PFOS a odůvodní přetrvávající

potřebu pro toto použití, Komise přezkoumá potřebu prodloužení výjimky pro toto použití PFOS o dobu nejvýše pěti let do 7. září 2025. Jakmile budou dostupné nové informace o podrobnostech použití a o bezpečnějších alternativních látkách nebo technologiích, přezkoumá Komise výjimku uvedenou v druhém pododstavci tak, aby:

- a) bylo postupně ukončeno používání PFOS, jakmile bude použití bezpečnějších alternativ technicky a ekonomicky uskutečnitelné,
- b) mohla výjimka nadále platit pouze pro nezbytná použití, pro něž neexistují bezpečnější alternativy, a pokud byla předložena zpráva o tom, jaké kroky byly učiněny s cílem najít bezpečnější alternativy,
- c) bylo sníženo na minimum uvolňování PFOS do prostředí použitím nejlepší dostupné techniky

Kyselina perfluoroktansulfonová a její deriváty (PFOS) $C_8F_{17}SO_2X$ ($X = OH$, kovová sůl ($O-M^+$), halogenid, amid a jiné deriváty, včetně polymerů) je také sledována v odpadech v koncentraci nad 50 mg/kg. Odpady s touto koncentrací nemohou být dále recyklovány, využívány a zpětně získávány. Postupy nakládání s odpady musí vést ke konečnému odstranění. Členské státy mohou případně uplatňovat v souladu se Smlouvou o fungování EU přísnější požadavky, než jsou požadavky stanovené tímto nařízením.

6.2.2. PFOA v nařízení EU 2019/1021

Kromě výjimek uvedených níže je zakázána výroba, uvádění na trh a používání kyseliny perfluoroktanové (PFOA), jejích solí a sloučenin příbuzných PFOA (kyselina perfluoroktanová, včetně veškerých rozvětvených isomerů, její soli, sloučeniny příbuzné PFOA, kterými jsou pro účely úmluvy jakékoli látky, jež se rozkládají na PFOA, včetně veškerých látek (včetně solí a polymerů) s lineární nebo rozvětvenou perfluorheptylovou skupinou se složkou $(C_7F_{15})C$ jakožto jedním ze základních stavebních prvků). Mezi sloučeniny příbuzné PFOA se nezařazují tyto sloučeniny: (i) $C_8F_{17}-X$, kde $X = F, Cl, Br$; (ii) fluorované polymery, které jsou zahrnuty v $CF_3[CF_2]_n-R'$, kde $R' =$ jakákoli skupina, $n > 16$; (iii) perfluoroalkylkarboxylové kyseliny (včetně jejich solí, esterů, halogenidů a anhydridů) s ≥ 8 perfluorouhlovodíky; (iv) perfluoralkansulfonové kyseliny a perfluorfosforové kyseliny (včetně jejich solí, esterů, halogenidů a anhydridů) s ≥ 9 perfluorouhlovodíky; (v) kyselina perfluoroktansulfonová a její deriváty (PFOS).

Výjimka ze zákazu výroby, uvádění na trh a používání se vztahuje na následující případy:

- a) Pokud je koncentraci PFOA nebo jakékoli z jejích solí v látkách, směsích nebo výrobcích, pokud je rovna nebo menší než 0,025 mg/kg (0,000025 hm. %).
- b) Pro koncentraci veškerých jednotlivých sloučenin příbuzných PFOA nebo kombinace sloučenin příbuzných PFOA v látkách, směsích nebo výrobcích, pokud je rovna nebo menší než 1 mg/kg (0,0001 hm. %).
- c) Pro koncentraci sloučenin příbuzných PFOA, pokud je rovna nebo menší než 20 mg/kg (0,002 hm. %), jsou-li přítomny v látce, která má být použita jako přepravovaný izolovaný meziprodukt ve smyslu čl. 3 bodu 15 písm. c) nařízení (ES) č. 1907/2006, a která splňuje přísně kontrolované podmínky stanovené v čl. 18 odst. 4 písm. a) až f) uvedeného nařízení pro výrobu fluorových chemických látek s

perfluorovaným uhlíkovým řetězcem o maximální délce šest atomů. Tuto výjimku Komise přezkoumá a posoudí nejpozději do dne 5.7.2022.

- d) Pokud je koncentrace PFOA a jejích solí, rovna nebo menší než 1 mg/kg (0,0001 hm. %), jsou-li přítomny v mikronizovaném prášku polytetrafluorethylenu (PTFE) získaném ionizujícím zářením nebo tepelným rozkladem, jakož i ve směsích a výrobcích pro průmyslové a profesionální použití obsahujících mikronizovaný prášek PTFE. Je třeba zabránit všem emisím PFOA při výrobě a používání mikronizovaného prášku PTFE, a pokud to není možné, je třeba je co nejvíce omezit. Tuto výjimku Komise přezkoumá a posoudí nejpozději do dne 5.7.2022.
- e) Formou výjimky může být povolena výroba, uvedení na trh a použití PFOA, jejích solí a sloučenin příbuzných PFOA pro tyto účely: (i) fotolitografická výroba a procesy leptání při výrobě polovodičů, do 4. července 2025; (ii) fotografické povlaky nanášené na filmy, do 4. července 2025; (iii) textil odolný vůči oleji a vodě pro ochranu pracovníků před nebezpečnými kapalinami představujícími riziko pro jejich zdraví a bezpečnost; do 4. července 2023; (iv) invazivní a implantabilní zdravotnické prostředky, do 4. července 2025; (v) výroba polytetrafluorethylenu (PTFE) a poly(vinylidenfluoridu) (PVDF) pro výrobu vysoce výkonných, korozivzdorných membrán pro filtraci plynu, membrán pro filtraci vody a membrán pro lékařské textilie, zařízení pro tepelné výměníky k využití tepla z průmyslového odpadu a průmyslových těsnících materiálů schopných zabránit úniku těkavých organických sloučenin a částic PM_{2,5}, do 4. července 2023.
- f) Formou výjimky může být povoleno použití PFOA, jejích solí a sloučenin příbuzných PFOA v hasicí pěně pro potlačení par uvolňovaných z kapalných paliv a hašení požárů kapalných paliv (požáry třídy B), která je již nainstalována v systémech, včetně mobilních a stabilních systémů, do 4. července 2025, a to za těchto podmínek: (i) hasicí pěna, která obsahuje nebo může obsahovat PFOA, její soli a/nebo sloučeniny příbuzné PFOA se nesmí používat při výcviku; (ii) hasicí pěna, která obsahuje nebo může obsahovat PFOA, její soli a/nebo sloučeniny příbuzné PFOA se nesmí používat při testování, není-li zabráněno únikům; (iii) od 1. ledna 2023 je použití hasicí pěny, která obsahuje nebo může obsahovat PFOA, její soli a/nebo sloučeniny příbuzné PFOA, povoleno pouze v místech, kde lze zabránit všem únikům; (iv) se zásobami hasicí pěny, které obsahují nebo mohou obsahovat PFOA, její soli a/nebo sloučeniny příbuzné PFOA, je nakládáno v souladu s článkem 5
- g) Formou výjimky může být povoleno použití perfluoroktylbromidu, který obsahuje perfluoroktyljodid, pro účely výroby farmaceutických výrobků, a to s výhradou přezkumu a posouzení, které Komise provede do 31. prosince 2026, poté každé čtyři roky až do 31. prosince 2036.
- h) Používání výrobků obsahujících PFOA, její soli a/nebo sloučeniny příbuzné PFOA, které jsou v Unii používány před 4. červencem 2020, je povoleno. Na takovéto výrobky se vztahují ustanovení čl. 4 odst. 2 třetího a čtvrtého pododstavce.
- i) Formou výjimky se do 3. prosince 2020 povoluje výroba, uvedení na trh a použití PFOA, jejích solí a sloučenin příbuzných PFOA pro tyto účely: (i) zdravotnické prostředky jiné než implantabilní, které spadají do oblasti působnosti nařízení (EU)

2017/745 (8); (ii) latexové tiskařské barvy; (iii) plazmové povrchové úpravy využívající nanotechnologií.

- j) Pro účely této položky se čl. 4 odst. 1 písm. b) použije pro koncentraci PFOA a jejích solí a sloučenin příbuzných PFOA, pokud je rovna nebo menší než 2 mg/kg (0,0002 % hmotnostních), jsou-li přítomny ve zdravotnických prostředcích jiných než invazivních a implantabilních prostředcích. Komise tuto výjimku posoudí a zhodnotí nejpozději do 22. února 2023.

6.2.3. PFAS v Evropské směrnici 98/83/ES o jakosti vod určené k lidské spotřebě

Evropská směrnice 98/83/ES upravující jakost vody určené k lidské spotřebě definuje standardy kvality pitné vody a pro PFAS stanovuje souhrnný limit na úrovni 0.1 µg/L⁷². Tento limit reguluje celkovou koncentraci následujících vybraných zástupců PFAS. Limit plánovaný od roku 2023 je 0,5 µg/l a je navržen pro sumu všech PFAS. Uvedená směrnice vešla v platnost 12. ledna 2021.

6.2.4. PFAS ve Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky

Dalším předpisem, který řeší otázku poly- a perfluorovaných látek je Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky. PFOS je zařazen mezi látky podléhající přezkumu pro případnou identifikaci jako prioritní látka nebo prioritní nebezpečná látka. Státy by měly postupně snížit až eliminovat znečištění prioritními látkami a prioritními nebezpečnými látkami. Směrnice dále uvádí, že by členské státy měly zlepšit sledování a shromáždit, případně rozšířit, dostupné poznatky o uvedených látkách, aby bylo možné stanovit plán kontrol a účinného sledování látek v jednotlivých složkách životního prostředí. Státy by měly sledovat ve vhodných případech a s náležitou pravidelností zejména látky, které se akumulují v sedimentech nebo v biotě. Výsledky analýz mají být dle rozhodnutí Evropského parlamentu a Rady č. 2455/2001/ES vhodným způsobem zpřístupněny⁷³.

6.2.5. PFAS rámci nařízení REACH

V červnu 2019 a lednu 2020 byly mezi látky vzbuzující mimořádné obavy (SVHC) zařazeny i dva zástupci skupiny PFAS. Důvodem byla především jejich perzistence, mobilita a toxicita. Díky těmto vlastnostem mohou uvedené látky představovat hrozbu pro lidské zdraví a volně žijící živočichy, pokud jsou vystaveni jejich působení. Jedná se o kyselinu 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorproxy)propionová, její soli a její acylhalogenid (HFPO-DA). Tato látka je považována za PFAS s krátkým řetězcem a je používána jako náhrada PFOA při výrobě flourpolymerů. Amonná sůl je označována zkratkou GenX. Další látkou zařazenou mezi SVHC je kyselina perfluorbutansulfonová (PFBS) a její soli. I tato látka se používá především jako náhrada PFOS. Kritéria pro zařazení látek mezi perzistentní, bioakumulativní a toxické (PBTs), jakož i mezi látky vyvolávající mimořádné obavy (SVHC), z důvodu vysoké perzistence a schopnosti bioakumulace, jsou shrnuty ve směrnici 2000/60/ES.⁷⁴

V červnu 2020 podpořil Výbor pro socioekonomickou analýzu (SEAC) návrh Norska na omezení používání kyseliny perfluorohexan-1-sulfonové (PFHxS), zejména v případech, kdy je používána jako náhrada za PFOA.⁷⁵

6.2.6. PFAS rámci nařízení CLP

Dalším nařízením, které reguluje problematiku PFAS, je Nařízení (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (CLP). Pouze několik málo zástupců PFAS má již harmonizovanou klasifikaci a označování v souladu s CLP nařízením. Jedná se o kyselinu perfluoroktanovou (PFOA), pentadekafluortokonát amonný (APFO), kyselinu perfluoronanovou (PFNA) a její sodné a amonné soli, kyselinu perfluordekanovou (PFDA) a její sodné a amonné soli. Dále byla k harmonizaci navržena kyselina perfluoro heptanová (PFHpA).⁷⁶

6.2.7. PFAS v rámci návrhů regulací předkládaných členskými státy EU

Evropská chemická agentura (ECHA) uvádí, že Německo a Švédsko navrhuje omezení pro některé perfluorované karboxylové kyseliny (C9-14 PFCAs), včetně jejich solí a prekurzorů: PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTrDA, PFTDA. Vědecký výbor ECHA toto omezení podporuje. Tuto skupinu látek také EU považuje za potenciální kandidáty pro regulaci v rámci Stockholmské úmluvy. Norsko navrhlo omezení na PFHxS a jejích solí a derivátů. ECHA omezení podpořila v červnu 2020 a návrh v současnosti projednává Evropská komise. Německo rovněž usiluje o omezení PFHxA a jejích solí a derivátů. Nizozemsko a Německo s podporou Norska, Dánska a Švédska připravují návrh na omezení široké škály PFAS. Očekává se, že návrh předloží agentuře ECHA do 15. července 2022. Kromě toho ECHA předloží v lednu 2022 návrh na omezení pro PFAS používaných v hasících pěnách.

V září 2020 nastavil Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) novou prahovou hodnotu pro vybrané zástupce PFAS v potravinách. Pro skupinu PFAS, u nichž se předpokládá vysoká schopnost akumulace v lidském organismu (konkrétně PFOA, PFOS, PFNA a PFHxS), byl určen skupinový tolerovatelný týdenní příjem (TWI) na úrovni 4.4 ng/kg tělesné hmotnosti/týden.⁷⁷

6.3. Legislativa v Austrálii

Dalším státem, který sleduje per- a polyfluorované látky je Austrálie. Pozornost je věnována především fluorovaným uhlovodíkům (HFC látky). Austrálie je smluvní stranou Stockholmské úmluvy, její ratifikace ale probíhá pomalu a je nutné provést individuální analýzy látek uvedených v jednotlivých přílohách úmluvy, a to zpozdilo přijetí omezení uvedených v úmluvě. Australské ministerstvo životního prostředí a energetiky si je vědomo mezery ve svém regulačním systému a snaží se vytvořit legislativu na federální úrovni.⁷⁸

Jednotlivé státy se snaží prosadit zákazy konkrétního využití PFAS (Queensland zakázal PFOS a PFOA v hasících pěnách v roce 2019, Nový Jižní Wales v roce 2018).⁷⁹

6.4. Legislativa v USA

V červnu 2021 US EPA oznámila záměr prosadit tři důležitá opatření, která povedou k lepší ochraně lidského zdraví a životního prostředí před účinky PFAS. Prvním z těchto opatření má být zákonná norma, která umožní shromažďování komplexních informací o více než 1000 látkách ze skupiny PFAS, které se na území USA vyráběly od roku 2011, včetně informací o jejich použití, objemu výroby, likvidaci a rizicích obecně. Druhým z těchto opatření má být stažení pokynu, který významně omezoval účinnost pravidel pro významná nová použití chemických látek (SNUR) z června roku 2020 pro některá vybraná použití PFAS s dlouhým řetězcem. Posledním opatřením má být zveřejnění výsledné podoby normy, která zařadí tři nové PFAS (perfluoroktyl iodid – PFOI, perfluoroktanoát draselný- KPFO a perfluoroktanoát stříbrný - AgPFO) mezi látky, které podléhají hlášení do Registru úniků toxických látek (TRI).⁸⁰

Legislativní oporou pro regulaci kvality pitných vod v USA je federální Zákon o bezpečné pitné vodě (SDWA). Tato norma předpokládá monitoring PFAS ve zdrojích pitných vod s frekvencí 5 let. EPA v dané souvislosti navrhuje ve vodách monitoring 29 kontaminantů ze skupiny PFAS. Rozsah sledování ovšem záleží na finančních prostředcích přidělených kongresem. V letech 2013 až 2015 monitorovala EPA ve vodách obsah PFOS, PFOA a PFNA. V roce 2016 vydala EPA hygienický limit pro obsah PFOS a PFOA v pitných vodách na úrovni 70 ng/L.⁸¹ Tento limit není nijak vymahatelný, slouží pouze jako doporučení pro státní správu a její další rozhodování a pro ochranu veřejného zdraví. Dále EPA uvádí, že bude ve sledování těchto látek pokračovat a provádět monitoring. Stát New Hampshire navrhl standardy pro pitné vody (maximální koncentraci) pro PFOS nebo PFOA a PFOS (společně) na 70 ppt, 38 ppt pro PFOS samostatně, 85 ppt pro PFHxS a 23 ppt pro PFNA. Nicméně soud přijetí těchto norem zablokoval s odůvodněním, že je třeba další dokazování z hlediska na ekonomické a sociální důsledky.⁸²

Některé státy zakázaly použití PFAS v hasících pěnách již od roku 2018 (Washington), jiné od roku 2020 (Colorado). Stejně tak například New Hampshire nebo Colorado. Za porušení těchto pravidel byly stanoveny tisíkové pokuty (až 10 000 USD).⁸³

V červenci 2020 oznámil americký Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA), že dosáhl dohody se třemi klíčovými výrobci potravin, kteří používají PFAS (6:2 fluortelomerní alkohol – 6:2 FTOH) jako prostředek proti promaštění papírových obalů. Tito výrobci se zavázali, že od ledna 2021 začne tříleté období, v rámci kterého budou usilovat o postupné ukončení používání této látky.⁷⁹ V roce 2018 stát Washington schválil zákon týkající se používání perfluorovaných látek, který zakazuje používání obalových materiálů s jejich obsahem, pokud je možná bezpečnější alternativa. Podobné návrhy byly předloženy i v jiných státech jako Maine, Ohio apod. Kromě států, které se snaží regulovat expozici spotřebitelů PFAS prostřednictvím výrobků, které je obsahují, existují i iniciativy týkající se monitoringu těchto látek v životním prostředí. Tyto iniciativy jsou zejména zaměřeny na získání finančních prostředků umožňujících dostatečně intenzivní monitoring potenciálních zdrojů kontaminace a mapování kontaminovaných míst.

Obecně v USA vládne přesvědčení, že je třeba situaci řešit komplexně a rychle, ale zatím nebyl nalezen obecný konsenzus pro případnou aplikaci příslušných opatření do federálních politik

a legislativy. Některé státy váhají nad řešením situace, neboť nemají oporu ve federální legislativě. Některé státy argumentují tím, že na jejich území se nevyskytují výrobci používající tyto látky, a proto regulace není třeba (Utah).

7. Závěrečný souhrn

Pro debatu o možnostech a efektivitě hlášení úniků PFAS do integrovaného registru znečištění (IRZ) jsou z našeho pohledu klíčová následující fakta:

1. Díky termodynamické stabilitě vazeb C-F jsou PFAS velmi odolné vůči hydrolyze, fotolýze, metabolickým přeměnám a dalším procesům umožňujícím degradaci daných látek v životním prostředí. PFAS vykazují vysoký bioakumulační potenciál a značnou míru perzistence v jednotlivých složkách ŽP. Celá řada těchto látek je řazena mezi perzistentní organické polutanty (POPs), případně mezi perzistentní, bioakumulativní a toxické látky (PBTs). Z hlediska perzistence a bioakumulačního potenciálu jsou za obzvláště problematické považovány PFAS s dlouhým řetězcem – tedy C8 – C14. (viz. kapitola 1.2)
2. PFAS jsou podezřelé z celé řady závažných toxických a ekotoxických účinků, komplexní analýza zdravotních a environmentálních rizik těchto látek je však zatížena celou řadou nejistot. Důležitá data a informace chybí zejména v následujících klíčových oblastech:
 - a. Toxikologický a ekotoxikologický výzkum byl dosud orientován pouze na několik málo nejběžnějších zástupců dané skupiny – o celé řadě látek z této skupiny chybí i základní toxikologická a ekotoxikologická data
 - b. Chybí klíčové informace o účinku směsí PFAS – v reálných podmínkách působí na organismus směs celé řady PFAS, kde se mohou uplatňovat jak aditivní, tak synergické efekty, v rámci této skupiny látek bude třeba diskutovat možnost zavedení toxických ekvivalentů či jiných přístupů umožňujících efektivní hodnocení toxicity směsí
 - c. Není dostatečně prostudován osud většiny PFAS v ŽP, používané metody hodnocení biodostupného a bioakumulativního podílu PFAS, který představuje environmentální a zdravotní riziko poskytují velmi heterogenní výstupy
3. Látky ze skupiny PFAS jsou emitovány do všech složek životního prostředí. Látek typu PFAS je velké množství a v některých produktech i přímých emisích není v současné době známo jejich přesné složení, protože některé PFAS látky vznikají také jako nechtěné vedlejší produkty při výrobě, nebo při částečné degradaci.
4. Analýza PFAS (zejména pokud se jedná o kvantitativní analýzu stopových množství PFAS v jednotlivých složkách ŽP pro potřeby monitoringu, či studia osudu těchto látek v ŽP) je materiálně, časově i finančně velmi náročný proces vyžadující pokročilou instrumentaci a vysoce kvalifikovanou pracovní sílu. Techniky analytického screeningu umožňujícího *in-situ* měření jsou zatím poměrně málo citlivé, v dané oblasti však probíhá překotný vývoj. Pro potřeby některých regulačních procesů je možné komplikovanou analýzu jednotlivých zástupců PFAS nahradit jednoduššími analytickými procesy s nižší vypovídací schopností (stanovení celkového obsahu oxidovatelných prekurzorů, screening zaměřený na několik vybraných typických zástupců PFAS, stanovení extrahovatelného/adsorbovatelného organického fluoru, stanovení celkového fluoru)

5. V řadě zemí jsou známé PFAS látky vyráběné či dovážené sledovány a hlášeny do národních a potažmo mezinárodních seznamů chemických či nebezpečných látek
6. Zdrojem emisí PFAS do prostředí je široká paleta oborů lidské činnosti. Zčásti jde o emise z průmyslu, který PFAS látky používá a vyrábí, ale z velké části jde o emise při použití hotových výrobků. Nejmarkantnějším příkladem je použití hasicích prostředků s obsahem PFAS, které by mohlo být zdrojem i více než poloviny celkových emisí těchto látek.
7. V USA bylo již zavedeno 172 PFAS látek a jejich skupin do seznamu látek s povinností hlásit jejich emise do prostředí a proběhlo první hlášení emisí za rok 2020. V řadě zemí a mezinárodních organizací se pracuje na přípravě podobného kroku, pro nás jsou důležité zejména přípravy v rámci EU.

Pokud mají být PFAS látky zavedeny do IRZ, pak jednoznačně první látky, o kterých je třeba uvažovat, by měly být PFOS, PFOA a jejich prekurzory a PFHxS. Tyto látky jsou v současné době již zakázány podle Stockholmské konvence, nebo se o jejich přidání v nejbližší době uvažuje, ale také stále existují výjimky z existujících zákazů. Nejdůležitější prekurzory je třeba sledovat proto, že z nich tyto látky vznikají v prostředí. Při rozhodování o dalších látkách, je možné se opřít zejména o pracovní materiály EK (kapitola 5.2), které obsahují doporučení kromě výše zmíněných převzít do seznamu i 20 látek z direktivy o pitných vodách (vyjmenovány v kapitole 5.2) a možnost zavedení souhrnného parametru celkové PFAS, nebo v prvním kroku celkový organický fluor.

Další látky by bylo možno případně doplnit také s využitím seznamu látek již sledovaných v USA (kapitola 5.1), pokud jsou u nás v podstatné míře využívány. Pro možnost porovnání byly v **Tab. 5** označeny látky, které jsou zároveň v evropské direktivě o pitných vodách a v seznamu pro reportování do amerického registru TRI - látky přítomné v obou seznamech shodně tučně, látky, které jsou v seznamu pro TRI jako soli a deriváty látek v tabulce tučnou kurzívou. V americkém seznamu jsou uváděny přímo konkrétní deriváty a soli jednotlivě, což může ovšem vést v některých případech k obcházení nutnosti hlásit dané látky zjednodušeně řečeno náhradou draselné soli kyseliny solí sodnou nebo amonnou. Přihlédnout je možné také ke komplexní studii o podílu jednotlivých skupin látek na emisích v Norsku (kapitola 1.4); je však otázka, jak výrazně se liší naše současná situace od situace v Norsku. Pro ověření, které látky mohou být v našem kontextu důležité, je možné využít seznamy registrovaných a pre-registrovaných látek v rámci REACH (kapitola 4, **Tab. 4**). V USA byly kromě obdobných amerických seznamů chemických látek využity také petice zasílané veřejností v průběhu veřejné diskuse pracovních návrhů příslušných vyhlášek EPA a tento mechanismus je využíván k průběžnému doplňování seznamů. Tento mechanismus je také formálně zakotven v tamní legislativě. Nějaký méně formální způsob podávání návrhů od (zejména odborné) veřejnosti by bylo patrně vhodné využít i u nás.

Vzhledem ke komplexnosti celé problematiky by byl zřejmě obecně vhodný podobný přístup, jako v USA minimálně v tom, že byly v první fázi zvoleny jednotné ohlašovací prahy a následně byl celý systém průběžně přizpůsobován doplňováním dalších látek a úpravou jednotlivých prahů. V pracovních materiálech EK nejsou ohlašovací prahy zatím řešeny. Většina PFAS látek je perzistentní, mobilní v prostředí a vzhledem k nedostatku dat u velké

části z nich jsou všechny považovány za potenciálně nebezpečné z hlediska toxicity a ekotoxicity. Jedním z kritérií pro nastavení ohlašovacích prahů by tedy mohla být analogie s již zavedenými perzistentními látkami s podobnými fyzikálně chemickými vlastnostmi.

Tabulka 6: Seskupování PFAS podle vybraných kritérií pro potřeby prioritizace

| Seskupování podle | Vyžadovaná data | Výhody | Omezení |
|---|---|--|---|
| PBT/ vPvB | BCF/BAF | Zažité paradigma | Zatím data pouze pro vybrané PFAS s dlouhým řetězcem |
| PMT/vPvM | Rozpusťnost ve vodě, K_{ow} , K_{oc} | Srozumitelné, cíleně zaměřené na problém pitných vod | Omezená dostupnost dat |
| Typ polymeru | Složení polymeru, molekulová hmotnost, vyluhovatelná rezidua, reaktivní skupiny, velikost částic, stabilita | V souladu s OECD kritérii | Nezahrnuje expozici během produkční a end-of-life fáze životního cyklu, různé přístupy v různých zemích |
| Celkový organický fluor | | Snadné, rychlé, levné, vhodné pro prvotní screening a následné zacílení více specifických nákladných postupů | Nespecifické, nerozliší jednotlivé podskupiny PFAS |
| Aditivní toxicita | Toxicita | Jednoduchý postup, kumulativní riziko, | Omezeno na látky, pro něž existují analytické postupy, předpokládá se stejný mechanismus a toxikokinetika jednotlivých PFAS |
| Parametr relativní účinnosti (toxický ekvivalent) | Toxicita (relativní účinnost), toxikokinetika | Kumulativní riziko, zahrnuje rozdíly v mechanismu toxického účinku a relativní účinnosti | Vhodné jen pro omezený počet toxikologických end-pointů (hepatotoxicita), velmi náročné a nákladné |
| Mechanismy toxického účinku | Mechanismy účinku/ toxikokinetika | Kumulativní toxicita, vysoká relevance | Nedostatek dat, velmi náročné a nákladné |

PBT – perzistentní, bioakumulativní, toxický; vPvB – velmi bioakumulativní, velmi toxický; BCF – biokoncentrační faktor; BAF – bioakumulační faktor; PMT – perzistentní, mobilní a toxické, vPvM – velmi perzistentní a velmi mobilní, K_{ow} – rozdělovací koeficient oktanol/voda, K_{oc} – rozdělovací koeficient organický uhlík/voda;

Při případném zavedení sledování vybraných PFAS v registru IRZ je třeba si uvědomit, že při současné koncepci sledování především velkých průmyslových zdrojů emisí nebude podstatná část celkových emisí u skupiny PFAS podchycena, protože velká část emisí se dostává do prostředí při použití výrobků a přípravků koncovými uživateli. Jen samotné hasební prostředky podle studie zmíněné v kapitole 1.4. mohou mít více než poloviční podíl na celkových emisích. Možná řešení jsou v podstatě dvě, buď rozšířit IRZ o odhad emisí z různých typů použití podobně, jako to dělají v Norsku, nebo tento typ emisí nesledovat a jejich omezení založit na seznamech dovážených a vyráběných látek (na základě REACH).

Z výše uvedeného vyplývá, že při výběru látek, které bude případně třeba hlásit do příslušného registru bude v zahajovací fázi celého procesu patrně třeba provést nějaký proces prioritizace. V níže uvedené **Tab. 6** přejaté z práce Cousins a kol., 2020 jsou naznačeny způsoby třídění PFAS do skupin podle různých kritérií.⁸⁴ Vytváření skupin podle uvedeného schématu mimo jiné umožňuje vybrat z dané velmi početné a komplexní skupiny ty látky, jejichž sledování umožní s minimálními náklady dosáhnout maximálního efektu z pohledu ochrany zdraví a životního prostředí. Na takové látky je pak třeba se soustředit v první fázi zavádění nového regulačního opatření.

8. Literatura

1. OECD, OECD/UNEP Global PFC Group Synthesis Paper on Per- and Polyfluorinated Chemicals (PFCs). Paris: OECD, 2013. . Available from URL: <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/32445>.
2. Buck R, Franklin J, Berger U, et al. & van Leeuwen, SP (2011). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated environmental assessment and management*;7(4): 513-41.
3. Bhattacharyya D, Sriariyanun M. Poly- and per-fluoroalkyl substances (PFAS) in water environment. *Applied Science and Engineering Progress* 2021.
4. Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance OECD Environment, Health and Safety Publications, Series on Risk Management [serial online] 2021;61. Available from URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/CBC/MONO\(2021\)25&docLanguage=en](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/CBC/MONO(2021)25&docLanguage=en).
5. Sinclair GM, Long SM, Jones OA. What are the effects of PFAS exposure at environmentally relevant concentrations? *Chemosphere* 2020;258: 127340.
6. Johnson MS, Buck RC, Cousins IT, Weis CP, Fenton SE. Estimating Environmental Hazard and Risks from Exposure to Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs): Outcome of a SETAC Focused Topic Meeting: Wiley Online Library, 2021.
7. Vo HNP, Ngo HH, Guo W, et al. Poly-and perfluoroalkyl substances in water and wastewater: A comprehensive review from sources to remediation. *Journal of Water Process Engineering* 2020;36: 101393.

8. Steindal EH, Grung M. Management of PFAS with the aid of chemical product registries—an indispensable tool for future control of hazardous substances. *Integrated environmental assessment and management* 2021;17(4): 835-51.
9. Glüge J, Scheringer M, Cousins IT, et al. An overview of the uses of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science: Processes & Impacts* 2020;22(12): 2345-73.
10. Matějka J, Korbelařová J. Fluorované látky v pěnidlech u HZS ČR. *Časopis* 112 2020;19(8).
11. Ahmed M, Johir M, McLaughlan R, Nguyen LN, Xu B, Nghiem LD. Per-and polyfluoroalkyl substances in soil and sediments: Occurrence, fate, remediation and future outlook. *Science of The Total Environment* 2020;748: 141251.
12. Ojo AF, Peng C, Ng JC. Assessing the human health risks of per-and polyfluoroalkyl substances: A need for greater focus on their interactions as mixtures. *Journal of Hazardous Materials* 2020: 124863.
13. Fenton SE, Ducatman A, Boobis A, et al. Per-and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review: Current state of knowledge and strategies for informing future research. *Environmental toxicology and chemistry* 2021;40(3): 606-30.
14. Steenland K, Fletcher T, Stein CR, et al. Evolution of evidence on PFOA and health following the assessments of the C8 Science Panel. *Environment International* 2020;145: 106125.
15. Steenland K, Barry V, Savitz D. Serum perfluorooctanoic acid and birthweight: an updated meta-analysis with bias analysis. *Epidemiology* 2018;29(6): 765-76.
16. Johnson PI, Sutton P, Atchley DS, et al. The Navigation Guide—evidence-based medicine meets environmental health: systematic review of human evidence for PFOA effects on fetal growth. *Environmental health perspectives* 2014;122(10): 1028-39.
17. Grandjean P, Andersen EW, Budtz-Jørgensen E, et al. Serum vaccine antibody concentrations in children exposed to perfluorinated compounds. *Jama* 2012;307(4): 391-97.
18. NTP (National Toxicology Program). 2016. Monograph on Immunotoxicity Associated with Exposure to Perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS).
19. Coperchini F, Croce L, Ricci G, et al. Thyroid disrupting effects of old and new generation PFAS. *Frontiers in Endocrinology* 2020;11.
20. Girardi P, Merler E. A mortality study on male subjects exposed to polyfluoroalkyl acids with high internal dose of perfluorooctanoic acid. *Environmental research* 2019;179: 108743.
21. Steenland K, Winquist A. PFAS and cancer, a scoping review of the epidemiologic evidence. *Environmental research* 2020: 110690.
22. Al Amin M, Sobhani Z, Liu Y, et al. Recent advances in the analysis of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS)—A review. *Environmental Technology & Innovation* 2020;19: 100879.
23. Ryu H, Li B, De Guise S, McCutcheon J, Lei Y. Recent progress in the detection of emerging contaminants PFASs. *Journal of Hazardous Materials* 2021;408: 124437.
24. U.S. EPA, METHOD 537. DETERMINATION OF SELECTED PERFLUORINATED ALKYL ACIDS IN DRINKING WATER BY SOLID PHASE EXTRACTION AND LIQUID CHROMATOGRAPHY/TANDEM MASS SPECTROMETRY (LC/MS/MS), 2009.

25. U.S. EPA, METHOD 537.1 DETERMINATION OF SELECTED PER- AND POLYFLUORINATED ALKYL SUBSTANCES IN DRINKING WATER BY SOLID PHASE EXTRACTION AND LIQUID CHROMATOGRAPHY/TANDEM MASS SPECTROMETRY (LC/MS/MS) 2018.
26. U.S. EPA, METHOD 533: DETERMINATION OF PER- AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES IN DRINKING WATER BY ISOTOPE DILUTION ANION EXCHANGE SOLID PHASE EXTRACTION AND LIQUID CHROMATOGRAPHY/TANDEM MASS SPECTROMETRY 2019.
27. Menger RF, Funk E, Henry CS, Borch T. Sensors for Detecting Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): A Critical Review of Development Challenges, Current Sensors, and Commercialization Obstacles. *Chemical Engineering Journal* 2021: 129133.
28. Rodriguez KL, Hwang J-H, Esfahani AR, Sadmani A, Lee WH. Recent Developments of PFAS-Detecting Sensors and Future Direction: A Review. *Micromachines* 2020;11(7): 667.
29. Naidu R, Nadebaum P, Fang C, et al. Per-and poly-fluoroalkyl substances (PFAS): Current status and research needs: Elsevier, 2020.
30. OECD. Toward a new comprehensive global database of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs): Summary report on updating the OECD 2007 list of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs): OECD Environment Directorate, Environment, Health and Safety Division Paris ..., 2018.
31. LISTS OF PFOS, PFAS, PFOA, PFCA, RELATED COMPOUNDS AND CHEMICALS THAT MAY DEGRADE TO PFCA (AS REVISED IN 2007), ENV/JM/MONO(2006)15, Series on Risk Management No. 21. Available from URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=env/jm/mono\(2006\)15](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=env/jm/mono(2006)15).
32. ECHA - Registered substances. Available from URL: <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/registered-substances>
33. ECHA - Pre-registered substances. Available from URL: https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/pre-registered-substances?p_p_id=disslists_WAR_disslistsportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_disslists_WAR_disslistsportlet_javax.portlet.action=searchDissLists.
34. SPIN - Substances in Preparations in Nordic Countries. Available from URL: <http://spin2000.net/>
35. KEMI (2015) Occurrence and use of highly fluorinated substances and alternatives. Report from a government assignment 7/15. Stockholm: Swedish Chemical Agency (KEMI), p. 112. Available from URL: <https://web.archive.org/web/20200813012151/https://www.kemi.se/global/rapporter/2015/report-7-15-occurrence-and-use-of-highly-fluorinated-substances-and-alternatives.pdf>.
36. Australian Industrial Chemicals Introduction Scheme (AICIS). Available from URL: <https://www.industrialchemicals.gov.au/aicis>
37. Substances Search - Canada.ca Available from URL: <https://pollution-waste.canada.ca/substances-search/Substance>
38. NITE-CHRIP - Japan's National Institute of Technology and Evaluation Chemical Risk Information Platform. Available from URL: https://www.nite.go.jp/en/chem/chrip/chrip_search/systemTop
39. TSCA CHSI - Toxic Substances Control Act Chemical Substance Inventory. Available from URL: <https://www.epa.gov/tsca-inventory>

40. Chemical Data Reporting under the Toxic Substances Control Act Available from URL: <https://www.epa.gov/chemical-data-reporting>
41. SciFindern Search. Available from URL: <https://scifinder-n.cas.org/>
42. Release Chemical Report | TRI Explorer | US EPA Available from URL: https://enviro.epa.gov/triexplorer/tri_release.chemical
43. National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2020, Public Law. . Available from URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-116publ92/html/PLAW-116publ92.htm>
44. U.S. House of Representatives (2010), 42 USC Ch. 116: EMERGENCY PLANNING AND COMMUNITY RIGHT-TO-KNOW. Available from URL: <https://uscode.house.gov/view.xhtml?path=/prelim@title42/chapter116&edition=prelim>.
45. EPA, TRI Program Guide, Reporting Forms and Instructions, A.1 Who Must Report. Available from URL: https://ordspub.epa.gov/ords/guideme_ext/f?p=guideme:rfi:::rfi:1_1.
46. US EPA (2021) Addition of Certain PFAS to the TRI by the National Defense Authorization Act. Available from URL: <https://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/addition-certain-pfas-tri-national-defense-authorization-act>
47. NEI Plan (2020). U.S. EPA. Available from URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-08/documents/2020_nei_plan_final.pdf
48. US EPA (2021) Toxic Substances Control Act Reporting and Recordkeeping Requirements for Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances, Federal Register. Available from URL: <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPPT-2020-0549-0001>
49. European Commission (2020) Poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS). Brussels: European Commission (Commission staff working document). Available from URL: https://ec.europa.eu/environment/pdf/chemicals/2020/10/SWD_PFAS.pdf
50. Gibbs M, Opie L, Goodwin J, et al. Review of E-PRTR implementation and related guidance, Final Report, Service Request No. 14 under framework contract No. ENV.C4/FRA/2015/0042: European Commission - Directorate-General for the Environment 2020.
51. DIRECTIVE (EU) 2020/2184 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the quality of water intended for human consumption THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UN 2020.
52. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, Poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS), Accompanying the document COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, Brussels, 14.10.2020 SWD(2020) 249 final Available from URL: https://ec.europa.eu/environment/pdf/chemicals/2020/10/SWD_PFAS.pdf
53. Thru.de Available from URL: <https://www.thru.de/en/thrude/>
54. Norwegian Pollutant Release and Transfer Register (PRTR). Available from URL: <https://www.norskeutslipp.no/en/Frontpage/>.
55. Swedish Pollutant Release and Transfer Register (PRTR). Available from URL: <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/en/Search>.
56. Spanish Pollutant Release and Transfer Register (PRTR). Available from URL: <https://en.prtr-es.es/conozca/Sustancias-contaminantes-1026062012.html#3>
57. Polish Pollutant Release and Transfer Register (PRTR). Available from URL: <http://www.gios.gov.pl/prtr/portal>

58. Nordic Council - Nordic Cooperation. Available from URL: <https://www.norden.org/en>.
59. Country information - OECD Portal on Per and Poly Fluorinated Chemicals - European Union. Available from URL: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/countryinformation/european-union.htm>.
60. PRTRs: the evidence base instrument for the right to know our environment? | PRTRs MOPP4 Side Event Available from URL: <https://www.genevaenvironmentnetwork.org/events/prtrs-the-evidence-base-instrument-for-the-right-to-know-our-environment-prtrs-mopp4-side-event/>
61. Registration duty for highly fluorinated substances (PFAS) in chemical products Available from URL: <https://www.kemi.se/en/products-register/products-obliged-to-be-reported/registration-duty-for-highly-fluorinated-substances-pfas-in-chemical-products>
62. NITE (2016), Overview of the Pollutant Release and Transfer Register (PRTR) System, National Institute of Technology and Evaluation. Available from URL: <https://www.nite.go.jp/data/000080967.pdf>.
63. Act No. 86 (1999), Act on Confirmation, etc. of Release Amounts of Specific Chemical Substances in the Environment and Promotion of Improvements to the Management Thereof. Available from URL: <https://www.nite.go.jp/en/chem/prtr/prlaw.html>.
64. Nakagawa S. PFOA and its Salts Classified as “Class I Specified Chemical Substance” in Japan Envilience ASIA [serial online] 2021. Available from URL: <https://www.nite.go.jp/en/chem/prtr/prlaw.html>.
65. National Institute of Technology and Evaluation (NITE), Notification Requirements of the PRTR system. Available from URL: <https://www.nite.go.jp/en/chem/prtr/substance.html>.
66. National Pollutant Inventory, Australia. Available from URL: <http://www.npi.gov.au/>
67. PFAS National Environmental Management Plan Version 2.0 (2020). Available from URL: <https://www.awe.gov.au/sites/default/files/documents/pfas-nemp-2.pdf>.
68. Substance list by threshold, Canada. Available from URL: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/national-pollutant-release-inventory/substances-list/threshold.html>
69. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) - Canada.ca. Available from URL: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/chemical-substances/other-chemical-substances-interest/per-polyfluoroalkyl-substances.html>
70. REGULATION (EU) 2019/1021 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 20 June 2019 on persistent organic pollutants: THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UN 2019.
71. Chemicals proposed for listing under the Stockholm Convention. Available from URL: <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/ChemicalsProposedforListing/tabid/2510/Default.aspx>.
72. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption: THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UN 1998.
73. DIRECTIVE 2008/105/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy: THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION 2008.

74. REGULATION (EC) No 1907/2006 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH): THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION 2006.
75. ECHA's committees recommend restricting a subgroup of PFAS, ECHA/NR/20/21. Available from URL: https://echa.europa.eu/cs/-/echa-s-committees-recommend-restricting-a-subgroup-of-pfas?utm_source=echa-weekly&utm_medium=email&utm_campaign=weekly&utm_content=20200617.
76. REGULATION (EC) No 1272/2008 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures: THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION 2008.
77. PFAS in food: EFSA assesses risks and sets tolerable intake. Available from URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>.
78. PARLIAMENT OF THE COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, Inquiry into the management of PFAS contamination in and around Defence bases, November 2018. Available from URL: https://parlinfo.aph.gov.au/parlInfo/download/committees/reportjnt/024207/toc_pdf/InquiryintothemangementofPFAScontaminationinandaroundDefencebases.pdf;fileType=application%2Fpdf.
79. Brennan NM, Evans AT, Fritz MK, Peak SA, von Holst HE. Trends in the Regulation of Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): A Scoping Review. International journal of environmental research and public health 2021;18(20): 10900.
80. EPA Continues to Take Action on PFAS to Protect the Public Actions include proposing first-ever reporting requirements under TSCA for a wide range of PFAS chemicals, June 10, 2021 Available from URL: <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-continues-take-action-pfas-protect-public>.
81. EPA, Drinking Water Health Advisories for PFOA and PFOS. Available from URL: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos>.
82. Martin J. Update on New Hampshire PFAS Drinking Water Standards (MCLs). Available from URL: <https://www4.des.state.nh.us/nh-pfas-investigation/?p=1185>.
83. State California, Senate Bill No. 1044, Firefighting equipment and foam: PFAS chemicals.(2019-2020). Available from URL: https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201920200SB1044.
84. Cousins IT, DeWitt JC, Glüge J, et al. Strategies for grouping per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) to protect human and environmental health. Environmental Science: Processes & Impacts 2020;22(7): 1444-60.

9. Přílohy

9.1. Látky reportované do TRI v nenulovém množství Látky reportované v TRI za r. 2020 s nenulovým množstvím úniků, seřazeno podle celkových úniků, hmotnosti v Kg

| Látka | CAS | Odpady a jiné úniky na místě celkem | Odpady a jiné úniky celkem externí | Celkové odpady a úniky |
|--|----------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Perfluorononanoic acid | 375951 | 0 | 21389,6 | 21389,6 |
| Methyl perfluorooctanoate | 376272 | 1751,5 | 142,7 | 1894,1 |
| Poly(difluoromethylene), α -[2-[(2-carboxyethyl)thio]ethyl]- ω -fluoro-, lithium salt | 65530690 | 0 | 816,5 | 816,5 |
| Perfluorooctyl Ethylene | 21652584 | 353,8 | 37,3 | 391,1 |
| Decane, 1,1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8-heptafluoro-10-iodo- | 2043530 | 218,7 | 164,2 | 382,9 |
| 2-Propenoic acid, esters, 2-methyl-, dodecyl ester, polymer with α -fluoro- ω -[2-[(2-methyl-1-oxo-2-propen-1-yl)oxy]ethyl]poly(difluoromethylene) | 65605585 | 282,9 | 0 | 282,9 |
| 1-Propanesulfonic acid, 2-methyl-, 2-[[1-oxo-3-[(γ - ω -perfluoro-C4-16-alkyl)thio]propyl]amino] derivs., sodium salts | 68187473 | 3,8 | 121,1 | 124,9 |
| Poly(difluoromethylene), α, α' -[phosphinobis(oxy-2,1-ethanediyl)]bis[ω -fluoro-, ammonium salt | 65530703 | 0 | 72,6 | 72,6 |
| Thiols, C8-20, γ - ω -perfluoro, telomers with acrylamide | 70969470 | 0 | 72,6 | 72,6 |
| Potassium perfluorooctanesulfonate | 2795393 | 3,3 | 52,3 | 55,6 |
| Poly(difluoromethylene), α -fluoro- ω -[2-(phosphonoxy)ethyl]-, diammonium salt | 65530725 | 0,2 | 24,5 | 24,7 |
| Sulfluramid | 4151502 | 4,7 | 0 | 4,7 |
| Phosphoric acid, γ - ω -perfluoro-C8-16-alkyl esters, compds. with diethanolamine | 74499448 | 4,5 | 0 | 4,5 |
| 1-Octanesulfonamide, N-butyl-1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-heptafluoro-N-(2-hydroxyethyl)- | 2263094 | 4,5 | 0 | 4,5 |
| 1-Propanaminium, N,N,N-trimethyl-3-[[tridecafluorohexyl)sulfonyl]amino]-, iodide | 68957584 | 4,5 | 0 | 4,5 |
| Ethanol, 2,2'-iminobis-, compd. with α -fluoro- ω -[2- | 65530634 | 2,7 | 0 | 2,7 |

| | | | | |
|---|-----------|-------------|-----|-------------|
| (phosphonoxy)ethyl]poly(difluoromethylene) (2:1) | | | | |
| 2-Propenoic acid, butyl ester, telomer with 2-[[[(heptadecafluorooctyl)sulfonyl]methylamino]ethyl 2-propenoate, 2-[methyl[(nonafluorobutyl)sulfonyl]amino]ethyl 2-propenoate, α -(2-methyl-1-oxo-2-propenyl)- ω -hydroxypoly(oxy-1,4-butanediyl), α -(2-methyl-1-oxo-2-propenyl)- ω -[(2-methyl-1-oxo-2-propenyl)oxy]poly(oxy-1,4-butanediyl), 2-[methyl[(pentadecafluoroheptyl)sulfonyl]amino]ethyl 2-propenoate, 2-[methyl[(tridecafluorohexyl)sulfonyl]amino]ethyl 2-propenoate, 2-[methyl[(undecafluoropentyl)sulfonyl]amino]ethyl 2-propenoate and 1-octanethiol | 68227963 | 2,7 | 0 | 2,7 |
| Perfluorohexanesulfonic acid | 355464 | 0,5 | 0 | 0,5 |
| Phosphonic acid, perfluoro-C6-12-alkyl derivs. | 68412680 | 0,3 | 0 | 0,3 |
| 3-[[[(Heptadecafluorooctyl)sulfonyl]amino]-N,N,N-trimethyl-1-propanaminium iodide | 1652637 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| 2-[[[(Heptadecafluorooctyl)sulfonyl]methylamino]ethyl acrylate | 25268773 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| 2-Propenoic acid, 2-methyl-, octadecyl ester, polymer with 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,11,11,12,12,12-heneicosafuorododecyl 2-propenoate, 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,10-heptadecafluorodecyl 2-propenoate and 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,11,11,12,12,13,13,14,14,14-pentacosafuorotetradecyl 2-propenoate | 142636882 | 0,05 | 0 | 0,05 |
| 1-Decanol, 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,10-heptadecafluoro- | 678397 | 0,05 | 0 | 0,05 |
| 1-Propanaminium, 2-hydroxy-N,N,N-trimethyl-, 3-[(γ - ω -perfluoro-C6-20-alkyl)thio] derivs., chlorides | 70983607 | 0,05 | 0 | 0,05 |
| Sulfonic acids, C6-12-alkane, γ - ω -perfluoro, ammonium salts | 180582790 | 0,005 | 0 | 0,005 |
| Thiols, C6-12, γ - ω -perfluoro | 68140205 | 0,004 | - | 0,004 |
| Poly(oxy-1,2-ethanediyl), α -hydro- ω -hydroxy-, ether with α -fluoro- ω -(2-hydroxyethyl)poly(difluoromethylene) (1:1) | 65545804 | 7,62035E-05 | - | 7,62035E-05 |

9.2. Celková množství úniků PFAS reportovaná v TRI za r. 2020, v kg.

| Odvětví s kódem EPA | Odpady a jiné úniky na místě celkem | Odpady a jiné úniky celkem externí | Celkové odpady a úniky |
|--|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| NAICS 311 - Food | 0,0 | 21389,6 | 21389,6 |
| NAICS 325 - Chemicals | 2121,3 | 1126,0 | 3247,3 |
| NAICS 562 - Hazardous Waste (added 1998) | 508,6 | 130,4 | 639,0 |
| NAICS 324 - Petroleum | 0,0 | 145,1 | 145,1 |
| NAICS 327 - Nonmetallic Mineral Product | 8,9 | 102,3 | 111,2 |
| NAICS 334 - Computers/Electronics Products | 0,0 | - | 0,0 |
| Total | 2638,9 | 22893,4 | 25532,3 |

9.3. Cena analýzy

Na základě konzultace s pracovištěm Centrální laboratoře RECETOX (MU v Brně) cena za analýzu jednoho vzorku vod na přítomnost 20 základních zástupců PFAS okolo 2 000 Kč. V případě pevných vzorků je třeba připočítat cenu za přípravu vzorku, která je velice závislá na typu zpracovávané matrice. Kapacita laboratoře vybavené jedním LC-MS/MS zařízením v pořizovací ceně cca 10 až 15 mil Kč je okolo 30 vzorků vod za den. Analýza má rutinní charakter a nevyžaduje vědeckého specialistu.