

Současný stav sledování vybraných PFAS v povrchových vodách v České republice

DIANA MAREŠOVÁ, VĚRA OČENÁŠKOVÁ, TOMÁŠ MIČANÍK, DANICA POSPÍCHALOVÁ, EVA JURANOVÁ, EVA BOHADLOVÁ, DAVID CHRASTINA

Klíčová slova: povrchová voda – PFAS – cílená analýza – necílená analýza – HPLC-MS – Česká republika

SOUHRN

Per- a polyfluorované látky (PFAS), skupina fluorovaných sloučenin antropogenního původu, byly vzhledem ke svým chemickým vlastnostem, širokému užití v řadě průmyslových odvětví, rozšíření v životním prostředí, dlouhodobému bioakumulačnímu potenciálu a z toho vyplývajícím rizikům pro lidské zdraví klasifikovány jako perzistentní organické látky vyvolávající značné obavy. Článek přináší přehled současných znalostí o výskytu PFAS v životním prostředí, především v povrchových, podzemních a pitných vodách, i o metodách jejich odstraňování z kontaminované vody. Dále jsou zde shrnuty legislativní požadavky týkající se PFAS na úrovni Evropské unie (EU) i České republiky (ČR) včetně seznamů látek podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 a návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES. Dále je v příspěvku uveden přehled analytických postupů pro stanovení PFAS včetně trifluoroctové kyseliny (TFA) a stanovení celkového organického fluoru. Metody jsou obecně založeny na kapalinové chromatografii ve spojení s hmotnostní detekcí. Liší se především způsobem předúpravy vzorku. Hlavní pozornost je věnována shrnutí dostupných dat o sledování látek ze skupiny PFAS v povrchových vodách na celém území ČR. Do roku 2022 byly v povrchových vodách v ČR soustavně sledovány pouze perfluoroktansulfonát (PFOS) a – kromě povodí Odry a Ohře – i perfluoroktanová kyselina (PFOA). Vzhledem k rozdílným použitým mezím stanovitelnosti v jednotlivých povodích v předchozích letech neumožňuje charakter dat objektivní zhodnocení stavu PFOS a PFOA v celé ČR. S rozšiřováním analytických možností jsou postupně zaváděny analytické metody umožňující vyšší citlivost a zejména širší rozsah sledovaných látek. Od roku 2023 je v jednotlivých povodích zaváděno i sledování látek ze skupiny PFAS v širším rozsahu včetně pilotního monitorování, které je představeno v příspěvku.

ÚVOD

Historie per- a polyfluorovaných látek (PFAS), tzv. „věčných“ chemikálií, začala v roce 1938, kdy chemik Roy J. Plunkett, zaměstnanec firmy DuPont, při výrobě freonu náhodou objevil polytetrafluoroethylen (PTFE). Tento nový fluorovaný plast byl v roce 1941 společností Kinetic Chemicals patentován (U.S. Patent 2230654a) [1] a v roce 1945 byla zaregistrována ochranná známka Teflon [2]. Do skupiny PFAS patří více než 7 000 000 sloučenin. Aby byla sjednocena a harmonizována komunikace o PFAS mezi vědeckými, regulačními a průmyslovými komunitami, byly doporučeny názvy, akronymy, strukturní vzorce a registrační čísla CAS [3]. OECD podle čísla CAS identifikovala více než 4 700 sloučenin [4]. PTFE však není zcela typickou sloučeninou. Mezi PFAS patří PFOS (perfluoroktansulfonát) a PFOA (perfluoroktanová kyselina), jež byly poprvé detekovány v padesátých letech právě při výrobě teflonu.

Aktuální stav poznání

PFAS se do popředí zájmu dostávají v posledních 10 až 15 letech. Díky svému lyofobnímu a hydrofobnímu charakteru našly široké použití v řadě odvětví, např. v textilním a kožedělném průmyslu, hasicích pěnách, prostředcích na ochranu povrchů, v domácích potřebách, obalech v potravinářství, fotoprůmyslu, hydraulických kapalinách v letectví, při galvanizaci, jako povrchově aktivní látky v pesticidech a dalších produktech zemědělské chemie atd. [5]. V devadesátých letech byly tyto látky díky vývoji analytických metod pro jejich stanovení a s rozvojem instrumentace (nástup kapalinové chromatografie ve spojení s hmotnostní spektrometrií) v nízkých koncentracích identifikovány ve všech složkách životního prostředí (voda, půda, vzduch, rostliny, živé organismy) [3, 6].

Vzhledem k významnému rozvoji výroby PFAS dochází také od roku 2000 k nárůstu publikací věnujících se této skupině látek, jejich zdrojům a osudu v životním prostředí a jejich škodlivosti. V roce 2020 bylo vydáno téměř 1 000 publikací zabývajících se danou problematikou [6].

Toxicitě PFAS pro člověka a jejich dopadu na ekosystém je v současnosti věnována mimořádná pozornost. Stále více látek z této skupiny je pravidelně monitorováno a snižují se jejich koncentrace, které jsou ještě považovány za bezpečné. Je potřeba lépe porozumět osudu a dopadům těchto perzistentních chemikálií na životní prostředí, neboť lze předpokládat, že zátěž povrchových a podzemních vod těmito látkami je podceněna [7]. Zpracování řady dosavadních informací o aplikacích, uvolňování do životního prostředí a sanačních technologiích per- a polyfluoralkylových látek je věnována publikace [8].

V souvislosti s regulací a omezováním využití PFAS je třeba věnovat pozornost rovněž alternativním látkám, monohydrogen substituovaným perfluoroalkylkarboxylovým kyselinám (H-PFAS), jež se také objevují v povrchových vodách. V Nizozemsku byla vyvinuta, validována a aplikována UHPLC-MS/MS metoda pro stanovení těchto kontaminantů ve vzorcích povrchových vod [9].

O náhražce PFOA s názvem GenX je dosud velmi málo informací. Tato alternativní látka i přes menší biokumulativní schopnost může znamenat riziko i pro životní prostředí a zdraví člověka [10].

Vzhledem ke globálnímu rozšíření těchto chemikálií byly realizovány studie zabývající se sledováním jejich přítomnosti v rozvojových zemích ve vzorcích vody a dalších vzorcích z abiotického prostředí a bioty. Látky PFAS byly identifikovány v 72 % vzorků [11, 12].

PFAS jednoznačně představují celosvětový problém. Byly testovány hlavní čtyři vybraných perfluorovaných kyselin (PFAA) – kyseliny perfluoroktansulfonové (PFOS), kyseliny perfluoroktanové (PFOA), kyseliny perfluorhexansulfonové (PFHxS) a kyseliny perfluorononanové (PFNA) v různých globálních environmentálních médiích (tj. dešťová voda, půdy a povrchové vody). Mimo jiné bylo prokázáno, že úroveň PFOS v dešťové vodě v některých oblastech

ve vnitrozemí Evropské unie jsou často nad normou environmentální kvality pro povrchové vody. Je velmi důležité, aby využití těchto látek bylo co nejrychleji omezeno [13, 14].

Současné snahy Evropské komise o zahájení projednávání největšího návrhu na omezení PFAS v historii odrážejí špatnou globální situaci hromadění PFAS v životním prostředí a jejich zdravotní dopady. Komplexní analýza však stále chybí. Podařilo se zvýšit zájem o danou problematiku, přičemž zaměření výzkumu se postupně přesouvá k ekologickým otázkám. Zapojení rozvojových zemí je však malé, přestože expozice PFAS je v těchto oblastech enormně vysoká. Je proto potřeba hledat celosvětově propojené a multidisciplinární přístupy k řešení problematiky spojené s PFAS [15]. Kritický přehled globálního výskytu a distribuce těchto perzistentních chemikálií ve vodách včetně odpadních poskytl i další studie [16, 17].

Ve Švédsku byly PFAS nalezeny v surové i pitné vodě i ve vodách podzemních [18, 19].

V ČR byly testovány PFAS v kohoutkové pitné vodě. Ve 192 vzorcích pitné vody z celé republiky bylo analyzováno 28 PFAS pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie s tandemovou hmotnostní spektrometrií po extrakci na pevnou fázi. Bylo zjištěno, že výskyt PFAS v pitné vodě v ČR je ve srovnání s jinými evropskými studiemi velmi nízký. Potenciální zdravotní riziko by mohlo vykazovat přibližně 1 % analyzovaných vzorků [20, 21]. V sedmi lokalitách na řekách Svitava a Svratka v aglomeraci Brno byl monitorován výskyt perfluorovaných látek ve vodě a rybí krevní plazmě. Koncentrace PFHxS, FHUEA, FOSA a N-methyl FOSA byly pod detekčními limity. Hlavní složkou v rybí krvi byl PFOS, následovaný PFNA a PFOA. Ve vodě byla hlavní detekovanou sloučeninou PFOA, následovaná PFOS a PFNA. Byla zjištěna významná korelace pro koncentraci PFOA v krevní plazmě a vodě ($r = 0,74$) [22]. Výskyt PFAS spolu s bromovanými zpmalovači hoření v Praze a okolí monitorovala také Arnika. Vysoké koncentrace byly naměřeny v Kopaninském potoce. Hodnoty byly významně vyšší než běžné hodnoty v povrchových vodách v Evropě. Zdrojem znečištění může být v tomto případě Letiště Václava Havla [23].

Již v roce 2010 byla sledována kontaminace řeky Rýn. Bylo odebráno 75 vzorků vody podél celého toku řeky Rýn od Bodamského jezera po Severní moře včetně několika hlavních přítoků, jako jsou řeky Neckar, Mohan a Ruhr, a vod z delty Rýna-Meuse, konkrétně z řek Meuse a Scheldt. Cílem bylo zjistit možné zdroje kontaminace [24].

PFAS byly monitorovány také v povodí řeky Dunaj. V celkem 95 vzorcích bylo identifikováno 82 PFAS a 72 dalších podezřelých sloučenin. Řada nalezených látek není v současnosti regulována [25].

Díky prohlubujícím se informacím o toxicitě a expozici populace vznikaly obavy z dopadu na zdraví obyvatelstva. Bylo zpracováno několik studií zabývajících se vztahem mezi koncentrací látek ze skupiny PFAS v krevním séru a v pitné vodě [26, 27]. Látky ze skupiny PFAS byly nalezeny i v mateřském mléce a kojené výživě [28].

Do novelizovaných směrnic Evropské komise je zařazena i kyselina trifluoroctová (TFA), která patří do podskupiny PFAS označovaných jako perfluoroalkylové kyseliny s ultrakrátkým řetězcem (PFAA). Jde o velmi perzistentní sloučeninu, jejíž koncentrace se ve složkách životního prostředí (půda, voda, vzduch, rostliny, rostlinné potraviny, lidské sérum) významně zvyšuje. TFA je transformačním produktem mnoha PFAS, navíc se do prostředí uvolňuje z průmyslové výroby TFA. Studie věnující se výskytu TFA v životním prostředí včetně povrchové vody prokazují, že za posledních 20 let koncentrace této látky ve všech environmentálních složkách několikanásobně stoupla a je v současné době v násobcích vyšší než u ostatních per- a polyfluorovaných látek. Údajů o toxicitě i ekotoxicitě TFA je málo, ale přesto je zřejmé, že existuje potenciální globální hrozba nevratné akumulace TFA [29, 30].

Odstraňování PFAS z odpadních vod

Jedním z významných úkolů je hledání vhodného sorbentu pro odstraňování PFAS z kontaminované vody. Jako nákladově efektivní a ekologický adsorbent pro eliminaci PFAS se jeví biochar [31]. Další možné postupy pro odstraňování nejen perfluorovaných látek jsou ozonizace, granulované aktivní uhlí a membránové procesy s reverzní osmózou. PFAS však nebyly ozonizací odstraněny, účinně byly tyto chemikálie eliminovány při použití fyzikálních metod, jako jsou adsorpce na aktivním uhlí a procesy založené na reverzní membránové osmóze [32]. Účinnými adsorbenty pro odstraňování PFAS z vody se jeví také několik magnetických materiálů, včetně oxidů železa, feritů a magnetických uhlíkových kompozitů. Tyto látky prokázaly značný potenciál pro použití v různých aplikacích sanace životního prostředí, stejně jako při úpravě vody kontaminované PFAS [33]. Technologie s využitím membrány se smíšenou maticí (mixed matrix membrane) odstraňují PFAS z odpadních vod z více než 99 % [34]. Přehledný souhrn výskytu, přeměny a odstraňování poly- a perfluoroalkylových látek v čistírnách odpadních vod (ČOV) zpracovali Lenka a kol. [35]. Upozorňují také na skutečnost, že zejména pro rozvojové země jsou informace o PFAS málo dostupné. Komplexnímu přehledu zdrojů PFAS a jejich sanaci je věnována další studie [36].

Jiná studie se zaměřila na osud a transport PFAS a anorganického fluoridu v komunální ČOV provozující spalovnu čistírenských kalů (Sewage Sludge Incinerator – SSI). Robustní statistická analýza charakterizovala koncentrace a hmotnostní toky na všech primárních přítocích/odtocích ČOV a SSI, včetně emisí pocházejících z tepelného zpracování ve vzduchu. Účinnost odstranění PFAS 51 % naznačuje, že SSI může PFAS eliminovat pouze částečně [37]. Přehled současného stavu výzkumu v oblasti technologií čištění vhodných k odstraňování PFAS z životního prostředí, zejména z vody, poskytuje publikace *Per- and Polyfluoroalkyl Substances Treatment Technologies* [38].

Legislativní požadavky týkající se PFAS na úrovni EU i ČR

Legislativní nástroje jsou hlavním opatřením pro omezení perfluorovaných organických sloučenin v životním prostředí. Jedním z prvních bylo zařazení vybraných perfluorovaných organických látek na seznam perzistentních organických látek (POPs) Stockholmskou úmluvou [39]. Podle čl. 3 úmluvy mají státy a organizace (signatáři úmluvy) zakázat a/nebo přijmout právní a správní opatření nezbytná k odstranění výroby a používání chemických látek uvedených v příloze A, dovozu a vývozu chemických látek uvedených v příloze A a omezení výroby a používání chemických látek uvedených v příloze B úmluvy. Na seznamu přílohy A (Eliminace) Stockholmské úmluvy jsou kyselina perfluorhexansulfonová (PFHxS), její soli a jí příbuzné sloučeniny, jež mohou na PFHxS potenciálně degradovat, a kyselina perfluoroktanová (PFOA), její soli a jí příbuzné sloučeniny, které mohou na PFOA potenciálně degradovat. V případě PFOA existují u některých výrob nebo použití specifické výjimky, jež se týkají fotografického průmyslu, některých aplikací v lékařství, v textilním průmyslu (výroba pracovních oděvů do prostředí, kde hrozí nepříznivé účinky na lidské zdraví), do hasicích pěn pro potlačení výparů kapalných paliv a hašení požárů kapalných paliv (požáry třídy B). Nejpозději do roku 2025 se však musí omezit používání hasicích pěn, které obsahují nebo mohou obsahovat PFOA, její soli a sloučeniny související s PFOA, na místa, kde lze veškeré úniky zachytit. Na seznamu přílohy B (Omezení) Stockholmské úmluvy je uvedena perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS), její soli a perfluoroktansulfonylfluorid. Použití je možné v technologických procesech pokovování v uzavřených systémech, v hasicích pěnách pro potlačení výparů kapalných paliv a hašení požárů kapalných paliv (požáry třídy B) a v návnadách na hmyz s účinnou látkou sulfluramid (CAS č. 4151-50-2) pro hubení mravenců rodu *Atta spp.* a *Acromyrmex spp.*, a to pouze pro zemědělské účely.

Dalším opatřením je nařízení Evropského parlamentu a Rady 2019/1021 [40], jež stanovuje omezující podmínky pro použití nebo uvádění výrobků s obsahem perfluorovaných látek na trh Evropské unie. Podle čl. 3 tohoto nařízení se výroba, uvádění na trh a používání látek uvedených v příloze I nařízení, a to jak samotných, tak ve formě směsí nebo předmětů, zakazují. V případě PFOS, jejich solí a příbuzných látek, které se na PFAS rozkládají, mohou být tyto látky přítomny ve směsích nebo předmětech jen jako nezáměrná stopová kontaminující látka (čl. 4, odst. 1., písm. b), a to v množstvích, která jsou specifikována v příloze I nařízení. Tato příloha byla pro PFOS několikrát novelizována za účelem zpřísnění nezáměrné kontaminace. Použití PFOS v technologii tvrdého pochromování (Cr^{6+}) v uzavřených systémech bylo možné do 7. září 2025. Členský stát mohl do 7. září 2024 požádat o výjimku na výše uvedený účel, ta mohla být dána na dobu maximálně 5 let. Formou výjimky dle nařízení 2019/1021 mohla být povolena výroba, uvedení na trh a použití PFOA, jejich solí a sloučenin příbuzných PFOA pro tyto účely:

- A. fotolitografická výroba a procesy leptání při výrobě polovodičů, do 4. července 2025;
- B. fotografické povlaky nanášené na filmy, do 4. července 2025;
- C. textil odolný vůči oleji a vodě pro ochranu pracovníků před nebezpečnými kapalinami představujícími riziko pro jejich zdraví a bezpečnost, do 4. července 2023;
- D. invazivní a implantabilní zdravotnické prostředky, do 4. července 2025;
- E. výroba polytetrafluorethylenu (PTFE) a polyvinylidenfluoridu (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,
 - průmyslových těsnících materiálů schopných zabránit úniku tekavých organických sloučenin a částic $\text{PM}_{2,5}$ (particulate matter 2,5 – polétavý prach) do 4. července 2023;
- F. v hasicí pěně pro potlačení par uvolňovaných z kapalných paliv a hašení požárů kapalných paliv (požáry třídy B), do 3. prosince 2025.

V oběhu (použití) je však množství výrobků s obsahem PFAS, které byly na trh uvedeny před platností výše uvedené směrnice.

Pod restrikcí REACH [41] jsou rovněž deriváty výše uvedených látek. Jde např. o amonium perfluorhexansulfonát nebo tridekafluorhexansulfonovou kyselinu ve směsi s 2,2'-iminodiethanolem v poměru 1 : 1. Mezi látky vzbuzující mimořádné obavy náleží perfluorbutansulfonová kyselina (PFBS) [42]. V roce 2024 nařízením Komise (EU) 2024/2462 [43] byly stanoveny nové omezující podmínky týkající se kyseliny perfluorhexanové (PFHxA), jejich solí a příbuzných látek, jež se na PFHxA mohou rozkládat. Od 10. dubna 2026 je nelze uvádět na trh ani používat v koncentraci rovné nebo vyšší než 25 ppb pro sumu PFHxA a jejich solí nebo 1 000 ppb pro sumu látek příbuzných PFHxA v hasicích pěnách a pěnových hasicích koncentrátech pro veřejné hasičské sbory – s výjimkou případů, kdy tyto sbory zasahují při průmyslových požárech v závodech, na něž se vztahuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU [44], a od 10. října 2029 v hasicích pěnách a pěnových hasicích koncentrátech pro civilní letectví. Ve výše uvedených koncentracích se od 10. října 2026 nesmí dále uvádět na trh a používat PFHxA v textiliích, usních, kožešinách a kůžích, v oděvech a souvisejících doplňcích pro širokou veřejnost, v obuvi pro širokou veřejnost, v papíru a lepence používaných jako materiály určené pro styk s potravinami v oblasti působnosti nařízení (ES) č. 1935/2004 [45], ve směsích pro širokou veřejnost a kosmetických přípravcích ve smyslu čl. 2, odst. 1, písm. a) nařízení (ES) č. 1223/2009 [46].

V oblasti ochrany lidského zdraví byla na úrovni EU schválena směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 [47], která v Příloze I Části B stanovuje mezní hodnoty pro perfluorované sloučeniny ve vodě určené k lidské spotřebě. Mezní hodnoty jsou stanoveny pro sumu 20 vybraných perfluorovaných sloučenin (činí 0,1 $\mu\text{g/l}$) nebo pro celkové PFAS, jež zahrnují sumu všech per- a polyfluorovaných alkylových sloučenin (činí 0,5 $\mu\text{g/l}$). Členské státy mají povinnost přijmout nezbytná opatření k dodržení výše uvedených limitů do 12. ledna 2026. Tyto látky se monitorují tehdy, pokud se při posouzení a řízení rizik částí povodí souvisejících s místy odběru provedeného v souladu s článkem 8 směrnice dospěje k závěru, že je pravděpodobný výskyt těchto látek v daném zdroji vody.

K červnu 2024 byla Evropskou komisí připravena novela několika směrnic týkající se vodní politiky EU [48]. Novelou směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES je navržen nový seznam prioritních látek pro vodní prostředí a k nim příslušné normy environmentální kvality (NEK). Pod číslem 65 byla uvedena skupina per- a polyfluoroalkylových sloučenin (PFAS), která zahrnuje 24 chemických perfluorovaných látek. Pro tuto sumu PFAS je stanovena norma environmentální kvality – roční průměr (NEK-RP) 0,0044 $\mu\text{g/l}$ (4,4 ng/l) pro matrici povrchová voda a 0,077 $\mu\text{g/kg}$ mokré váhy pro biotu. Na rozdíl od směrnice 2020/2184 je pro každou látku PFAS v novele směrnice 2008/105/ES určen přepočtový faktor vztahovaný ke kyselině perfluoroktanové (PFOS = 1), vůči které se poměruje toxické riziko každé další látky PFAS. Analyticky zjištěná koncentrace každé z látek PFAS má být následně násobena příslušným faktorem a výsledná suma je porovnána s normou environmentální kvality. Je třeba zmínit, že seznamy látek PFAS ve směrnicích 2020/2184 a 2008/105/ES se vzájemně nekryjí, shodných je 16 látek PFAS (tab. 1).

Návrh novelizovaných směrnic připravený Evropskou komisí byl na podzim 2024 předmětem jednání v Evropském parlamentu. Od ledna 2025 do začátku podzimu během polského a dánského předsednictví probíhal mezi členskými státy a Radou Evropské unie tzv. dialog, jehož cílem bylo najít konsenzus mezi legislativními návrhy novelizovaných směrnic v oblasti ochrany vod včetně směrnice 2008/105/ES. V době přípravy tohoto článku nebyl proces dialogu ještě ukončen, ale blíží se jeho završení. V posledních fázích dialogu byla do sumy látek PFAS zahrnuta rovněž kyselina trifluoroctová (TFA). Bylo zjištěno, že i tato perfluorovaná organická sloučenina s nejkratším uhlovodíkovým řetězcem vykazuje perzistenci v životním prostředí [49]. Zastoupení TFA v povrchové vodě je v širokém rozmezí hodnot od jednotek po stovky ng/l [50].

Normy environmentální kvality jsou navrženy rovněž v novele směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/118/ES o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu. S ohledem na nejnovější vědecké poznatky se do přílohy I této směrnice doplňuje norma kvality pro součet čtyř nejproblematictějších PFAS (PFHxS, PFOS, PFOA, PFNA) a TFA v souladu s hodnotou navrženou Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA). Aby se zohlednil rozdíl v toxicitě čtyř PFAS a TFA, při výpočtu součtu pěti látek se používají relativní faktory účinnosti těchto látek. Norma environmentální kvality je rovněž 0,0044 $\mu\text{g/l}$ (4,4 ng/l), tedy shodně jako pro povrchovou vodu. Ve směrnici se píše, že s ohledem na nejnovější vědecké poznatky je důležité, aby parametry pro látky PFAS včetně TFA uvedené ve směrnici 2020/2184/ES byly brzy přezkoumány a případně revidovány a aby v takovém případě byly sladěny také normy environmentální kvality uvedené v příloze I směrnice 2006/118/ES. Legislativní schválení novelizovaných směrnic je pravděpodobné do konce roku 2025.

Na půdě EU probíhá zároveň intenzivní diskuze, jak případně sladit normy environmentální kvality pro látky PFAS pro povrchovou vodu, podzemní vodu a vodu určenou k lidské spotřebě, což bude důležité pro další vývoj legislativních nástrojů. Současně je diskutována skutečnost, že normy environmentální kvality zahrnují jen vybrané látky PFAS, ačkoli jich je ve vodním prostředí zastoupeno daleko více (až několik tisíc). Z těchto důvodů Evropská komise připravuje stanovení norem environmentální kvality pro celkové množství PFAS v povrchových vodách. Má se tak stát při příštím přezkumu směrnice 2008/105/ES. Součástí dokumentace k přezkumu směrnice je pro celkové PFAS [51]

dohromady šest návrhů řešení. Největší shoda v současnosti panuje na návrhu, který uvádí pro povrchovou vodu NEK-RP 0,05 µg/l celkového organického fluoru. Joint Research Centre (Itálie) navrhuje měřit celkový organický fluor

neboli „celkový PFAS“ pouze v případě, že jsou splněny (nepřekročeny) příslušné normy kvality sumy 24 PFAS (pro povrchové vody i pro biotu).

Tab. 1. Porovnání seznamů látek PFAS podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 a návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES
Tab. 1. Comparison of lists of PFAS substances according to Directive 2020/2184 of the European Parliament and of the Council and the draft amendment of Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council

PFAS podle směrnice 2020/2184	PFAS podle návrhu novely směrnice 2008/105/ES Stav k 10/2025)	CAS	RPF
	Kyselina trifluoroctová (TFA)	76-05-1	0,002
	2,2,3-trifluoro-3-(1,1,2,2,3,3-hexafluoro-3-(trifluoromethoxy)propoxy)propanová kyselina (ADONA)	919005-14-4	0,03
	2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propionová kyselina (HFPO-DA)	13252-13-6	0,06
Perfluorobutanová kyselina (PFBA)	Perfluorobutanová kyselina (PFBA)	375-22-4	0,05
Pentafluoropentanová kyselina (PFPeA)	Pentafluoropentanová kyselina (PFPeA)	2706-90-3	0,03
Perfluorohexanová kyselina (PFHxA)	Perfluorohexanová kyselina (PFHxA)	307-24-4	0,01
	2-(Perfluorohexyl)ethylalkohol (6:2 FTOH)	647-42-7	0,02
Perfluoroheptanová kyselina (PFHpA)	Perfluoroheptanová kyselina (PFHpA)	375-85-9	0,505
Perfluoroktanová kyselina (PFOA)	Perfluoroktanová kyselina (PFOA)	335-67-1	1
	2-(Perfluoroktyl)ethanol (8:2 FTOH)	678-39-7	0,04
Perfluorononanová kyselina (PFNA)	Perfluorononanová kyselina (PFNA)	375-95-1	10
Perfluorodekanová kyselina (PFDA)	Perfluorodekanová kyselina (PFDA)	335-76-2	7
Perfluoroundekanová kyselina (PFUnDA)	Perfluoroundekanová kyselina (PFUnDA)	2058-94-8	4
Perfluorododekanová kyselina (PFDoDA)	Perfluorododekanová kyselina (PFDoDA)	307-55-1	3
Perfluorotridekanová kyselina (PFTTrDA)	Perfluorotridekanová kyselina (PFTTrDA)	72629-94-8	1,65
	Perfluorotetradekanová kyselina (PFTeDA)	376-06-7	0,3
	Perfluorohexadekanová kyselina (PFHxDA)	67905-19-5	0,02
	Perfluoroktadekanová kyselina (PFODA)	16517-11-6	0,02
	2,2-difluoro-2-((2,2,4,5-tetrafluoro-5-(trifluoromethoxy)-1,3-dioxolan-4-yl)oxy)octová kyselina (C6O4)	1190931-41-9	0,06
Perfluorobutansulfonová kyselina (PFBS)	Perfluorobutansulfonová kyselina (PFBS)	375-73-5	0,001
Perfluoropentansulfonová kyselina (PFPeS)	Perfluoropentansulfonová kyselina (PFPeS)	2706-91-4	0,3005
Perfluorohexansulfonová kyselina (PFHxS)	Perfluorohexansulfonová kyselina (PFHxS)	355-46-4	0,6
Perfluoroheptansulfonová kyselina (PFHpS)	Perfluoroheptansulfonová kyselina (PFHpS)	375-92-8	1,3
Perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS)	Perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS)	1763-23-1	2
Perfluoronansulfonová kyselina (PFNS)			
Perfluorodekansulfonová kyselina (PFDS)	Perfluorodekansulfonová kyselina (PFDS)	335-77-3	2
Perfluoroundekansulfonová kyselina (PFUnS)			
Perfluorododekansulfonová kyselina (PFDoS)			
Perfluorotridekansulfonová kyselina (PFTTrS)			

RPF = Relative Potency Factor = Faktor relativní účinnosti toxického účinku dané sloučeniny vztažený k toxickému účinku PFOA

Faktor relativní účinnosti (RPF) se používá při hodnocení rizik směsí perfluoralkylovaných a polyfluoralkylovaných látek k vyjádření jejich potenciální škodlivosti v porovnání se specifickou indexovou sloučeninou, typicky PFOA, pro konkrétní sledovaný ukazatel vlivu na zdraví. Přiřazením RPF 1 indexové sloučenině lze srovnatelné množství expozice jakékoli PFAS ve směsi vypočítat jako „ekvivalenty PFOA“. To umožňuje přesnější posouzení kumulativního zdravotního rizika, které představuje více látek PFAS, jež často kontaminují životní prostředí společně.

Do národní legislativy v oblasti ochrany povrchových vod byly transponovány požadavky směrnice 2008/105/ES ve znění novely 2013/39/EU do nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [52], kdy jsou v současnosti stanoveny normy environmentální kvality pouze pro PFOS, které činí $6,5 \cdot 10^{-4}$ mg/l (NEK-RP) a 36 mg/l jako nejvyšší přípustná koncentrace.

V novelizované vyhlášce č. 428/2001 Sb. [53] je již zakomponována mezní hodnota jakosti surové povrchové vody (určené pro úpravu na vodu pitnou) pro sumu 20 PFAS dle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 (0,1 mg/l) pro všechny tři kategorie úpravy surové vody A1, A2 a A3.

Přehled analytických metod pro stanovení PFAS

Pro monitoring PFAS je vyvíjena řada analytických postupů, které umožňují jejich stanovení v subnanogramových množstvích. Většina metod využívá kapalinovou chromatografii s hmotnostní spektrometrickou detekcí. Liší se zejména způsobem úpravy vzorku – možný je přímý nástřik, on-line a off-line extrakce na pevné fázi (SPE) či disperzní magnetická extrakce na pevné fázi (DMSPE). Metoda aplikovaná při analýze vod na přítoku a odtoku v úpravně pitné vody v Katalánsku je založena na přímém nástřiku 900 μ l vzorku bez nutnosti předúpravy [54]. Podobná metoda, také založená na přímém nástřiku 100 μ l odstředěného vzorku vody bez jakékoli další úpravy vzorku s využitím UHPLC-MS/MS pro analýzu několika perfluoralkylových kyselin (PFAA) v široké škále vodních matric, vykazovala vysokou citlivost (stanovení subnanogramových množství), rychlost, přesnost a nízký matricový efekt [55]. Metoda přímého nástřiku 150 μ l vzorku vody využitím Agilent 1100 HPLC a Waters Quattro Micro tandem hmotnostního spektrometru je popsána ve studii zabývající se vedle analýzy vody také analýzou vzorků půdy [56]. Další analytickou metodou využitelnou pro stanovení těchto kontaminantů je metoda založená na využití SPE následované plynovou chromatografií s negativní chemickou ionizací a hmotnostní detekcí. Metoda je velmi citlivá, výsledky jsou plně srovnatelné s metodami HPLC-MS/MS. Touto metodou byly testovány vzorky povrchové vody z Vltavy a Labe. Ve všech vzorcích byly sledované látky nalezeny [57]. Analytickým metodám pro stanovení PFAS vyvíjeným a používaným v letech 2018 až 2023 je věnována i další souhrnná studie [58]. Pro extrakci PFAS je většinou používána extrakce na pevné fázi a pro vlastní stanovení pak především kapalinová chromatografie ve spojení s hmotnostní spektrometrií [58]. Metoda založená na extrakci na pevné fázi s použitím 100 ml vzorku vody byla užita pro stanovení 22 PFAS v pitné vodě v ČR. Pro vlastní analýzu byla použita vysokoúčinná kapalinová chromatografie ve spojení s hmotnostní detekcí. Touto metodou bylo analyzováno 67 vzorků pitné vody a 31 vzorků vody balené. Příjem PFAS dospělou osobou z kohoutku nebo balené vody dosahoval jednotek % tolerovatelného týdenního příjmu stanoveného Evropským úřadem pro bezpečnost potravin, a proto nepředstavoval závažné riziko [59].

Další přímá injekční metoda pro analýzu PFAS ve vzorcích environmentální vody využívá centrifugaci a membránovou filtraci malých objemů vzorků, které jsou pak analyzovány UHPLC ESI MS/MS metodou zahrnující zpoždovací kolonu pro zmírnění interference způsobené kontaminací PFAS na pozadí. K vlastní analýze je použit hmotnostní spektrometr AB Sciex 6500 plus Q-Trap provozovaný v režimu negativního monitorování více reakcí (MRM). Systém přístroje zahrnuje zpoždovací kolonu mezi pumpami a automatickým vzorkovačem pro zmírnění rušení z PFAS na pozadí. Metoda monitoruje osm PFAS s krátkým/dlouhým řetězcem, jež jsou identifikovány monitorováním specifických prekurzorových

produktových iontových párů a jejich retenčních časů a kvantifikovány pomocí kalibračních grafů na bázi izotopově značeného vnitřního standardu. Metoda je technicky robustní a má dostatečnou citlivost a reprodukovatelnost pro použití jako primární screeningová metoda pro detekci a kvantifikaci PFAS na běžně pozorovaných úrovních v povrchové vodě a pitné vodě. Metoda může přesně detekovat a kvantifikovat běžné druhy PFAS včetně PFOA a PFOS v hladinách pod běžně doporučovanou hladinou screeningu 70 ng/l [60].

Stanovením PFAS dle směrnice 2020/2184/EU nařízenými metodami se zabývá další studie [61]. V této práci byly vyvinuty a vyhodnoceny tři různé metody pro stanovení 20 PFAS ve vodě z kohoutku a balené vodě, založené na on-line a off-line extrakci v pevné fázi (SPE) a přímém nástřiku. Ve všech případech byla jako technika stanovení použita ultravysokotlaká kapalinová chromatografie – tandemová hmotnostní spektrometrie (UHPLC-MS/MS). Off-line SPE s patronami Oasis Weak Anion Exchange (WAX) poskytla nejlepší výsledky z hlediska limitů kvantifikace ($LOQ \leq 0,3$ ng/l) a přesnosti ($R \geq 70$ %) ve vzorcích pitné vody. On-line SPE a přímé vstřikování představovaly některé nevýhody, jako jsou problémy s kontaminací pozadí a nižší přesností pro nejméně polární sloučeniny. Off-line metoda byla použita pro analýzu 46 vzorků pitné vody (11 komerčních lahvových vzorků, 23 španělských a 12 mezinárodních vzorků vodovodní vody) [61].

V Řecku byla vyvinuta, validována a na reálných vzorcích použita metoda vysokoúčinné kapalinové chromatografie (UPLC) spojené s hmotnostní spektrometrií Orbitrap (Orbitrap-MS) využívající rozhraní s ionizací elektrosprejem (ESI) v negativním režimu. Byly analyzovány vzorky jezerní a mořské vody i odpadní vody z komunálních a nemocničních ČOV. Koncentrace v povrchových vodách byly nedetekovatelné nebo významně nižší než v odpadních vodách [62].

Aplikaci disperzní magnetické extrakce na pevné fázi (DMSPE) pro obohacení PFAS v různých vzorcích povrchových vod využívá další vyvíjená metoda zaměřená na zrychlení a zjednodušení celého postupu stanovení. Pro předkoncentraci a extrakci PFAS v různých vzorcích říční vody byl poprvé použit magnetický Fe_3O_4 @ MIL-101 (Cr) jako adsorbent v MSPE. Koncentrace cílových analytů ve vzorcích vody byly stanoveny pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie s diodovým detektorem a ultra-vysokoúčinné kapalinové chromatografie – tandemové hmotnostní spektrometrie [63].

Pro zhodnocení úrovně kontaminace PFAS v kalech pocházejících z vybraných PFAS na 43 ČOV v ČR byla vyvinuta a ověřena analytická screeningová metoda pro 32 zástupců PFAS, včetně nových substitutů (např. GenX, dodekafluor-3H-4 sodný, 8-dioxanonanoát – NaDONA). Pro hodnocení rizik zemědělského využití kalů z ČOV běžně používaných jako hnojivo byla vypočtena expozice člověka PFAS z různých druhů zeleniny pěstovaných v půdě a potenciálně hnojených reálné kontaminovaným kalem v ČR [64].

Ke kvantitativnímu stanovení PFOS byla také vyvinuta metoda využívající vysokoúčinnou kapalinovou chromatografii (HPLC) ve spojení s hmotnostní spektrometrií Orbitrap (Orbitrap-MS) využívající vyhřívané elektrosprejové ionizační (HESI) rozhraní provozované v negativním módu. HPLC separace analytů byla dosažena použitím analytické kolony C18 s reverzní fází (RP-C18). Metoda umožňuje spolehlivé monitorování PFOS a jeho derivátů ve vzorcích životního prostředí podle kritérií normy environmentální kvality s ohledem na maximální přípustné koncentrace a s přihlédnutím k ročním průměrným koncentracím uvedeným ve směrnici 2013/39/EU. Metoda byla aplikována pro rutinní analýzu vybraných PFAS ve vzorcích životního prostředí z oblasti Baltského moře [65].

Pro komplexní charakterizaci PFAS v environmentálních, biologických a technických vzorcích kvůli velmi omezené dostupnosti autentických referenčních standardů PFAS je nezbytný také necílový screening (NTS) založený na hmotnostní spektrometrii s vysokým rozlišením (HRMS). Vzhledem k tomu, že ve stopové analýze nejsou informace o MS/MS vždy dosažitelné a v homologických sériích jsou přítomny pouze vybrané PFAS, jsou velmi žádoucí další techniky pro upřednostnění naměřených dat HRMS podle jejich pravděpodobnosti, že jde o PFAS. Ve studii navrhovaný postup by mohl být využit i pro monitorování dalších skupin sloučenin [66].

Vzhledem k blížící se povinnosti pravidelně sledovat koncentrace vybraných PFAS jsou rychle vyvíjeny metody, jež umožňují velmi citlivou analýzu pro rutinní stanovení PFAS v různých typech vod (pitných, povrchových i podzemních) [67, 68]. Současně jsou vyvíjeny i metody pro kvantifikaci PFAS s krátkým a ultrakrátkým řetězcem [69].

Jelikož látek ze skupiny PFAS existuje velké množství a je poměrně náročné je ve vzorku identifikovat či stanovit všechny, pro screeningové účely se prosazují i jednodušší metody pro stanovení celkového organického fluoru. Nejčastěji je pro tento účel používána metoda stanovení adsorbovatelného organického fluoru (AOF), která poskytuje nespécifické informace o množství organických sloučenin fluoru. Postup využívající spalovací iontovou chromatografii (CIC) pokrývá širokou škálu fluororganických sloučenin, jež nejsou v současnosti detekovatelné pomocí LC-MS/MS. AOF má význam pro odhad neznámých koncentrací PFAS, screening kontaminace PFAS a posouzení expozice PFAS [70, 71].

Jak bylo uvedeno výše, množství publikací věnujících se problematice PFAS je enormní. Hlavními problémy, s nimiž je nutné se vypořádávat při analýze PFAS, jsou vysoké požadované hodnoty, které vyžadují velmi přísné dodržované postupy již při odběru vzorků a volbu vhodných vzorkovnic i dalších nástrojů užívaných při zpracování vzorků. Vzhledem k velmi nízkým normám environmentální kvality navrhovaným v evropské legislativě jsou metody stanovení PFAS velmi náročné na přístrojovou techniku. Díky jejich obecnému rozšíření mohou být vysoké i požadované hodnoty sledovaných látek v běžném laboratorním vybavení. Rovněž některé součástky analytických přístrojů je třeba vyměnit za PFAS-free ekvivalenty.

Vzorkování

Vzhledem k všudypřítomnosti PFAS je komplikovaný už samotný odběr vzorků, a tím i materiál vzorkovnic, do nichž jsou vzorky odebírány. Z běžně používaných materiálů HDPE, jako jsou polypropylen (PP), polystyren (PS), kopolymer polypropylen (PPCO), polyethylentereftalátu (PET), polytetrafluoretylen (PTFE) a skla, byl zkoumán vliv podmínek skladování a přípravy vzorků, tj. doby skladování, složení rozpouštědla, skladovacích teplot (4 °C a 20 °C) a techniky míchání vzorků (třepání a centrifugace) na ztráty PFAS do materiálů vzorkovnice. Nejvyšší ztráty PFAS s dlouhým řetězcem ve vodném roztoku byly pozorovány u polypropylen. Sorpční ztráty PFAS s dlouhým řetězcem se snížily v roztoku 80 : 20 voda : methanol (% v/v). Sorpční ztráty PFAS s teplotou byly závislé na složení rozpouštědla [72]. Při odběru vzorků pro stanovení těchto sloučenin je třeba dodržovat striktní postupy tak, aby bylo zabráněno jejich sekundární kontaminaci. Vzorkovací vybavení a pomůcky nesmějí obsahovat materiály z PTFE, PVDF, PCTFE, ETFE, FEP (např. obchodní značky Teflon®, Hostafion®, Kynar®, Neoflon®, Tefzel®). Materiál LDPE nesmí být použit pro přímý kontakt se vzorkovacím médiem (např. pro vzorkovnice), ale může být obsažen např. v ochranných sáčcích. Nejčastěji se používají vzorkovnice z HDPE, které je vhodné předem otestovat na přítomnost PFAS.

Terénní oblečení a obuv vzorkařů nesmí obsahovat Gore-Tex® nebo jiné voděodolné materiály nebo materiály s povrchovou úpravou proti zašpinění. Vhodné jsou oděvy a obuv z bavlny, PVC nebo polyuretanu, předem vícenásobně vyprané bez umělých změkčovačů. Látky ze skupiny PFAS se mohou vyskytovat v řadě prostředků osobní péče – v kosmetice, krémech, šamponech, repelentech a podobně. Proto je doporučeno neaplikovat tyto prostředky v den a během průběhu vzorkování, aby byl zamezen kontakt těchto prostředků se vzorkovacími pomůckami a vybavením. Při dodržení všech dalších zásad je možné je použít před vzorkovacími pracemi, ale je třeba se vyhnout jejich aplikaci v terénu během vzorkování (např. slunečních krémů nebo repelentů). Základním opatřením je důkladné mytí rukou a používání nepudrovaných nitrilových rukavic.

Ke kontaminaci vzorků může dojít také během jejich transportu. Proto je nezbytné vyhnout se všem výše uvedeným materiálům, voděodolným polepům vzorkovnic i permanentním popisovačům. Pro kontrolu možné kontaminace v průběhu vzorkování a dopravy vzorků se odebírají terénní a transportní slepé vzorky [73].

Stávající sledování PFAS v povrchových vodách v ČR

Látky ze skupiny PFAS nejsou doposud systematicky sledovány na celém území ČR. Byla provedena analýza dostupných dat monitoringu jednotlivých látek z této skupiny získaná od jednotlivých státních podniků Povodí, jež realizovaly jejich sledování v rámci monitoringu jakosti povrchových vod. Při výpočtu průměrných hodnot (roční průměrné hodnoty nebo celkové průměry za období, ve kterém byly sloučeniny ze skupiny PFAS sledovány) byly hodnoty pod mezí stanovitelnosti (MS) započteny na úrovni MS.

V povodí Ohře byl měřen PFOS v jednotlivých letech (v období 2012–2023) na 42–110 profilech. V období 2012–2017 byla použita mez stanovitelnosti 0,010 µg/l, od roku 2018 0,020 µg/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty nižší než MS, v jednotlivých letech to bylo 70–100 %. Pozitivních hodnot tedy v jednotlivých letech bylo 0–30 %. Souhrnně bylo 83 % hodnot nižších než 0,020 µg/l, 16 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, 2 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,600 µg/l. Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,010–0,021 µg/l, průměr za celé období 0,017 µg/l. V roce 2024 bylo v povodí Ohře zahájeno sledování PFAS v rozsahu směrnice 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě ve vodárenských nádržích. Použitá MS byla 0,006 µg/l pro PFBA a 0,001 µg/l pro všechny ostatní látky PFAS. Byly detekovány pouze jednotky hodnot nad MS PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFDA, PFTTrDA, PFBS, PFHpS, PFOS, PFDS, PFTTrDS v rozmezí 0,001–0,014 µg/l.

V povodí Odry byl stanovován pouze PFOS, a to v jednotlivých letech období 2017–2023 na 80–82 profilech říční sítě. V období 2017–2021 byla použita MS 0,100 µg/l, v průběhu roku 2022 došlo ke snížení na 0,010 µg/l. Za celé sledované období byly zjištěny pouze dvě pozitivní hodnoty (0,210 a 0,400 µg/l v roce 2018). Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,010–0,101 µg/l, průměr za celé období 0,075 µg/l.

V povodí Moravy byly sledovány v období 2013–2023 PFOS a PFOA, a to na 44–100 profilech. V období 2013–2019 byla použita MS pro PFOS 0,020 µg/l, v období 2020–2022 0,010 µg/l a od roku 2023 0,6 ng/l. V celém hodnoceném období převažovaly hodnoty nižší než MS. Pozitivních hodnot bylo v jednotlivých letech do roku 2022 jen 0–2 %. Souhrnně bylo 99,5 % hodnot nižších než 0,020 µg/l, 0,4 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, 0,1 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 3,65 µg/l. Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,0006–0,021 µg/l, průměr za celé období byl 0,016 µg/l. Od roku 2023, kdy byla MS snížena na 0,6 ng/l, je podíl výsledků vyšších než MS cca 10 %.

Pro PFOA byla použita MS v celém období 0,010 µg/l. V celém hodnoceném období převažovaly hodnoty nižší než MS. Pozitivních hodnot bylo v jednotlivých letech do roku 2022 pouze 0–2 %. Souhrnně bylo 99,6 % hodnot nižších než 0,010 µg/l, 0,3 % hodnot bylo v rozmezí 0,010–0,100 µg/l, 0,1 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 1,8 µg/l. Roční průměrné hodnoty (vyhodnocené pro celé povodí) byly v jednotlivých letech 0,010–0,014 µg/l, průměr za celé období 0,011 µg/l. V roce 2024 bylo na vybraných 27 profilech v povodí Moravy zahájeno sledování PFAS v rozsahu směrnice 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě a návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES. Použitá MS byla pro jednotlivé látky 0,018–1,0 ng/l. Kromě PFOS a PFOA byly detekovány nad MS ještě PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFBS, PFHxS, a to v rozmezí 0,02–12,6 ng/l.

V povodí Labe byly v období 2012–2024 v jednotlivých letech sledovány PFOS a PFOA na 20–130 profilech. V období 2012–2015 byla použita mez stanovitelnosti pro PFOS 0,020 µg/l, v období 2016–2017 0,002 µg/l a od roku 2018 1 ng/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty nižší než MS, v celém období to bylo asi 70 %. Souhrnně bylo 96,5 % hodnot nižších než 0,020 µg/l, 3,2 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, 0,3 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,568 µg/l. Roční průměrné hodnoty

vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,0013–0,031 µg/l, průměr za celé období 0,0054 µg/l.

Pro PFOA byla použita MS v období 2012–2015 0,020 µg/l, v letech 2016–2023 0,005 µg/l a od roku 2018 1 ng/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty menší než MS, a to asi v 95 %. Souhrnně bylo 99,6 % hodnot menších než 0,020 µg/l a 0,4 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,046 µg/l. Roční průměrné hodnoty (vyhodnocené pro celé povodí) byly v jednotlivých letech 0,0025–0,020 µg/l, průměr za celé období 0,0063 µg/l. Sledování PFAS v širším rozsahu bylo v tomto povodí zahájeno v roce 2025.

V **povodí Vltavy** byly sledovány v jednotlivých letech období 2012–2024 PFOS a PFOA na 28–134 profilech. V období 2012–2013 byla použita MS pro PFOS 0,100 µg/l, v období 2014–2021 0,005 µg/l, v roce 2022 0,003 µg/l a od roku 2023 0,5 ng/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty nižší než MS. Pozitivních hodnot bylo v jednotlivých letech jen 0–26 %. Souhrnně bylo 87 % hodnot nižších než 0,020 µg/l, 12,9 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, 0,1 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,289 µg/l. Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,0022–0,100 µg/l, průměr za celé období 0,017 µg/l. Od roku 2023, kdy byla MS snížena na 0,5 ng/l, je podíl výsledků vyšších než MS cca 20 %.

Pro PFOA byla použita MS v období 2012–2013 0,100 µg/l, v období 2014–2021 0,010 µg/l, v roce 2022 0,005 µg/l a od roku 2023 2 ng/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty nižší než MS. Pozitivních hodnot bylo v jednotlivých letech jen 0–22 %. Souhrnně bylo 87,4 % hodnot nižších než 0,010 µg/l, 12,6 % hodnot bylo v rozmezí 0,010–0,100 µg/l, pouze jedna hodnota byla vyšší než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,111 µg/l. Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,0022–0,100 µg/l, průměr za celé období 0,020 µg/l. V roce 2023 bylo na vybraných 42 profilech v povodí Vltavy zahájeno sledování PFAS v rozsahu směrnice 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě a od roku 2024 rozšířeno o další čtyři látky. Použitá MS byla pro jednotlivé látky 0,5–6,0 ng/l. Kromě PFOS a PFOA byly detekovány nad MS ještě PFBA, PFBS, PFHeX, PFHpA, PFHxA, PROS-H4, PFTfDA v rozmezí 1,2–55 ng/l. Více ke sledování těchto látek v Povodí Vltavy uvádí [74].

Hodnoty zjištěné v povrchových vodách v ČR můžeme porovnat s nálezy sloučenin ze skupiny PFAS v dalších zemích. V letech 2004 až 2010 byly analyzovány vzorky povrchových vod ze 41 měst v 15 zemích. PFOS a PFOA byly přítomny ve všech vzorcích s průměrnými koncentracemi v rozmezí od nedetekovatelné hodnoty ND – 0,070 µg/l (PFOS), resp. 0,0002–1,630 µg/l (PFOA). Maximální průměrné koncentrace PFOS v povrchových vodách ve Velké Británii byly 0,019 µg/l. Koncentrace PFOA v povrchových vodách v Ósace činila 1,630 µg/l. V ostatních městech zahrnutých do studie byly průměrné koncentrace PFOA většinou nižší než 0,100 µg/l. V povrchové vodě z řeky Jucar byly PFAS detekovány v koncentracích v rozmezí 0,04 ng/l–0,0831 µg/l [16]. Ve Švédsku byly zjištěny průměrné koncentrace 26 PFAS ve vzorcích odebíraných v oblastech zdrojů pitné vody 0,0084 µg/l, v povrchových vodách 0,112 µg/l a v podzemních vodách 0,049 µg/l [18]. V povrchových vodách v rozvodí řeky Rýn od Bodamského jezera po Severní moře byla zkoumána koncentrace 40 polyfluoroalkylových látek (PFAS) s cílem zjistit vliv bodových i difuzních zdrojů. Mezi PFAS převládá perfluorbutansulfonát (PFBS) s koncentracemi do 0,181 µg/l a kyselina perfluorbutanová (PFBA) s koncentracemi do 0,335 µg/l. Tyto dvě sloučeniny tvoří až 94 % z celkových PFAS [24].

Pilotní rozšíření sledování v dalších profilech

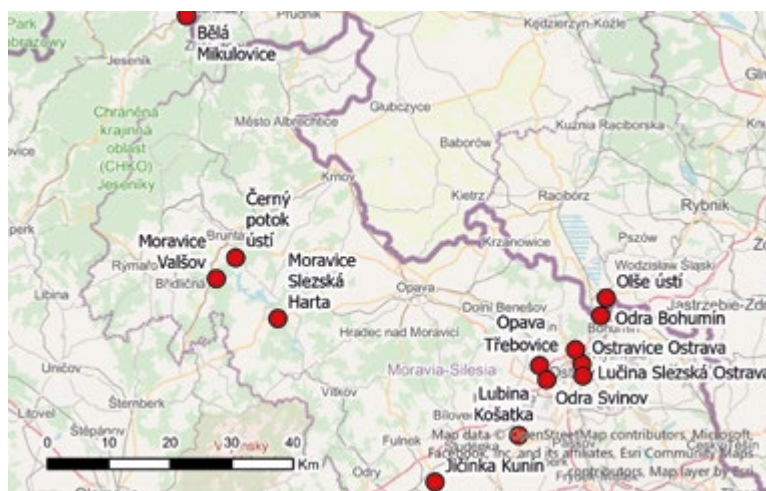
Pro doplnění profilů sledování látek PFAS v širším rozsahu byl navržen pilotní monitoring v Povodí Ohře a Odry. Ve spolupráci se správci obou povodí byly vybrány významné uzávěrové profily a profily s opakovaným výskytem PFOS nad mezí stanovitelnosti. Tyto profily jsou uvedeny v tab. 2. Kromě profilů ze zájmových povodí byl ještě zařazen Kopaninský potok na okraji Prahy, který je významně ovlivněn Letištěm Václava Havla.

Přehled profilů monitorovaných v povodí Ohře je na obr. 1, profily odebrané v povodí Odry jsou na obr. 2. Na obr. 3 je vyznačen odběrný profil na Kopaninském potoce.



Obr. 1. Přehled profilů na povodí Ohře

Fig. 1. Location map of Ohře basin profiles



Obr. 2. Přehled profilů na povodí Odry

Fig. 2. Location map of Odra basin profiles



Obr. 3. Odběrný profil na Kopaninském potoce

Fig. 3. Location of the sampling profile on the Kopaninský stream

Tab. 2. Vybrané odběrové profily
Tab. 2. Selected sampling profiles

Vodní tok	Profil	Kód profilu	Poznámka k výběru
Bílina	Ústí nad Labem	POH_1028	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, opakovaný výskyt hodnot > 0,05 µg/l
Ohře	Terezín	POH_1001	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, maximální hodnota 0,046 µg/l
Ohře	Želina	POH_1008	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, PFOS (biota): 6,67-43,2 µg/kg
Bystřice	Ostrov	POH_1024	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, maximální hodnota 0,110 µg/l
Převod z PPV Březenecská do VD Otvice	Chomutov	POH_1283	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, maximální hodnota 0,140 µg/l
Rolava	Rybáře	POH_1022	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS
Reslava	Pomezí – hranice	POH_1105	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, maximální hodnota 0,083 µg/l
Ploučnice	Březiny	POH_1032	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS>MS, maximální hodnota 0,055, PFOS (biota): 0,99–2,99 µg/kg
Chodovský potok	Dvory	POH_1021	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS
Blšanka	Trnovany	POH_1026	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS
Chomutovka	Postoloprty	POH_1027	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS
Mračný potok	Záluží	POH_1080	PFOS (povrchová voda): max. zaznamenaná hodnota PFOS – 0,6 µg/l
Kopaninský pot	Preláta	-	Letiště Václava Havla Praha
Odra	Bohumín	POD_1163	Závěrný hraniční profil
Odra	pod Černým příkopem	POD_5569	Ústí OV z ÚČOV Ostrava do Černého potoka
Odra	Svinov	POD_1161	PFOS (biota): 2,86 až 8,80 µg/kg
Olše	ústí	POD_5407	Ústí páteřního toku z Karvinska
Ostravice	Ostrava	POD_1152	PFOS (biota): 0,264 až 3,360 µg/kg
Lučina	Slezská Ostrava	POD_1154	ČOV Havířov + průmysl
Jičínka	Kunín	POD_1164	ČOV Nový Jičín
Opava	Třebovice	POD_1146	Ústí páteřního toku z Opavska a Jesenicka
Moravice	Valšov	POD_5203	Před vtokem do VD Slezská Harta
Černý potok	ústí	POD_3581	ČOV Bruntál
Moravice	Slezská Harta	POD_101	Před vtokem do VD Kružberk
Bělá	Mikulovice	POD_3596	ČOV Česká Ves (Jeseník)
Lubina	Košatka	POD_1165	Průmysl, letiště, max. zaznamenaná hodnota PFOS – 0,4 µg/l

Součástí odběru vzorků je také měření terénních ukazatelů: teploty vzduchu, teploty a elektrické konduktivity vody. U profilů, kde je to možné, je zaznamenán průtok na nejbližší vodoměrné stanici.

POUŽITÉ ANALYTICKÉ METODY
STANOVENÍ A IDENTIFIKACE PFAS

Cílená analýza

Při vývoji metody pro stanovení PFAS v povrchové vodě jsme vycházeli z publikovaných metod, které k analýzám využívaly obdobnou instrumentaci [67, 68]. Byla zvolena metoda kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí za podmínek ionizace elektrosprejem v negativním módu. Byly zakoupeny metanoloové roztoky standardů od firmy Neochema a Altium International a interní standardy od firmy Wellington Laboratories a přístrojové doplňky pro PFAS analýzu. Analýzy jsou prováděny na kapalinovém chromatografu Exion LC/SCIEX s hmotnostním detektorem Triple QuadTM 7500 s elektrosprejovou ionizací v negativním módu, Q₀D optimalizací a simple módu pro analýzu. Pro separaci analytů byly použity delay kolona Phenomenex Luna Omega C18, 100 Å, 50 × 2,1 mm, 1,6 µm a analytická kolona Phenomenex Luna Omega PS C18, 100 Å, 100 × 3,0 mm, 3 µm. Pro gradientovou eluci analytů byly použity mobilní fáze A (20 mM octan amonný ve vodě) a mobilní fáze B (methanol). Průtok mobilní fáze je 0,6 ml/min. Počáteční koncentrace mobilní fáze A je 90 %, v 0,1 min. poklesne na 45 %. Od 4,50 min. do 4,95 min. je koncentrace mobilní fáze A 1 %, v 5,0 min. je koncentrace fáze A 90 %. Tento gradient je použit pro PFAS s kratším řetězcem. PFAS s dlouhým řetězcem PFHxDA, PFODA jsou hydrofobnější než PFAS s kratším řetězcem a zdá se, že se při koncentraci MeOH < 40 % vážou na polypropylenové kontejnery. Pro tyto sloučeniny bylo nutno metodu upravit, podmínky gradientové eluce byly změněny. Počáteční koncentrace mobilní fáze A je 90 %, v 1,5 min. klesne na 35 %. V 8 min. je koncentrace fáze A 5 %. Od 8,1 min. do 12,0 min. je koncentrace mobilní fáze A 1 %. Ve 12,5 min. se zvedne na 90 %. Kalibrace na interní standard byla připravena v rozsahu 1–200 ng/l. Příprava vzorků probíhá následujícím způsobem: do 2 ml skleněné vialky s 0,65 ml směsného methanolickeho roztoku surogátních standardů (výsledná koncentrace jednotlivých standardů 50 ng/l) se dá 1 ml vzorku vody. Konečná koncentrace MeOH ve zředěném vzorku je 40 % a standardy, blanky a kontrolní vzorky budou připraveny o stejné koncentraci methanolu. Objem nastříkovaného vzorku je 100 µl. Pro jednotlivé PFAS byly naladěny optimální chromatografické podmínky. Pro každý analyt se monitorují dva charakteristické přechody, jeden pro interní

standard. V tab. 3 jsou uvedeny přehled a charakteristika vnitřních (interních) standardů přiřazených jednotlivým analytům. Naměřené MRM přechody jsou uvedeny v tab. 4. Metoda je připravena k testování s analytickými standardy.

Tab. 3. Interní standardy
Tab. 3. Internal standards

Analyt	Interní standard	
PFBA	MPFBA	13C4-PFBA
PFBS	M3PFBS	13C3-PFBS
PFPeA	M5PFPeA	13C5-PFPeA
PFHxA	MPFHxA	13C5-PFHxA
PFPeS	M3PFHxS	13C3-PFHxS
HFPO-DA	M3HFPO-DA	13C3-HFPO-DA
DONA	MPFHxA	13C5-PFHxA
PFHpA	M4PFHpA	13C4-PFHpA
PFHxS	M3PFHxS	13C3-PFHxS
PFHpS	M8PFOA	13C8-PFOA
PFOA	M8PFOA	13C8-PFOA
PFOS	M8PFOS	13C8-PFOS
PFNA	M9PFNA	13C8-PFOS
PFNS	M6PFDA	13C9-PFNA
PFDA	M6PFDA	13C6-PFDA
PFDS	M6PFDA	13C6-PFDA
PFUdA	M7PFUdA	13C6-PFDA
PFUdS	M2PFDoA	13C7-UdA
PFDoA	M2PFDoA	13C2PFDoA
PFDoS	M2PFDoA	13C2PFDoA
PFTTrDA	M2PFDoA	13C2PFDoA
PFTTrDS	M2PFDoA	13C2PFDoA

Tab. 4. Vybrané diagnostické ionty
Tab. 4. Selected diagnostic ions

Analyt	MRM přechody [m/z]		EP [V]	CE [V]	CXP [V]
	Q1	Q3			
MPFBA	217	172,0	-10	-15	-11
PFBA	212,9	169,0	-10	-13	-14
PFPeA	263	219,0	-10	-12	-14
M5PFPeA	268	223,0	-10	-14	-11
M3PFBS	302	79,9	-10	-68	-12
PFBS	299	80,0	-10	-65	-2
	299	99,0	-10	-36	-9
PFHxA	313	269,0	-10	-14	-17
	313	119,0	-10	-27	-7

Analyt	MRM přechody [m/z]		EP [V]	CE [V]	CXP [V]
	Q1	Q3			
M5PFHxA	318	273	-10	-14	-17
PFPeS	349	80,0	-10	-62	-9
	349	99,0	-10	-43	-18
M3PFHxS	402	79,9	-10	-80	-8
PFHxS	399	80,0	-10	-95	-13
	399	99,0	-10	-41	-8
PFHpA	363	319,0	-10	-15	-10
	363	169,0	-10	-24	-10
	363	119,0	-10	-27	-14

Analyt	MRM přechody [m/z]		EP [V]	CE [V]	CXP [V]
	Q1	Q3			
M4PFHpA	367	322,0	-10	-14	-19
PFHpS	449	80,0	-10	-105	-9
	449	99,0	-10	-73	-10
PFOA	413	369,0	-10	-10	-25
	413	169,0	-10	-25	-10
M8PFOA	421	376	-10	-15	-24
PFOS	499	79,9	-10	-103	-13
	499	98,9	-10	-95	-12
M8PFOS	507	80	-10	-103	-13
PFNA	463	419,0	-10	-17	-14
	463	219,0	-10	-25	-11
M9PFNA	472	427	-10	-17	-14
PFNS	549	80,0	-10	-114	-8
	549	99,0	-10	-106	-10
PFDA	513	469,0	-10	-19	-14
	513	269,0	-10	-26	-15
M6PFDA	519	474	-10	-19	-14
PFDS	599	80,0	-10	-132	-8
	599	99,0	-10	-105	-9
PFUdA	563	219,0	-10	-28	-14
	563	319,0	-10	-27	-18
M7PFUdA	570	525,0	-10	-20	-10
PFUdS	649	80,0	-10	-148	-8
	649	99,0	-10	-129	-10
M2PFDoA	615	570,0	-10	-19	-13
PFDoA	613	569,0	-10	-19	-15
	613	169,0	-10	-36	-11
	613	269,0	-10	-30	-19
PFDoS	699	80,0	-10	-173	-39
	699	98,9	-10	-150	-43
	699	280,0	-10	-73	-25
PFTrDA	663	319,0	-10	-31	-19
	663	219,0	-10	-34	-13
	663	169,0	-10	-35	-16
PFTrDS	749	80,0	-10	-176	-36
	749	99	-10	-165	-45
PFTeDA	713,1	669			
	713,1	168,9			

Analyt	MRM přechody [m/z]		EP [V]	CE [V]	CXP [V]
	Q1	Q3			
M2PFTeDA	715,2	670			
C6O4	339	113,0	-10	-17	-44
	339	85,0	-10	-34	-42
DONA	377	251,0	-10	-18	-41
	377	85,0	-10	-34	-3
6:2 FTOH	423	59,0	-10	-48	-15
	423	96,1	-10	-106	-9
8:2 FTOH	523	59,1	-10	-46	-3
	523	116,0	-10	-54	-11
HEPO-DA	285	169,2	-10	-11	-6
	285	185,1	-10	-31	-10
PFODA	913	868,9	-10	-25	-50
	913	169,0	-10	-49	-44
M6PFDA	519	474,0	-10	-15	-26
M2PFDA	515	470,1	-10	-15	-8
M2PFDoA	615	570,0	-10	-18	-38
MPFBA	217	172,0	-10	-15	-11
PFBA	212,9	169,0	-10	-13	-14
PFPeA	263	219,0	-10	-12	-14
M5PFPeA	268	223,0	-10	-14	-11
M3PFBS	302	79,9	-10	-68	-12
	299	80,0	-10	-65	-2
PFBS	299	99,0	-10	-36	-9
	313	269,0	-10	-14	-17
PFHxA	313	119,0	-10	-27	-7
	318	273	-10	-14	-17
PFPeS	349	80,0	-10	-62	-9
	349	99,0	-10	-43	-18
M3PFHxS	402	79,9	-10	-80	-8

Vysvětlivky: Q1 – prekursor, Q3 – produktový ion, EP – vstupní potenciál, CE – kolizní energie, CXP – výstupní potenciál na kolizní cele

Necílená analýza

Pro vývoj metody necílené analýzy zaměřené na látky PFAS byla zvolena kapalinová chromatografie s hmotnostní detekcí s vysokým rozlišením a ionizací elektrosprejem v negativním módu.

Analýzy jsou prováděny na kapalinovém chromatografu Agilent 1290 Infinity II s hmotnostním spektrometrem SCIEX X500R QTOF s ionizací elektrosprejem v negativním módu. V první fázi byla zkoušena univerzální metoda pro necílenou analýzu s mravenčanem amonným jako mobilní fází. Pro látky

PFAS byl nakonec vybrán jako mobilní fáze octan amonný. Pro separaci analytů byla použita analytická kolona Arion Plus C18, 100 × 2,1 mm, 3 µm. Mobilní fáze A je 5 mM octan amonný a mobilní fáze B methanol. Gradient začíná na 95 % A po dobu 0,5 min. a snižuje se na 5 % A do 14 min., kde 4 min. setrvává. V 18,1 min. se zvedne na 95 % A. Od 18,1 min. do 22 min. je koncentrace A 95 %. Teplota kolony je 30 °C, průtok mobilní fáze je 0,2 ml/min. Objem nastříkovaného vzorku je 100 µl. Látky jsou analyzovány pomocí ionizace elektrosprejem v negativním módu (ESI-) kombinací plného skenu v hmotnostním rozsahu 70–1200 Da s datově nezávislou akvizicí. Sprejovací napětí činí –4 500 V, kolizní energie –35 V a deklasterizační potenciál –80 V pro všechny látky. K identifikaci látek se využívá knihovna spekter.

DISKUZE A ZÁVĚRY

Per- a polyfluorovaným látkám (PFAS) je v současnosti věnována velká pozornost. Tyto látky vzhledem ke svým chemickým vlastnostem, širokému užití v řadě průmyslových odvětví, rozšíření v životním prostředí, dlouhodobému bioakumulačnímu potenciálu a z toho vyplývajícím rizikům pro lidské zdraví vyvolávají značné obavy. V příspěvku jsou shrnuty legislativní požadavky týkající se sledování PFAS v EU i ČR včetně seznamů látek podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 a návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105ES. Na základě dat poskytnutých jednotlivými státními podniky Povodí byl proveden rozbor současného stavu sledování látek ze skupiny PFAS v povrchových vodách ČR. Stanovení těchto látek je analyticky náročné a vyžaduje zavádění nových metodik včetně odpovídajícího přístrojového vybavení. V jednotlivých povodích jsou tyto látky sledovány v různém rozsahu a s různou citlivostí. Do roku 2022 byl v povrchových vodách v ČR soustavně sledován pouze PFOS a (kromě povodí Odry a Ohře) i PFOA. Charakter dat však vzhledem k rozdílným použitým mezím stanovitelnosti v jednotlivých povodích v předchozích letech, kdy většina výsledků byla menší než uváděné meze stanovitelnosti, neumožňuje objektivní zhodnocení stavu v celé ČR. S rozšiřováním analytických možností jsou postupně zaváděny metody umožňující stanovení jednotlivých sloučenin s vyšší citlivostí a zejména v širším rozsahu sledovaných látek PFAS. Od roku 2023 je tak v jednotlivých povodích zahájeno i sledování látek ze skupiny PFAS dle požadavků směrnice 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě a případně dle návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES, včetně pilotního monitoringu VÚV TGM popsáno v příspěvku. Po konečném schválení novely směrnice 2008/105/ES vyvstane potřeba transponovat nové normy environmentální kvality pro látky PFAS do nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Podle posledního stavu projednávání (v září 2025) se předpokládá termín transpozice do 21. prosince 2027. Ke stejnému datu mají členské státy zavést doplňkový monitorovací program látek PFAS (včetně dalších nově stanovených prioritních látek) a do 22. prosince 2030 předběžný program opatření týkající se těchto látek.

Poděkování

Příspěvek vznikl při řešení projektu č. SS07010208 – „Výzkum identifikace a kvantifikace vybraných PFAS v povrchových vodách (PFAS-SW)“, financovaného TA ČR v rámci Programu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život, Podprogramu 1 – Operativní výzkum ve veřejném zájmu. Důležité informace pro projekt poskytly spolupracující státní podniky Povodí Ohře, Povodí Odry, Povodí Vltavy, Povodí Labe a Povodí Moravy, s. p.

Literatura

- [1] PLUNKETT, R. J. *Tetrafluoropolyethylene Polymers*. 4. 2. 1941. Unites States Patent office. US2230654A. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US2230654A/en>
- [2] *The History of Teflon™ Fluoropolymers*. Chemorous.com. [on-line]. [citováno 2025-07-24]. Dostupné z: <https://www.teflon.com/en/news-events/history>
- [3] BUCK, R. C., FRANKLIN, J., BERGER, U., CONDER, J. M., COUSINS, I. T. et al. Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins. [on-line]. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2011, 7(4), s. 513–541. ISSN 1551-3777 [citováno 2025-01-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ieam.258>
- [4] BUCK, R. C., KORZENIOWSKI, S. H., LAGANIS, E., ADAMSKY, F. Identification and classification of commercially relevant per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS). [On-line]. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2021, 17(5), s. 1 045–1 055. ISSN 1551-3777. [citováno 2025-10-15] Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ieam.4450>
- [5] GLÜGE, J., SCHERINGER, M., COUSINS, I. T., DEWITT, J. C., GOLDENMAN, G. et al. An Overview of the Uses of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). [on-line]. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2020, 22(12), s. 2 345–2 373. ISSN 2050-7887 [citováno 2023-09-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/D0EM00291G>
- [6] ABUNADA, Z., ALAZAIZA, M. Y. D., BASHIR, M. J. K. An Overview of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the Environment: Source, Fate, Risk and Regulations. [on-line]. *Water*. 2020, 12(12), 3590. ISSN 2073-4441 [citováno 2025-01-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w12123590>
- [7] ACKERMAN GRUNFELD, D., GILBERT, D., HOU, J., JONES, A. M., LEE, M. J. et al. Underestimated Burden of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Global Surface Waters and Groundwaters. [on-line]. *Nature Geoscience*. 2024, 17(4), s. 340–346. ISSN 1752-0894 [citováno 2025-01-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01402-8>
- [8] MEEGODA, J. N., KEWALRAMANI, J. A., LI, B., MARSH, R. W. A Review of the Applications, Environmental Release, and Remediation Technologies of Per- and Polyfluoroalkyl Substances. [on-line]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020, 17(21), 8117. ISSN 1660-4601 [citováno 2024-06-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph17218117>
- [9] AWCHI, M., GEBBINK, W. A., BERENDSEN, B. J. A., BENSKIN, J. P., VAN LEEUWEN, S. P. J. Development, Validation, and Application of a New Method for the Quantitative Determination of Monohydrogen-Substituted Perfluoroalkyl Carboxylic Acids (H–PFCA) in Surface Water. *Chemosphere*. 2022, 287(2), 132143. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132143>
- [10] BRANDSMA, S. H., KOEKKOEK, J. C., VANVELZEN, M. J. M., DEBOER, J. The PFOA Substitute GenX Detected in the Environment Near a Fluoropolymer Manufacturing Plant in the Netherlands. *Chemosphere*. 2019, 220, s. 493–500. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.135>
- [11] BAABISH, A., SOBHANEI, S., FIEDLER, H. Priority Perfluoroalkyl Substances in Surface Waters – A Snapshot Survey from 22 Developing Countries. *Chemosphere*. 2021, 273, 129612. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129612>
- [12] FIEDLER, H., SADIA, M., BAABISH, A., SOBHANEI, S. Perfluoroalkane Substances in National Samples from Global Monitoring Plan Projects (2017–2019). *Chemosphere*. 2022, 307(3), 136038. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136038>
- [13] COUSINS, I. T., JOHANSSON, J. H., SALTER, M. E., SHA, B., SCHERINGER, M. Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). *Environmental Science & Technology*. 2022, 56(16), s. 11 172–11 179. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765>
- [14] ZENOBI, J. E., NZERIBE, B. N., HILYARD, M., DIGUISEPPI, B. Deciphering PFAS in Rainwater: Sources, Distribution, and Environmental Impact. [on-line]. *Remediation Journal*. 2025, 35(4), e70029. ISSN 1051-5658 [citováno 2025-09-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/rem.70029>
- [15] KLINGELHÖFER, D., BRAUN, M., GRONEBERG, D. A., BRÜGGMANN, D. The “Forever” Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): A Critical Accounting of Global Research on a Major Threat under Changing Regulations. [on-line]. *Chemosphere*. 2024, 354, 141694. ISSN 0045-6535 [citováno 2025-01-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141694>
- [16] KURWADKAR, S., DANE, J., KANEL, S. R., NADAGOUTA, M. N., CAWDREY, R. W. et al. Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Water and Wastewater: A Critical Review of Their Global Occurrence and Distribution. [on-line]. *Science of The Total Environment*. 2022, 809, 151003. ISSN 0048-9697 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151003>
- [17] WEE, S. Y., ARIS, A. Z. Revisiting the “Forever Chemicals”, PFOA and PFOS Exposure in Drinking Water. [on-line]. *Npj Clean Water*. 2023, 6(1), 57. ISSN 2059-7037 [citováno 2025-01-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00274-6>
- [18] BANZHAF, S., FILIPOVIC, M., LEWIS, J., SPARRENBOM, CH. J., BARTHEL, R. A Review of Contamination of Surface-, Ground-, and Drinking Water in Sweden by Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs). [on-line]. *Ambio*. 2017, 46(3), s. 335–346. ISSN 0044-7447 [citováno 2024-09-29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0848-8>
- [19] MUSSABEK, D., SÖDERMAN, A., IMURA, T., PERSSON, K. M., NAKAGAWA, K. et al. PFAS in the Drinking Water Source: Analysis of the Contamination Levels, Origin and Emission Rates. [on-line]. *Water*. 2023, 15(1), 137. ISSN 2073-4441. [citováno 2024-09-25]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w15010137>
- [20] DVOŘÁKOVÁ, D., JUŘÍKOVÁ, M., SVOBODOVÁ, V., PAŘÍZEK, O., KOŽÍŠEK, F. et al. Complex Monitoring of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) from Tap Drinking Water in the Czech Republic. [on-line]. *Water Research*. 2023, 247, 120764. ISSN 0043-1354 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120764>

[21] KOŽÍŠEK, F., DVOŘÁKOVÁ, D., KOTAL, F., JELIGOVÁ, H., MAYEROVÁ, L. et al. Assessing PFAS in Drinking Water: Insights from the Czech Republic's Risk-Based Monitoring Approach. [on-line]. *Chemosphere*. 2025, 370, 143969. ISSN 0045-6535 [citováno 2025-08-26]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143969>

[22] KOVÁŘOVÁ, J., MARŠÁLEK, P., BLÁHOVÁ, J., JURČIKOVÁ, J., KAŠÍKOVÁ, B. et al. Occurrence of Perfluoroalkyl Substances in Fish and Water from the Svitava and Svratka Rivers, Czech Republic. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012, 88(3), s. 456–460. ISSN 0007-4861. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0484-8>

[23] MACH, V., STRAKOVÁ, J., BRABCOVÁ, K., GRECHKO, V., MOLLER, M. *Forever Chemicals Round and Round: Contamination of Water Bodies with Perfluorinated Substances and Brominated Flame Retardants in the Prague Area*. Prague, Czech Republic: Arnika, 2020. ISBN 978-80-87651-83-4.

[24] MÖLLER, A., AHRENS, L., SURM, R., WESTERVELD, J., VAN DER WIELEN, F. et al. Distribution and Sources of Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the River Rhine Watershed. *Environmental Pollution*. 2010, 158(10), s. 3 243–3 250. ISSN 0269-7491. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.07.019>

[25] NG, K., ALYGIZAKIS, N., ANDROULAKAKIS, A., GALANI, A., AALIZADEH, R. et al. Target and Suspect Screening of 4777 Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in River Water, Wastewater, Groundwater and Biota Samples in the Danube River Basin. [on-line]. *Journal of Hazardous Materials*. 2022, 436, 129276. ISSN 0304-3894 [citováno 2023-09-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129276>

[26] BOGDAN, A. R., FOSSEN JOHNSON, S., GOEDEN, H. Estimation of Serum PFOA Concentrations from Drinking and Non-Drinking Water Exposures. [on-line]. *Environmental Health Perspectives*. 2023, 131(6), CID: 067701. ISSN 0091-6765 [citováno 2023-09-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1289/EHP12405>

[27] JOHANSON, G., GYLLENHAMMAR, I., EKSTRAND, C., PYKO, A., XU, Y. et al. Quantitative Relationships of Perfluoroalkyl Acids in Drinking Water Associated with Serum Concentrations above Background in Adults Living Near Contamination Hotspots in Sweden. [on-line]. *Environmental Research*. 2023, 219, 115024. ISSN 0013-9351 [citováno 2023-09-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115024>

[28] LAKIND, J. S., NAIMAN, J., VERNER, M.-A., LÉVÉQUE, L., FENTON, S. Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Breast Milk and Infant Formula: A Global Issue. [on-line]. *Environmental Research*. 2023, 219, 115042. ISSN 0013-9351 [citováno 2023-09-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115042>

[29] ARP, H. P. H., GREDEL, J., GLÜGE, J., SCHERINGER, M., COUSINS, I. T. The Global Threat from the Irreversible Accumulation of Trifluoroacetic Acid (TFA). [on-line]. *Environmental Science & Technology*. 2024, 58(45), s. 19 925–19 935. ISSN 0013-936X [citováno 2025-09-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c06189>

[30] CAHILL, T. M. Increases in Trifluoroacetate Concentrations in Surface Waters over Two Decades. [on-line]. *Environmental Science & Technology*. 2022, 56(13), s. 9 428–9 434. ISSN 0013-936X [citováno 2025-09-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01826>

[31] BEHNAMI, A., POURAKBAR, M., AYYAR, A. S.-R., LEE, J.-W., GAGNON, G. et al. Treatment of Aqueous Per- and Poly-Fluoroalkyl Substances: A Review of Biochar Adsorbent Preparation Methods. [on-line]. *Chemosphere*. 2024, 357, 142088. ISSN 0045-6535 [citováno 2024-05-30]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142088>

[32] CHOE, H.-S., KIM, K. Y., OH, J.-E., KIM, J.-H. Parallel Study on Removal Efficiency of Pharmaceuticals and PFASs in Advanced Water Treatment Processes: Ozonation, GAC Adsorption, and RO Processes. [on-line]. *Environmental Engineering Research*. 2022, 27(1), 200509. ISSN 1226-1025 [citováno 2025-01-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.4491/eer.2020.509>

[33] KANG, K. H., SAIFUDDIN, M., CHON, K., BAE, S., KIM, Y. M. Recent Advances in the Application of Magnetic Materials for the Management of Perfluoroalkyl Substances in Aqueous Phases. [on-line]. *Chemosphere*. 2024, 352, 141522. ISSN 0045-6535 [citováno 2024-05-30]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141522>

[34] ZAHMATKESH, S., CHEN, Z., KHAN, N. A., NI, B.-J. Removing Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Wastewater with Mixed Matrix Membranes. [on-line]. *Science of The Total Environment*. 2024, 912, 168881. ISSN 0048-9697 [citováno 2025-08-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168881>

[35] LENKA, S. P., KAH, M., PADHYE, L. P. A Review of the Occurrence, Transformation, and Removal of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Wastewater Treatment Plants. [on-line]. *Water Research*. 2021, 199, 117187. ISSN 0043-1354 [citováno 2023-09-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117187>

[36] PHONG VO, H. N., NGO, H. H., GUO, W., HONG NGUYEN, T. M., LI, J. et al. Poly-and Perfluoroalkyl Substances in Water and Wastewater: A Comprehensive Review from Sources to Remediation. [on-line]. *Journal of Water Process Engineering*. 2020, 36, 101393. ISSN 2214-7144 [citováno 2024-06-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101393>

[37] SEAY, B. A., DASU, K., MACGREGOR, I. C., AUSTIN, M. P., KRILE, R. T. et al. Per- and Polyfluoroalkyl Substances Fate and Transport at a Wastewater Treatment Plant with a Collocated Sewage Sludge Incinerator. [on-line]. *Science of The Total Environment*. 2023, 874, 162357. ISSN 0048-9697 [citováno 2023-09-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162357>

[38] DENG, Y., HUANG, Q., CHIANG, S.-Y. (eds.). Per- and Polyfluoroalkyl Substance Treatment Technologies. [on-line]. *Royal Society of Chemistry*. 2025, 16, 266 s. ISSN 2516-2624 [citováno 2025-09-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/9781837677779>

[39] *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs), UN Environment Programme, Text and Annexes Revised 2023*.

[40] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1021 ze dne 20. června 2019 o perzistentních organických látkách*.

[41] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH)*.

[42] *Commission Staff Working Document: Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFAS), SWD(2020) 249 final*. Brussels, 14 October 2020.

[43] *Nařízení Komise (EU) 2024/2462 ze dne 19. září 2024, kterým se mění příloha XVII nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006, pokud jde o undekafluorhexanovou kyselinu (PFHxA), její soli a látky příbuzné PFHxA*.

[44] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU ze dne 4. července 2012 o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES*.

[45] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004 ze dne 27. října 2004 o materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami a o zrušení směrníc 80/590/EHS a 89/109/EHS*.

[46] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009 ze dne 30. listopadu 2009 o kosmetických přípravcích*.

[47] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě*.

[48] *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Amending Directive 2000/60/EC Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, Directive 2006/118/EC on the Protection of Groundwater against Pollution and Deterioration and Directive 2008/105/EC on Environmental Quality Standards in the Field of Water Policy Revised Presidency Compromise Text*. 3 June 2024.

[49] BOUTONNET, J. CH., BINGHAM, P., CALAMARI, D., ROOIJ, CH. de, FRANKLIN, J. et al. Environmental Risk Assessment of Trifluoroacetic Acid, in a Freshwater Lake. [on-line]. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 1999, 5(1), s. 59–124. ISSN 1080-7039 [citováno 2025-09-03]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10807039991289644>

[50] BJÖRNSDOTTER, M. K., YEUNG, L. W. Y., KÄRRMAN, A., JOGSTEN, I. E. Mass Balance of Perfluoroalkyl Acids, Including Trifluoroacetic Acid, in a Freshwater Lake. [on-line]. *Environmental Science & Technology*. 2021, 56(1), s. 251–259. ISSN 0013-936X [citováno 2025-09-03]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04472>

[51] *SCHÉER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), Final Opinion on "Draft Environmental Quality Standards for PFAS Total under the Water Framework Directive"*. 6 March 2025.

[52] *Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostí povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech ve znění pozdějších předpisů*.

[53] *Vyhláška č. 428/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) ve znění pozdějších předpisů*.

[54] BORRULL, J., COLOM, A., FABREGAS, J., POCURULL, E., BORRULL, F. A Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry Method for Determining 18 Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Source and Treated Drinking Water. *Journal of Chromatography A*. 2020, 1629, 461485. ISSN 0021-9673. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461485>

[55] CIOFI, L., RENAI, L., ROSSINI, D., ANCILLOTTI, C., FALAI, A. et al. Applicability of the Direct Injection Liquid Chromatographic Tandem Mass Spectrometric Analytical Approach to the Sub-ngL⁻¹ Determination of Perfluoro-Alkyl Acids in Waste, Surface, Ground and Drinking Water Samples. [on-line]. *Talanta*. 2018, 176, s. 412–421. ISSN 0039-9140 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.052>

[56] HUSET, C. A., BARRY, K. M. Quantitative Determination of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Soil, Water, and Home Garden Produce. [on-line]. *MethodsX*. 2018, 5, s. 697–704. ISSN 2215-0161 [citováno 2025-01-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.06.017>

[57] DUFKOVÁ, V., CABALA, R., ŠEVČÍK, V. Determination of C₅–C₁₂ Perfluoroalkyl Carboxylic Acids in River Water Samples in the Czech Republic by GC–MS after SPE Preconcentration. *Chemosphere*. 2012, 87(5), s. 463–469. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.029>

[58] JIMÉNEZ-SKRZYPEK, G., GONZÁLEZ-SÁLAMO, J., HERNÁNDEZ-BORGES, J. Analytical Methodologies and Occurrence of Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances – A Review. [on-line]. *Journal of Chromatography Open*. 2023, 4, 100089. ISSN 2772-3917 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcoa.2023.100089>

[59] JURIKOVA, M., DVORAKOVA, D., PULKRABOVA, J. The Occurrence of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Drinking Water in the Czech Republic: A Pilot Study. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022, 29(40), s. 60 341–60 353. ISSN 0944-1344. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20156-7>

[60] MOTTALEB, M. A., DING, Q. X., PENNELL, K. G., HAYNES, E. N., MORRIS, A. J. Direct Injection Analysis of Per and Polyfluoroalkyl Substances in Surface and Drinking Water by Sample Filtration and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 2021, 1653, 462426. ISSN 0021-9673. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.462426>

[61] LÓPEZ-VÁZQUEZ, J., MONTES, R., RODIL, R., CELA, R., MARTÍNEZ-PONTEVEDRA, J. Á. et al. Determination of Regulated Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Drinking Water according to Directive 2020/2184/EU. [on-line]. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. ISSN 1614-7499 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34852-z>

[62] MISERLI, K., ATHANASIOU, V., BOTI, V., HELA, D., KONSTANTINO, I. Determination of PFAS in Wastewaters and Natural Waters by Solid Phase Extraction and UHPLC LTQ/Orbitrap MS for Assessing Occurrence and Removals. [on-line]. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023, 8, 100505. ISSN 2666-0164 [citováno 2024-06-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100505>

[63] SELAHLE, S. K., MPUPA, A., NOMNGONGO, P. N. Liquid Chromatographic Determination of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Environmental River Water Samples. [on-line]. *Arabian Journal of Chemistry*. 2022, 15(8), 103960. ISSN 1878-5352 [citováno 2024-06-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103960>

[64] SEMERÁD, J., HATASOVÁ, N., GRASSEROVÁ, A., ČERNÁ, T., FILIPOVÁ, A. et al. Screening for 32 Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Including GenX in Sludges from 43 WWTPs Located in the Czech Republic – Evaluation of Potential Accumulation in Vegetables after Application of Biosolids. [on-line]. *Chemosphere*. 2020, 261, 128018. ISSN 0045-6535 [citováno 2025-01-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128018>

[65] ZACS, D., BARTKEVICS, V. Trace Determination of Perfluorooctane Sulfonate and Perfluorooctanoic Acid in Environmental Samples (Surface Water, Wastewater, Biota, Sediments, and Sewage Sludge) Using Liquid Chromatography – Orbitrap Mass Spectrometry. [on-line]. *Journal of Chromatography A*. 2016, 1473, s. 109–121. ISSN 0021-9673 [citováno 2025-01-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.10.060>

[66] ZWEIGLE, J., BUGSEL, B., ZWIENER, CH. Efficient PFAS Prioritization in Non-Target HRMS Data: Systematic Evaluation of the Novel MD/C-m/C Approach. [on-line]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2023, 415(10), s. 1 791–1 801. ISSN 1618-2642 [citováno 2024-06-26]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00216-023-04601-1>

[67] CLAEYS, L., VAN GEENEN, F., PRIVAT, K., VAN DAELE, F., VANDEKERCKHOVE, L. et al. *A robust and Sensitive Routine Analysis Method of 40 PFAS Compounds in Surface Water Using the SCIEX 7500 system*. [Online]. DH Tech. Dev. Pte. Ltd. MKT-34156-A, 2025. [cit. 2025-10-15]. Dostupné z: <https://sciex.com/tech-notes/environmental-industrial/water-and-soil/a-robust-and-sensitive-routine-analysis-method-of-40-pfas-compou>.

[68] NIELAND B., JASPERS, R.-J., HUP, K., CHAHBOUNI, A., STAHL-ZENG, J. An Ultra-High Sensitivity Analysis of PFAS Compounds in Multiple Water Sources Using the SCIEX 7500 SystEm. *SCIEX*. 2022, RUO-MKT-02-15059-A. [on-line]. Dostupné z: https://sciex.com/content/dam/SCIEX/pdf/tech-notes/food-and-beverage/food-and-beverage/RUO-MKT-02-15059-A_PFAS_on_the_7500_sensitivity_and_contamination_mitigation_Final.pdf

[69] LEE, H., BUTT, C. M., LODGE, S., YE, R., NISTORESCU, I. et al. Quantification of Ultrashort- and Short-Chain PFAS in Beverages by a Direct Injection LC-MS/MS Method. [on-line]. *SCIEX*. 2025, MKT-35579-A. Dostupné z: <https://sciex.com/tech-notes/food-beverage/food-and-beverage/quantitation-of-ultrashort-and-short-chain-pfas-in-beverages-by-a-direct-injection-lc-ms-ms-method>

[70] VON ABERCRON, E., FALK, S., STAHL, T., GEORGII, S., HAMSCHER, G. et al. Determination of Adsorbable Organically Bound Fluorine (AOF) and Adsorbable Organically Bound Halogens as Sum Parameters in Aqueous Environmental Samples Using Combustion Ion Chromatography (CIC). [on-line]. *Science of the Total Environment*. 2019, 673, s. 384–391. ISSN 0048-9697 [citováno 2025-09-01]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.068>

[71] HAN, Y., PULIKKAL, V. F., SUN, M. Comprehensive Validation of the Adsorbable Organic Fluorine Analysis and Performance Comparison of Current Methods for Total Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Water Samples. [on-line]. *ACS ES&T Water*. 2021, 1(6), s. 1 474–1 482. ISSN 2690-0637 [citováno 2025-09-01]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acsestwater.1c00047>

[72] FOLORUNSHO, O., KIZHAKKETHIL, J. P., BOGUSH, A., KOURTCHEV, I. Effect of Short-Term Sample Storage and Preparatory Conditions on Losses of 18 Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) to Container Materials. [on-line]. *Chemosphere*. 2024, 363, 142814. ISSN 0045-6535 [citováno 2024-10-14]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142814>

[73] EGLE: *General PFAS Sampling Guidance*, EGLE, Michigan Department of Environment, Great Lakes, and Energy, 800-662-9278, 2024. [on-line]. Dostupné z: <https://www.michigan.gov/-/media/Project/Websites/PFAS-Response/Sampling-Guidance/General.pdf?rev=6217442052bf4fedb89bbf786560d645>

[74] KULE, L., ŠIKOROVÁ, L., KOŽELUH, M. PFAS kolem nás. Sledování perfluorovaných látek (PFAS) ve vodách povodí Vltavy. [on-line]. *Vodní hospodářství*. 2023, 73(12), s. 25–27. ISSN 1211-0760 [citováno 2025-07-23]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/pfas-kolem-nas-sledovani-perfluorovanych-latek-pfas-ve-vodach-povodi-vltavy/>

Autoři

RNDr. Diana Marešová, Ph.D.¹
✉ diana.maresova@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-9047-6747

Ing. Věra Očenášková¹
✉ vera.ocenaskova@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-8692-2417

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.²
✉ tomas.micanik@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5867-0985

Ing. Eva Juranová, Ph.D.¹
✉ eva.juranova@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-9021-7307

Ing. Danica Pospíchalová¹
✉ danica.pospichalov@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5803-3302

Ing. Eva Bohadlová¹
✉ eva.bohadlova@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-0518-4705

Ing. David Chrastina²
✉ david.chrastina@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-9945-3100

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (Česká republika)
²Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Ostrava (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.09.004

ISSN 0322-8916/© 2025 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

CURRENT STATUS OF MONITORING SELECTED PFAS IN SURFACE WATERS IN THE CZECH REPUBLIC

**MAREŠOVÁ, D.¹; OČENÁŠKOVÁ, V.¹; MIČANÍK, T.²;
POSPÍCHALOVÁ, D.¹; JURANOVÁ, E.¹; BOHADLOVÁ, E.¹;
CHRASTINA, D.²**

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague (Czech Republic)

²T. G. Masaryk Water Research Institute, Ostrava (Czech Republic)

Keywords: surface water — PFAS — target analysis —
non-target analysis — HPLC-MS — Czech Republic

Per- and polyfluorinated compounds (PFASs), a group of fluorinated compounds of anthropogenic origin, have been classified as a persistent organic substances of significant concern due to their chemical properties, widespread use in a number of industrial sectors, environmental spread, long term bioaccumulation potential and resulting risk to human health.

This article brings an overview of current knowledge about the occurrence of PFASs in the environment, mainly in surface, ground and drinking water and about methods of their removal from contaminated water.

Furthermore, the legislative requirements regarding PFASs at the level of the EU and the Czech Republic are summarised here, including the list of compounds according to the Directive of the European Parliament and the Council 2020/2184 and the Proposal for a Directive of the European Parliament and the Council 2008/105/EC.

Overview of analytical methods for determination of PFASs, including trifluoroacetic acid (TFA), and the determination of total organic fluorine is in this paper. The methods are generally based on liquid chromatography coupled with mass detection. Differences are primarily in sample pre-treatment.

The main attention is focused on summary of relevant data PFAS monitoring in surface water from all Czech Republic territory. Until the year 2022 only perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and (except for the Odra and Ohře basins) perfluorooctanoic acid (PFOA) were consistently monitored in surface waters in the Czech Republic. Detection limits of methods used in individual basins were different. That is why the objective summary relevant dates about PFAS monitoring in the Czech Republic is impossible.

Methodologies enabling determination with higher sensitivity and, in particular, a wider range of monitored substances are gradually being introduced with the expansion of analytical possibilities. From 2023, monitoring of substances from PFAS group compounds is introduced in individual basins on a wider scale, including pilot monitoring, which is presented in this article.

