

# Nezastavitelné? Ultra-krátké PFAS v životním prostředí a vodních zdrojích

Ultra-krátké per- a polyfluoralkylované látky (USC-PFAS, z anglického ultra-short chain) jsou definovány jako sloučeniny obsahující tři nebo méně atomů uhlíku. Vyznačují se vysokou mobilitou v životním prostředí, výraznou rozpustností ve vodě a nízkou afinitou k organickým látkám. Díky těmto vlastnostem se USC-PFAS hojně vyskytují v povrchových i podzemních vodách, odpadních vodách, ale také ve vodě pitné. Hlavní environmentální problémy spojené s USC-PFAS zahrnují jejich mimořádnou perzistenci, vysoké riziko kontaminace podzemních vod a obtížnou sanaci způsobenou odolností vůči běžným čistírenským metodám.



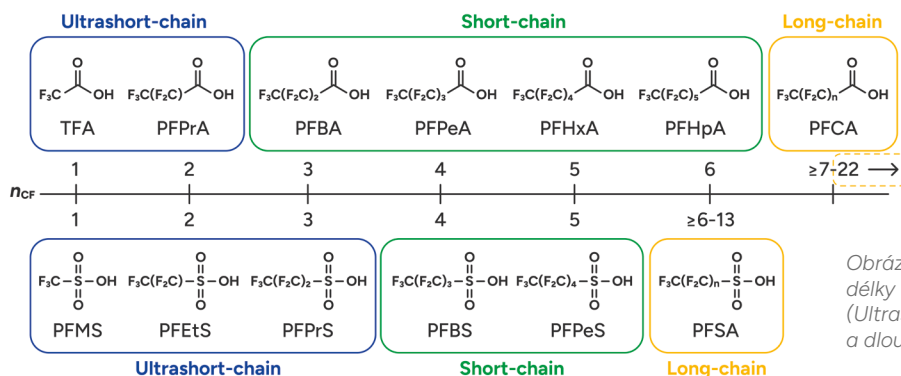
Obrázek 1: Ilustrativní obrázek

## Výskyt, použití a zdroje

Na rozdíl od PFAS s delšími řetězci jsou USC-PFAS varianty dosud málo prostudované a naše znalosti o jejich záměrných i nezáměrných transformačních procesech zůstávají omezené. Zdrojů USC-PFAS je několik: vznikají degradací prekurzorových sloučenin, atmosférickým rozkladem fluorovaných a chlorfluorovaných uhlovodíků používaných jako chladiva, nebo jsou cíleně přímo používány v produktech, jako například v bateriích. Důležitým faktem je, že kyselina trifluoroctová (TFA) – hlavní a reprezentativní zástupce USC-PFAS, vzniká také při environmentálním rozkladu fluorovaných pesticidů a léčiv. USC-PFAS dále vznikají jako vedlejší produkty při výrobě delších PFAS zastaralou metodou elektrochemické fluorace (ECF). Nacházíme je také v komunálním i průmyslovém odpadu nebo v hasicích pěnách.

## Osud a transport

Délka uhlovodíkového řetězce hraje klíčovou roli při určování fyzikálně-chemických vlastností různých PFAS látek. PFAS s dlouhým řetězcem jsou například hydrofobnější, což je vlastnost, která byla využita při technikách odstraňování pomocí uhlíkatých materiálů, jako je granulované aktivní uhlí (GAU). Naopak PFAS s krátkým a ultra-krátkým řetězcem jsou hydrofilní, s charakteristicky nízkými hodnotami pKa (tj. jsou kyslejší), vysokou rozpustností ve vodě a sníženými hodnotami log Koc (tj. méně adsorbují organický uhlík). Tyto vlastnosti znamenají, že USC-PFAS se ve vodním prostředí volně disociují a jsou méně náchylné k sorpci na přírodní pevné látky. Výsledkem je, že USC-PFAS jsou ve vodním prostředí vysoce mobilní a mohou se šířit na velké vzdálenosti od oblastí primární kontaminace.



Obrázek 2: Kategorizace PFSA a PFCA na základě délky uhlíkového řetězce – ultra-krátký řetězec (Ultrashort chain), krátký řetězec (Short-chain) a dlouhý řetězec (Long-chain).

## Globální regulační prostředí

Povědomí o perzistenci a bioakumulační povaze PFAS s řetězci C8-C14 začalo na přelomu tisíciletí vyvolávat obecné znepokojení, což brzy vedlo k zařazení PFOS, PFOA a PFHxS na seznam perzistentních organických polutantů (POP) Stockholmské úmluvy. V důsledku toho začali výrobci postupně přecházet na alternativy s krátkými a ultrakrátkými řetězci.

S přechodem z C8 na C4 a kratší fluorované uhlíkové řetězce však došlo ke snížení technické kvality výrobků a pro dosažení stejného efektu bylo zapotřebí většího množství látek. Přestože je obecně uznáváno, že PFAS s krátkými a ultra-krátkými řetězci mají menší toxikologický účinek, environmentální rizika tím nutně nejsou vyloučena, protože přítomnost USC PFAS a jejich průběžné, kumulativní uvolňování naznačují, že se mohou v budoucnu projevit jejich nepříznivé dopady.

Globální regulace USC PFAS se regionálně liší a často spadají pod širší regulaci PFAS. Například Evropská unie stanovuje konkrétní požadavky a limitní hodnoty pro celkovou koncentraci PFAS v pitné vodě podle směrnice (EU) 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě. Směrnice o pitné vodě zavedla limit **0,5 µg/l** pro ukazatel „**PFAS celkové**“ (**PFAS Total**), přičemž nadále probíhají odborné diskuse o metodice, zejména pokud jde o zahrnutí **kyseliny trifluoroctové (TFA)**. Kromě toho byla TFA nedávno doplněna na prioritní seznam pro původně navržený ukazatel **sumy 24 PFAS** v povrchových vodách.

## Nádoby na odběr vzorků pro analýzu PFAS

Pro zajištění spolehlivých výsledků analýzy PFAS se doporučuje používat pouze testované a ověřené vzorkovací nádoby; tyto nádoby jsou k dispozici na vyžádání v laboratořích ALS.

## Analytické služby jsou stále dostupnější

Testování USC PFAS je z analytického hlediska relativně náročné. Komplexnost matic a následný analytický šum komplikují stanovení těchto sloučenin, především TFA. Příprava vzorku je další klíčovou výzvou analytického postupu, a to díky riziku křížové kontaminace. Postup přípravy vzorku byl tedy cíleně navržen tak, aby byl co nejjednodušší a nejméně zdoluhovavý. Ostatní sloučeniny ze skupiny USC PFAS zpravidla vykazují v testovaných vzorcích nižší koncentrace, což obecně usnadňuje dosažení nižších limitů stanovení (LOQ).

Laboratoře ALS úspěšně vyvinuly analytickou metodu stanovující USC PFAS v environmentálních vodních maticích. Pro TFA bylo dosaženo LOQ na hladině 50 ng/l a pro ostatní USC-PFAS dokonce ještě nižších hodnot. Kompletní seznam analyzovaných USC PFAS je uveden v Tabulce 1.

Tabulka 1: Rozsah cílových analytů

| Sloučeniny USC-PFAS                                                                | Číslo CAS  |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Kyselina trifluoroctová (TFA),<br>kyselina perfluoroethanová (PFEtA)               | 76-05-1    |
| Kyselina trifluormetansulfonová (TFMS),<br>kyselina perfluormetansulfonová (PFMeS) | 1493-13-6  |
| Kyselina perfluoroetansulfonová (PFETs)                                            | 354-88-1   |
| Kyselina perfluorpropanoová (PFPrA)                                                | 422-64-0   |
| Kyselina perfluorpropansulfonová (PFPrS)                                           | 423-41-6   |
| Kyselina trifluormetansulfinová                                                    | 34642-42-7 |
| Lithium bis(trifluormetansulfonyl)imid<br>(LiTFSI)                                 | 90076-65-6 |

## Legislativa

Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o kvalitě vody určené k lidské spotřebě

Rada EU, 23. září 2025: Znečištění vody: Rada a Parlament dosáhly předběžné dohody o aktualizaci prioritních látek v povrchových a podzemních vodách