

Niepowstrzymane? Ultrakrótkie PFAS w środowisku i źródłach wody

PFAS o ultrakrótkim łańcuchu (USC-PFAS), definiowane jako związki zawierające trzy lub mniej atomów węgla, charakteryzują się znaczną mobilnością w środowisku, wysoką rozpuszczalnością w wodzie oraz niskim powinowactwem do materii organicznej. Właściwości te przyczyniają się do ich powszechnego występowania w wodach i ściekach środowiskowych, a także w wodzie pitnej. Problemy środowiskowe związane z USC-PFAS obejmują ich trwałość, potencjalne zanieczyszczenie wód gruntowych oraz trudności w remediacji wynikające z odporności na konwencjonalne metody oczyszczania.



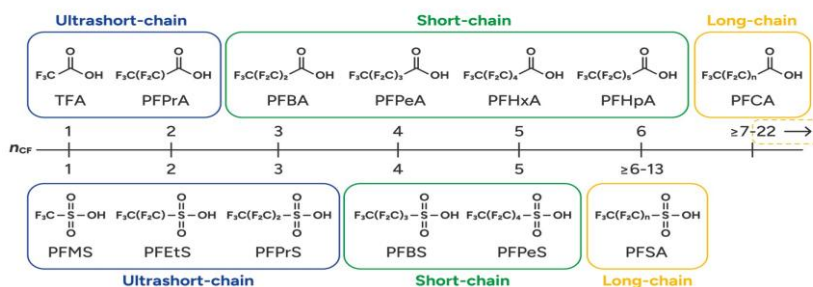
Rysunek 1: Ilustracja poglądowa

Występowanie, zastosowania i źródła narażenia

PFAS o ultrakrótkim łańcuchu zostały słabiej scharakteryzowane w porównaniu z ich odpowiednikami o dłuższych łańcuchach, a wiedza na temat ich zamierzonych i niezamierzonych procesów transformacji jest ograniczona. USC-PFAS powstają na skutek rozpadu ich prekursorów, rozpadu w atmosferze wodorofluorowęglowodorów (HFC) i chlorowodorofluorowęglowodorów (HCFC) stosowanych jako czynniki chłodnicze, a także celowe bezpośrednie wykorzystanie w produktach, takich jak akumulatory. Co istotne, TFA, jeden z głównych PFAS o ultrakrótkim łańcuchu, powstaje także w wyniku środowiskowego rozkładu fluorowanych pestycydów i produktów farmaceutycznych. Stanowią one również produkty uboczne historycznej produkcji PFAS o dłuższych łańcuchach metodą elektrofluorowania elektrochemicznego (ECF). USC-PFAS występują także w odpadach komunalnych i przemysłowych, a także w wodnych pianach gaśniczych tworzących film (AFFF) stosowanych w gaszeniu pożarów..

Przemiany środowiskowe i migracja w środowisku

Długość łańcucha węglowego odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu właściwości fizykochemicznych poszczególnych związków PFAS. Na przykład PFAS o długich łańcuchach są bardziej hydrofobowe – cecha ta została wykorzystana w technikach usuwania z użyciem materiałów węglowych, takich jak ziarnisty węgiel aktywny (GAC). Dla odmiany PFAS o krótkich i ultrakrótkich łańcuchach są hydrofilowe, mają charakterystycznie niskie wartości pKa (tj. są bardziej kwasowe), wysoką rozpuszczalność w wodzie oraz obniżone wartości log Koc (tj. słabiej adsorbują się na węglu organicznym). Atrybuty te sprawiają, że USC-PFAS swobodnie dysocjują w środowisku wodnym i są mniej podatne na sorpcję na naturalnych fazach stałych. W efekcie USC-PFAS wykazują wysoką mobilność w środowisku wodnym i mogą przemieszczać się daleko od obszarów źródłowego zanieczyszczenia.



Rysunek 2: Klasyfikacja PFSA i PFCA na podstawie długości łańcucha węglowego – ultrakrótki, krótki i długi łańcuch.

Globalny obraz legislacyjny

Świadomość trwałości i bioakumulacyjnego charakteru PFAS o długości C8-C14 zaczęła budzić powszechny niepokój na przełomie tysiącleci, a wkrótce potem PFOS, PFOA i PFHxS zostały wpisane na listę trwałych zanieczyszczeń organicznych (POPs) Konwencji Sztokholmskiej. W konsekwencji producenci zaczęli wdrażać alternatywy o krótszych i ultrakrótkich łańcuchach.

Jednak przejściu z łańcuchów C8 na C4 i krótsze łańcuchy fluorowęglowe towarzyszyło obniżenie wydajności technicznych, przez co do osiągnięcia równoważnej skuteczności potrzebne były większe ilości substancji. Dlatego, choć ogólnie przyjmuje się, że PFAS o krótkich i ultrakrótkich łańcuchach cechują się niższym profilem toksykologicznym, ryzyka środowiskowe nie są automatycznie wyeliminowane, ponieważ obecność USC-PFAS oraz ich ciągłe, skumulowane uwalnianie sugerują możliwość wystąpienia niekorzystnych skutków w przyszłości.

Globalne regulacje dotyczące USC-PFAS różnią się w zależności od regionu i często są ujęte w szerszych przepisach dotyczących PFAS. Na przykład Unia Europejska posiada szczegółowe wytyczne i limity dla łącznego stężenia związków PFAS w wodzie pitnej (określone w Dyrektywie UE 2020/2184). Dyrektywa w sprawie wody pitnej ustanowiła limit 0,5 µg/L dla „PFAS ogółem” (PFAS Total), choć trwają dyskusje dotyczące szczegółowej metodologii uwzględniania kwasu trifluorooctowego (TFA). Ponadto TFA został niedawno dodany do listy priorytetowej dla wstępnie proponowanej sumy 24 PFAS w wodach powierzchniowych.

[LINK](#)

Pojemniki do pobierania próbek PFAS

Zaleca się stosowanie wyłącznie przetestowanych i zweryfikowanych pojemników do pobierania próbek, aby zapewnić wiarygodne wyniki analiz PFAS; pojemniki te są dostępne na życzenie w laboratoriach ALS.

Usługi analityki celowanej stają się coraz bardziej dostępne

Badania USC-PFAS są wymagające z uwagi na szereg czynników analitycznych. Zanieczyszczenie tła oraz szumy matrycowe mogą zakłócać wykrywanie tych związków, w szczególności kwasu trifluorooctowego (TFA). Dodatkowo przygotowanie próbki stanowi istotne wyzwanie ze względu na stałe ryzyko wystąpienia „cross - contamination”. Aby ograniczyć to ryzyko, procedurę przygotowania próbek zaprojektowano tak, by była możliwie najprostsza i najbardziej przejrzysta.

Inne związki USC-PFAS charakteryzują się zazwyczaj niższymi stężeniami w środowisku, co ułatwia osiągnięcie niższych limitów raportowania (LOR). ALS opracował skuteczną metodę analityczną dla związków USC-PFAS w matrycach wód środowiskowych, osiągając łączny LOR 50 ng/L dla TFA oraz jeszcze niższe LOR dla innych związków USC. Pełne zestawienie analizowanych USC-PFAS przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1 - Zakres analitów docelowy

Związki USC-PFAS	Nr. CAS
Trifluoroacetic acid (TFA), Perfluoroethanoic acid (PFEtA)	76-05-1
Trifluoromethane sulfonic acid (TFMS), Perfluoromethane sulfonic acid (PFMeS)	1493-13-6
Perfluoroethane sulfonic acid (PFETs)	354-88-1
Perfluoropropanoic acid (PFPrA)	422-64-0
Perfluoropropane sulfonic acid (PFPrS)	423-41-6
Trifluoromethane sulfinic acid	34642-42-7
Lithium bis(trifluoromethanesulfonyl) imide (LiTFSI)	90076-65-6

Bibliografia

[LINK](#)

Dyrektywa (UE) 2020/2184 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

[LINK](#)

Rada UE, 23 września 2025 r.: Zanieczyszczenie wody: Rada i Parlament osiągnęły wstępne porozumienie dotyczące aktualizacji substancji priorytetowych w wodach powierzchniowych i podziemnych.

SCAN OR CLICK



Summary of All
EnviroMails

Ask the
EXPERTS