

PFAS v biotě: Hodnocení rizik a pokročilá analytická řešení

Analýza živých organismů (bioty) jako ukazatelů znečištění patří mezi základní postupy environmentálního monitoringu. Je známa jako **biomonitoring** nebo **bioindikace**. Podstatou tohoto přístupu je hodnocení kvality prostředí (vzduchu, vody i půdy) prostřednictvím pozorování vybraných organismů a jejich reakcí na přítomné kontaminanty. PFAS představují vzhledem ke své mimořádné perzistenci a schopnosti hromadit se v živých tkáních specifický případ. Ryby a měkkýši tak představují klíčový nástroj, kdy fungují jako bioakumulátory zachycující PFAS ze svého okolí. Koncentrace těchto látek v jejich tkáních pak slouží jako přesné měřítko kontaminace prostředí.



Obrázek 1: Ilustrativní obrázek

Právní úprava v EU: Současné požadavky a připravované změny

Regulační přístup EU k PFAS v biotě se obecně zpřísňuje. [Směrnice 2013/39/EU](#) ¹ uvádí jako jedinou prioritní látku ve vodním prostředí PFOS s normou environmentální kvality (NEK) pro biotu (ryby) 9,1 µg/kg původního vzorku. Normy bezpečnosti potravin se však výrazně zpřísnily. Od roku 2023 stanovuje [Nařízení \(EU\) 2023/915](#) ² maximální limity pro součet čtyř PFAS (PFOA, PFOS, PFNA a PFHxS) v různých potravinách. Zatímco standardně platný maximální limit pro rybí maso je stanoven na 2,0 µg/kg vzorku, nařízení zohledňuje významnou mezidruhovou variabilitu v bioakumulaci a environmentální expozici. Limity kontaminace jsou odstupňovány podle druhů, aby odrážely různé úrovně bioakumulace. Například zatímco pro lososa atlantického je limit stanoven na 5,0 µg/kg, prahové hodnoty pro jiné druhy, jako je sih (lososovitá ryba) nebo mník (treskovitá ryba), mohou dosáhnout až 45 µg/kg. Tyto rozdíly zohledňují odlišná stanoviště a pozice v potravním řetězci.

EU postupně přechází ke skupinovému přístupu v ochraně životního prostředí. Navrhovaná novela rámcové směrnice o vodě by rozšířila monitoring z jednotlivých látek na PFAS jako skupinu. Tato změna reflektuje aktuální vědecké poznatky EFSA o bioakumulačním potenciálu a kombinované toxicitě těchto perzistentních látek.

Představuje strategický posun od regulace izolovaných sloučenin k řízení celé chemické třídy s cílem zajistit vysokou úroveň ochrany lidského zdraví i vodních ekosystémů.

Jak PFAS kontaminují biotu

Kontaminace vody a půdy:

Do životního prostředí se PFAS dostávají z různých zdrojů, mezi něž patří průmyslová zařízení, skládky či hasicí pěny. Jejich chování v prostředí závisí na délce řetězce: PFAS s krátkým řetězcem jsou vysoce mobilní a přetrvávají v povrchových a podzemních vodách, zatímco PFAS s dlouhým řetězcem se váží na organické látky a akumulují v sedimentech.

Bioakumulace ve vodním potravním řetězci:

Vodní organismy, typicky ryby a měkkýši, přijímají PFAS z vodního prostředí i kontaminované potravy a akumulují je ve svých tkáních. V potravním řetězci pak dochází k biomagnifikaci – postupnému zvyšování koncentrací směrem k vyšším trofickým úrovním. Tento efekt je nejmarkantnější u PFAS s dlouhým řetězcem (např. PFOS) u dravých ryb.

Kontaminace suchozemských živočichů:

V kontaminovaných oblastech přijímají zvířata PFAS z pitné vody, krmiva, půdy i prachu. Látky se pak vážou na bílkoviny a koncentrují především v krvi a játrech, odkud se mohou dostávat do potravin živočišného původu jako je mléko nebo vejce.

► [Pokračování na další stránce](#)
(Jak PFAS kontaminují biotu)

Kontaminace plodin:

Rostliny mohou PFAS vstřebávat z kontaminované půdy i při zavlažování znečištěnou vodou. Míra absorpce závisí na struktuře látky; PFAS s krátkým řetězcem jsou obecně snáze absorbovány kořeny, což usnadňuje jejich vstup do suchozemského potravního řetězce.

Další mechanismy a související faktory:

Prekursor PFAS se mohou v prostředí přeměňovat na perzistentní perfluoralkylové kyseliny (PFAA), například PFOS a PFOA, čímž postupně narůstá zátěž živých organismů. Důležitou roli ve vodních ekosystémech hrají sedimenty a bentické organismy jako hlavní cesty expozice. Ke kontaminaci půdy a vody přispívá také atmosférický transport a depozice. Do zemědělských systémů pak PFAS pronikají především při aplikaci čistírenských kalů a zavlažování kontaminovanou vodou.

Dopad na živé organismy

Postupná akumulace:

Díky své chemické stabilitě a pomalé eliminaci přetrvávají PFAS s dlouhým řetězcem v organismech, kde jejich koncentrace v průběhu času narůstají. Tyto látky se vážou na bílkoviny a hromadí především v krvi, játrech a vejcích. Na vyšších trofických úrovních pak dochází k biomagnifikaci.

Potenciální účinky na zdraví:

Expozice PFAS u volně žijících živočichů vede k celé řadě negativních účinků: potlačení imunitního systému, narušení endokrinních funkcí a činnosti štítné žlázy, změnám metabolismu lipidů, poškození jater a nepříznivým dopadům na vývoj a reprodukci (například snížené úspěšnosti líhnutí). Z hlediska karcinogenity klasifikuje Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) PFOA jako karcinogenní pro člověka (skupina 1), zatímco PFOS řadí mezi možné karcinogeny (skupina 2B).

Přenos z matky a vývojová citlivost:

PFAS se mohou přenášet z dospělých jedinců na potomky prostřednictvím vajec a mateřského mléka, což raná vývojová stadia činí obzvláště zranitelnými.

Monitoring a biomagnifikační profily

Populace volně žijících ryb a bezobratlých živočichů v EU vykazují měřitelné koncentrace PFAS (PFOS a PFCA) v rozmezí desítek až stovek µg/kg testovaného původního vzorku. Mořští predátoři na vrcholu potravního řetězce pak často přesahují limity NEK stanovené pro biotu, a to především u látky PFOS.

Literatura

Teunen et al.: PFAS accumulation in indigenous and translocated aquatic organisms from Belgium, with translation to human and ecological health risk. *Environ Sci Eur* (2021) 33:39

Byns et al.: Bioaccumulation and trophic transfer of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in marine biota from the Belgian North Sea: Distribution and human health risk implications. *Environmental Pollution* 311 (2022) 119907

Gkika et al.: Strong bioaccumulation of a wide variety of PFAS in a contaminated terrestrial and aquatic ecosystem. *Environment International* 202 (2025) 109629

Míra biomagnifikace se sice u různých sloučenin liší, PFAS s dlouhým řetězcem však vykazují jednoznačnou tendenci k hromadění.

Analytické metody

Laboratoře ALS provádějí stanovení PFAS v biotě pomocí akreditované metody LC–MS/MS v souladu s normou ISO/IEC 17025. Tato analýza poskytuje kritické informace o kontaminaci životního prostředí. Metoda prošla komplexní validací na široké škále matric – od ryb a mořských plodů (mlži, korýši, hlavonožci) přes maso, vejce a mléko až po různé rostlinné tkáně.

Logistika a manipulace se vzorky:

Pro zachování integrity analyzovaných látek a prevenci biologického rozkladu je nezbytné dodržovat přísné postupy při přepravě vzorků. Vzorky by měly být zasílány expresní kurýrní službou. Pokud jsou odesílány v zmraženém stavu, musí zůstat zmrazené po celou dobu transportu.

Hmotnost vzorku:

Ačkoli laboratoř dokáže zpracovat i pouhých 10 g vzorku, pro zajištění reprezentativnosti doporučujeme zaslat alespoň 50 g. Vzorky jsou následně lyofilizovány (sušeny mrazem) a důkladně homogenizovány, čímž se získá stabilní a homogenní testovací vzorek. Tento postup stabilizuje matici a zakoncentruje analyty, což umožňuje detekci i stopových množství cílových PFAS.

Extrakce a analýza:

Analytický pracovní postup využívá modifikovanou metodu QuEChERS pro účinnou extrakci analytů, následovanou přečištěním metodou extrakce na pevnou fázi (SPE) k odstranění matričních interferencí. Konečná separace a detekce analytů probíhá na moderním přístroji UHPLC–MS/MS.

Kvantifikace:

Kvantifikace jednotlivých PFAS probíhá pomocí izotopově značených interních standardů. Poměry odezev nativních analytů a jejich izotopově značených protějšků v hmotnostním spektrometru korelují s poměry jejich koncentrací. Tato metoda poskytuje robustní korekci ztrát analytu během celého analytického procesu (extrakce, čištění, ionizace) i kompenzaci matričních efektů, čímž zajišťuje vysokou přesnost, preciznost a správnost stanovení i při analýze komplexních biologických matric.

► [Pokračování na další stránce](#)
(Seznam cílových PFAS)

SKENUJ NEBO KLIKNI

Seznam cílových PFAS

LOQ: Limit kvantifikace (µg/kg)



right solutions.
right partner.

Parametr	Zkratka	LOQ (µg/kg)
Perfluoralkylkarboxylové kyseliny		
Kyselina perfluorbutanová	PFBA	1
Kyselina perfluoropentanová	PFPeA	0,1
Kyselina perfluorhexanová	PFHxA	0,1
Kyselina perfluoroheptanová	PFHpA	0,1
Kyselina perfluorooktanová	PFOA	0,1
Kyselina perfluorononová	PFNA	0,1
Kyselina perfluordekanová	PFDA	0,1
Kyselina perfluoroundekanová	PFUnDA	0,1
Kyselina perfluorododekanová	PFDODA	0,1
Kyselina perfluorotridekanová	PFTTrDA	0,1
Kyselina perfluorotetradekanová	PFTeDA	0,1
Kyselina perfluorohexadekanová	PFHxDA	0,1
Perfluoralkansulfonové kyseliny		
Kyselina perfluorbutansulfonová	PFBS	0,1
Kyselina perfluoropentansulfonová	PFPeS	0,1
Kyselina perfluorohexansulfonová	PFHxS	0,1
Kyselina perfluoroheptansulfonová	PFHpS	0,1
Kyselina perfluorooktansulfonová	PFOS	0,1
Kyselina perfluorononansulfonová	PFNS	0,1
Kyselina perfluordekanová	PFDS	0,1
Kyselina perfluoroundekanová	PFUnDS	0,1
Kyselina perfluorododekansulfonová	PFDODS	0,1
Kyselina perfluorotridekansulfonová	PFTTrDS	0,1
Perfluoralkylsulfonamidy		
Perfluorooktansulfonamid	PFOSA	0,1
Fluorotelomerové sulfonové kyseliny		
4:2 Fluorotelomerová kyselina sulfonová	4:2 FTS	0,1
6:2 Fluorotelomerová sulfonová kyselina	6:2 FTS	0,1
8:2 Kyselina fluorotelomerová	8:2 FTS	0,1
Ostatní PFAS		
2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy) propánová kyselina	HFPO-DA (GenX)	0,1
Kyselina 7H-perfluoroheptanová	HPFHpA	0,1
Kyselina perfluoro-3,7-dimethyloctanová	P37DMOA	0,1