

PFAS: "Večné chemikálie" v pôde

O výskyte PFAS v životnom prostredí nie je potrebné ďalej diskutovať.

Jedná sa o všadeprítomné „večné chemikálie“ a v dnešnej dobe je veľmi dôležité zaoberať sa ich postupným odstraňovaním. Per- a polyfluóroalkylové látky (PFAS) predstavujú trvalé (perzistentné) environmentálne kontaminanty s ďalekosiahlymi dôsledkami. Tieto syntetické zlúčeniny, ktoré je možné detegovať v rôznych priemyselných a spotrebiteľských výrobkoch, disponujú pozoruhodnou stabilitou a odolnosťou voči rozkladu.

Ich rozsiahla prítomnosť vo všetkých zložkách životného prostredia vyvoláva stále väčšie obavy o budúci stav životného prostredia a ľudské zdravie. Stanovovanie PFAS v pôde je kľúčové pre pochopenie ich distribúcie, stability a súvisiacich rizík, čo si vyžaduje cielené úsilie pri hľadaní účinných stratégií ich eliminácie.

PFAS v pôde

Pilotné štúdie zaoberajúce sa PFAS v životnom prostredí boli prevažne zamerané na ich výskyt v atmosfére, v povrchových a/alebo podzemných vodách. Z priebežných štúdií je však stále viac zrejme, že pôdy hrajú kľúčovú úlohu významného rezervoáru a trvalého zdroja PFAS, a to ako v lokálnom, regionálnom, tak aj globálnom meradle. Výskyt PFAS je zrejmy vo všetkých testovaných pôdach a ich typoch, dokonca aj na miestach odlahlých od ich potenciálneho primárneho zdroja. Pôdy tak samy o sebe predstavujú trvalú hrozbu a dlhodobý zdroj kontaminácie PFAS pre povrchovú vodu, podzemnú vodu, atmosféru, rastliny aj biotu.

Je dôležité poznamenať, že v oblastiach so silne kontaminovanou pôdou, prevyšujú koncentrácie PFAS ich hladiny v podzemných vodách niekedy až v hodnotách milióna rádo.

PFAS môžu do značnej miery ovplyvňovať vlastnosti a štruktúru pôdy, majú vplyv na dýchanie pôdy, nárast pH pôdy a tvorbu stabilných agregátov. PFAS majú navyše vplyv na množstvo, rozmanitosť a funkčnosť pôdných baktérií, dokonca pri veľmi nízkych koncentráciách. Z vyššie uvedených dôvodov je komplexné porozumenie osudu a transportu PFAS v pôde kľúčové pre efektívny environmentálny manažment a ich cielenú elimináciu zo životného prostredia.



Obrázok 1: Ilustračný obrázok pôdy

Zdroje PFAS v pôdach

- **Hasičské peny:** Profesionálne hasičské peny, ktoré sa bežne používajú aj na hasičské cvičenia, obsahujú značné množstvo PFAS. Ich použitie v priebehu cvičenia a nechcený únik prispievajú ku kontaminácii pôdy.
- **Priemyslové emisie:** Niektoré priemyselné aktivity produkujúce výrobky obsahujúce PFAS môžu uvoľňovať tieto látky aj do okolitého prostredia. Priemyselné emisie a nevhodná likvidácia odpadov môžu spôsobiť prienik PFAS do pôdy.
- **Skládky:** Skládky a miesta pre likvidáciu odpadu, ktoré prijímajú materiály obsahujúce PFAS, môžu viesť k vymývaniu týchto látok do pôdy. Nevhodné postupy likvidácie prispievajú ku kontaminácii pôdy.
- **Čistiare odpadových vôd:** Výpuste z čistiarní odpadových vôd, ktoré spracovávajú priemyselné alebo domové odpadové vody obsahujúce PFAS, môžu následne prenášať tieto zlúčeniny do pôdy pri používaní vôd na zavlažovanie alebo ich vypúšťanie do vodných tokov.
- **Atmosférická depozícia:** PFAS sa môžu usadzovať na pôde prostredníctvom zrážok alebo atmosférickej depozície. Tento zdroj je obzvlášť relevantný pre lokality blízko priemyselných oblastí používajúcich alebo emitujúcich PFAS.
- **Spotrebiteľské produkty:** Niektoré spotrebiteľské produkty, napr. vodoodpudivé textílie, riad s nepriľnavým povrchom a obaly potravín, môžu obsahovať PFAS. Časom tieto produkty môžu uvoľňovať PFAS do prostredia a prispievajú tak ku kontaminácii pôdy.
- **Odtok z kontaminovaných oblastí:** Dažďová voda, ktorá odtieká z oblastí s historickým používaním alebo kontamináciou PFAS, môže prenášať tieto látky do neďalekej pôdy.

Prípadová štúdia: Analýza PFAS vo vybraných vzorkách pôdy z roku 2023

Štúdia monitorujúca výskyt PFAS v pôdach bola vykonaná v roku 2023. Štúdia zahŕňala analýzu 209 vzoriek pôdy. Analýza sa zamerala na 20 látok PFAS, ktoré je v súčasnej dobe legislatívne povinné sledovať v pitnej vode (*). Analýza bola vykonaná štandardnou metódou s limitmi kvantifikácie (LOQ) v rozmedzí od 0,5 do 2,5 µg/kg sušiny.

Približne 70% testovaných vzoriek bolo negatívnych (pod LOQ) pre všetky testované analyty (Obrázok 2). Pri pozitívnych vzorkách boli tak, ako sa očakávalo, najčastejšie detegované dve látky: PFOS a PFOA. Za povšimnutie stojí, že v pôdach je možné často detegovať prevažne PFAS s dlhým reťazcom (PFDA, PFNA, PFNS, atď.). Okrem spomenutých látok sú v pôdach pomerne často prítomné taktiež zlúčeniny 6:2 FTS a FOSA.

Obsah PFAS v pôdach

Profily jednotlivých detegovaných PFAS v kontaminovaných vzorkách sú uvedené na Obrázkoch 3 a 4.

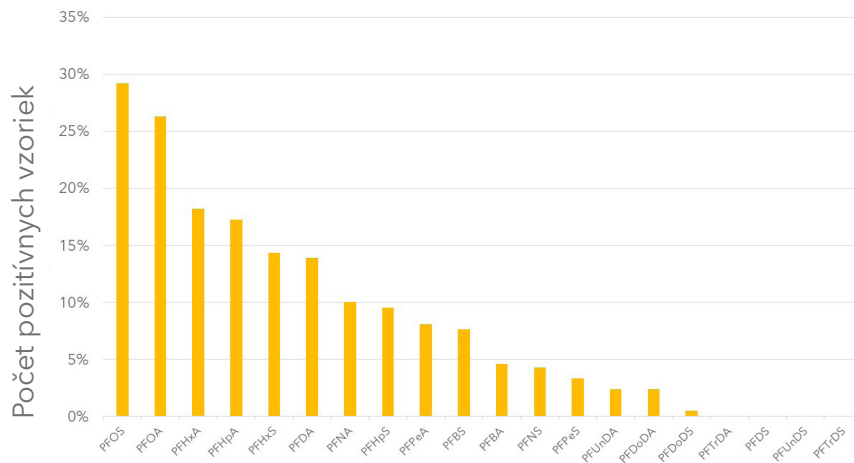
Je zrejmé (a očakávané), že PFOS bol detegovaný v najvyšších koncentračných hladinách (Obrázok 3) a výrazne prevyšuje ostatné analyty. Profil ostatných PFAS (bez PFOS) a ich hladiny sú zobrazené na Obrázku 4.

Z vykonaných štúdií jasne vyplýva, že zastúpenie PFAS v pôdach sa môže významne líšiť, predovšetkým v závislosti od miesta vzorkovania.

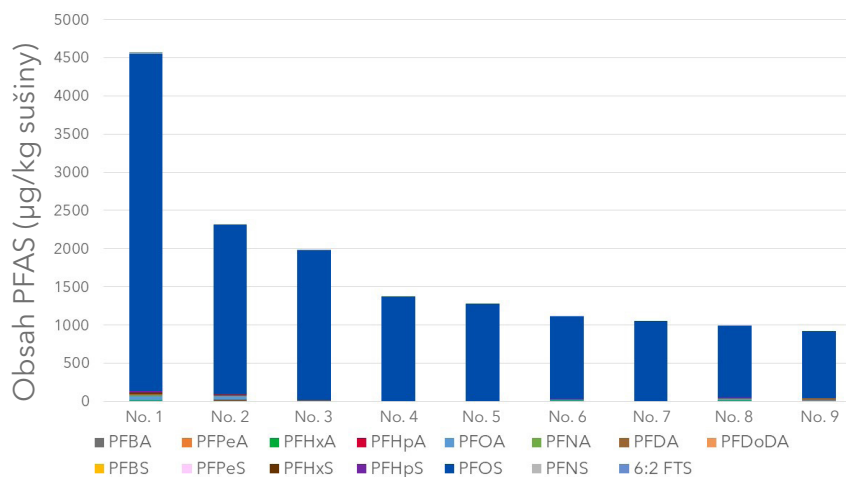
Literatúra:

- Y. Wang, U. Munir, Q. Huang. Occurrence of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in soil: Sources, fate, and remediation. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100004>
- M. L. Brusseau, R. H. Anderson, B. Guo. PFAS Concentrations in Soils: Background Levels versus Contaminated Sites. 2020. [doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140017](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140017)

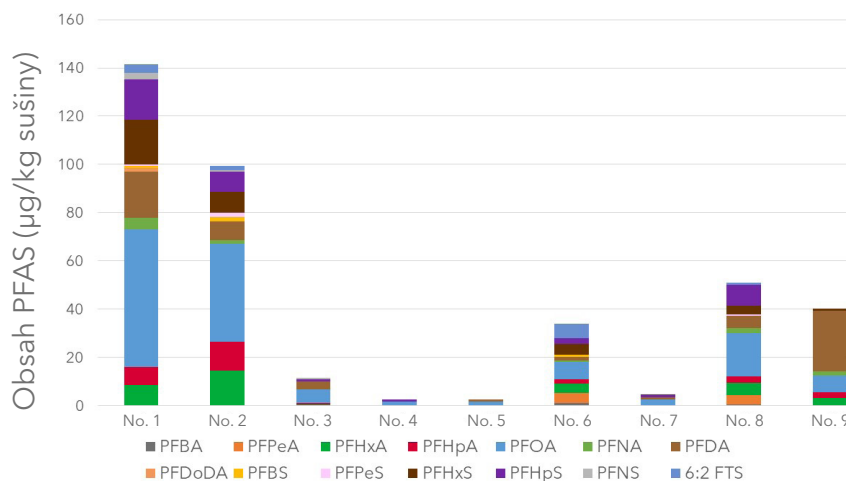
* DIRECTIVE (EU) 2020/2184 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption.



Obrázok 2: Počty pozitívnych vzoriek na PFAS vo vybraných vzorkách pôd.



Obrázok 3: Obsah PFAS vo vybraných vzorkách pôd (µg/kg sušiny).



Obrázok 4: Obsah PFAS vo vybraných vzorkách pôd (µg/kg sušiny), bez látky PFOS.

Ďalšie PFAS EnviroMaily:

- [EnviroMail 01 / Európa: Testovanie PFAS ve vodách. Rozsah analýz a súčasný stav legislatívy \(Máj 2023\)](#)
- [EnviroMail 02 / Európa: Odporúčania na na odber vzoriek PFAS s cieľom maximalizovať kvalitu údajov \(Máj 2023\)](#)

Table 1. The list of PFAS target analytes and report limits as validated for SOIL samples.

Groups	Analytes	Abbreviation	Standard (µg/kg DW)	Low-limits (µg/kg DW)	
Perfluoroalkyl-carboxylic acids	Perfluorobutanoic acid	PFBA*	0.5	0.05	
	Perfluoro-3-methoxypropanoic acid	PFMPA	2.5	n.a.	
	Perfluoropentanoic acid	PFPeA*	0.5	0.2	
	Perfluoro-4-methoxybutanoic acid	PFMBA	2.5	n.a.	
	Perfluorohexanoic acid	PFHxA*	0.5	0.2	
	2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoic acid	HFPO-DA	2.5	n.a.	
	Perfluoroheptanoic acid	PFHpA*	0.5	0.2	
	4,8-dioxa-3H-perfluorononanoic acid	DONA	0.5	n.a.	
	7H-perfluoroheptanoic acid	HPFHpA	0.5	0.2	
	Perfluorooctanoic acid	PFOA*	0.5	0.05	
	Perfluoro-3,7-dimethyloctanoic acid	P37DMOA	0.5	0.2	
	Perfluorononanoic acid	PFNA*	0.5	0.05	
	Perfluorodecanoic acid	PFDA*	0.5	0.05	
	2H,2H,3H,3H-perfluoroundecanoic acid	H4PFUnDA	5	n.a.	
	Perfluoroundecanoic acid	PFUnDA*	0.5	0.05	
	Perfluorododecanoic acid	PFDoDA*	0.5	0.05	
	Perfluorotridecanoic acid	PFTrDA*	0.5	0.05	
	Perfluorotetradecanoic acid	PFTeDA	0.5	0.05	
	Perfluorohexadecanoic acid	PFHxDA	5	1	
	Perfluorooctadecanoic acid	PFOcDA	5	5	
Perfluoroalkyl-sulfonic acids	Perfluoropropane sulfonic acid	PFPrS	2.5	n.a.	
	Perfluoro(2-ethoxyethane)sulfonic acid	PFEESA	2.5	n.a.	
	Perfluorobutane sulfonic acid	PFBS*	0.5	0.1	
	Perfluoropentane sulfonic acid	PFPeS*	0.5	0.05	
	Perfluorohexane sulfonic acid	PFHxS*	0.5	0.1	
	Perfluoroheptane sulfonic acid	PFHpS*	0.5	0.1	
	Perfluorooctane sulfonic acid	PFOS*	0.5	0.05	
	Perfluoro-4-ethylcyclohexanesulfonic acid	PFECHS	0.5	n.a.	
	Perfluorononane sulfonic acid	PFNS*	0.5	0.05	
	Perfluorodecane sulfonic acid	PFDS*	0.5	0.05	
	Perfluoroundecane sulfonic acid	PFUnDS*	2.5	n.a.	
	Perfluorododecane sulfonic acid	PFDoDS*	0.5	0.05	
	Perfluorooctane sulfonic acid	PFTrDS*	2.5	n.a.	
	Perfluorinated telomer sulfonates	4:2 Fluorotelomer sulfonic acid	4:2 FTS	0.5	0.05
		6:2 Fluorotelomer sulfonic acid	6:2 FTS	0.5	0.05
		8:2 Fluorotelomer sulfonic acid	8:2 FTS	0.5	0.1
10:2 Fluorotelomer sulfonic acid		10:2 FTS	0.5	0.2	
Perfluorinated sulfonamides	Perfluorooctane sulfonamide	FOSA	0.5	0.05	
	N-Methyl perfluorooctane sulfonamide	MeFOSA	0.5	0.05	
	N-Ethyl perfluorooctane sulfonamide	EtFOSA	0.5	0.05	
Perfluorinated sulfonamidoethanols	N-Methyl perfluorooctane sulfonamidoethanol	MeFOSE	0.5	0.2	
	N-Ethyl perfluorooctane sulfonamidoethanol	EtFOSE	0.5	0.2	
Perfluorooctane-sulfoamidoacetic acids	Perfluorooctane sulfonamidoacetic acid	FOSAA	0.5	0.5	
	N-Methyl perfluorooctane sulfonamidoacetic acid	MeFOSAA	0.5	0.5	
	N-Ethyl perfluorooctane sulfonamidoacetic acid	EtFOSAA	0.5	0.5	
Fluorotelomer carboxylic acids	2H,2H,3H,3H-perfluorohexanoic acid	3:3 FTCA	2.5	n.a.	
	2H,2H-perfluorooctanoic acid	6:2 FTCA	5	n.a.	
	2H,2H,3H,3H-perfluorooctanoic acid	5:3 FTCA	5	n.a.	
	2H-perfluoro-2-octenoic acid	6:2 FTUCA	5	n.a.	
	2H,2H,3H,3H-perfluorodecanoic acid	7:3 FTCA	5	n.a.	
	2H,2H-perfluorodecanoic acid	8:2 FTCA	5	n.a.	
Chlorinated perfluoroalkyl sulfonic acids	2H-perfluoro-2-decenoic acid	8:2 FTUCA	0.5	n.a.	
	9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonic acid	9Cl-PF3ONS	0.5	n.a.	
	11-chloroeicosafluoro-3-oxaundecane-1-sulfonic acid	11Cl-PF3OUdS	0.5	n.a.	

n.a. = Not Analyzed:

* Analytes included in the sum of 20 PFAS in drinking water according to DIRECTIVE (EU) 2020/2184 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption.