

PERZISTENTNÍ ORGANICKÉ LÁTKY PFAS: VÝZVY, DOPADY A LEGISLATIVNÍ OPATŘENÍ

LENKA MCGACHY, JIŘÍ KROUŽEK a RADEK ŠKAROHLÍD

Ústav chemie ochrany prostředí, Fakulta technologie ochrany prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika
lenka.mc.gachy@vscht.cz

Došlo 3.8.24, přijato 18.9.24.

V únoru roku 2023 oznámila Evropská agentura pro chemické látky (ECHA), že má k dispozici očekávaný podrobný návrh na omezení více než 10 000 perfluorovaných a polyfluorovaných alkylových látek (PFAS) podle nařízení o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH). Vnitrostátní orgány Dánska, Německa, Nizozemska, Norska a Švédska předložily návrh poté, co zjistily rizika při výrobě, uvádění na trh a používání PFAS. Podle jejich názoru nejsou látky dostatečně kontrolovány a je třeba je řešit na celoevropské úrovni. Tento článek se zaměřuje na důsledky navrhovaného omezení PFAS pro spotřebitele a trhy, přičemž analyzuje možné dopady na průmysl a každodenní život. Dále diskutuje výskyt PFAS v prostředí a dopad těchto perzistentních látek na zdraví lidí a životní prostředí.

Klíčová slova: PFAS, věčné chemikálie, kontaminace, zdravotní rizika, regulace, REACH

Obsah

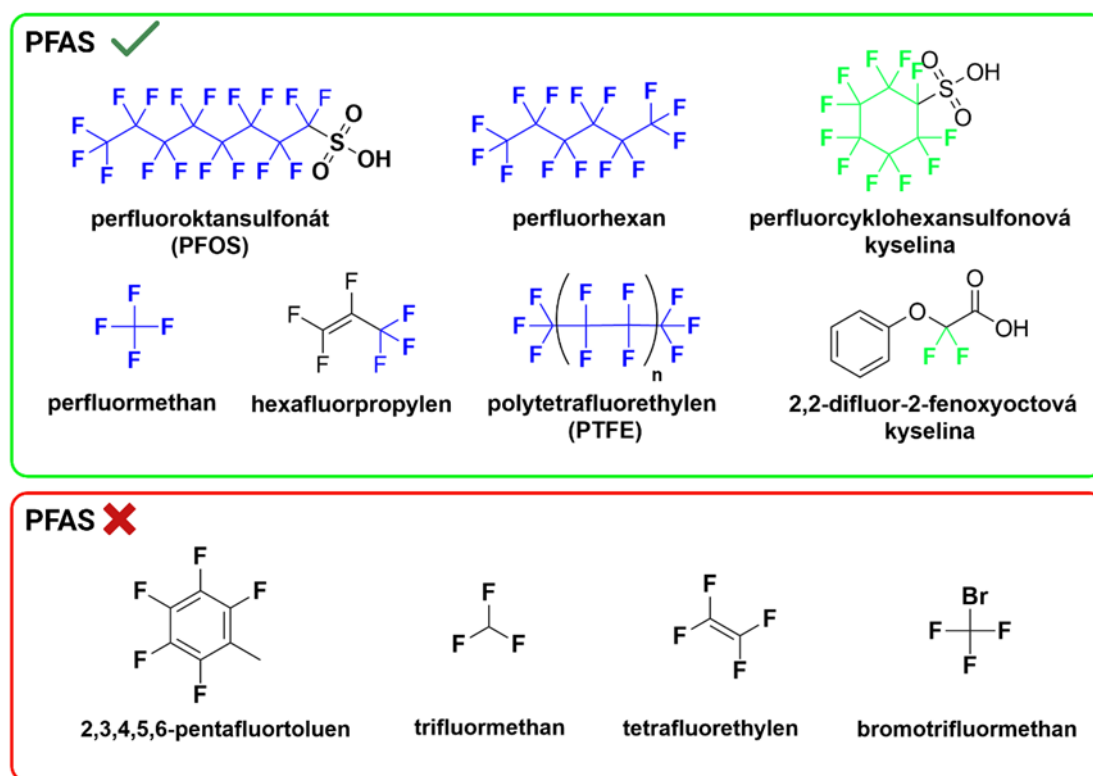
1. Vlastnosti a rizika PFAS: od užitečnosti k perzistenci a toxicitě
2. Výskyt PFAS v životním prostředí
3. Regulace a omezování PFAS: legislativní kroky a budoucí výzvy
 - 3.1. Hlavní posuzované varianty omezení
 - 3.2. Dopady na společnost
4. Závěr

1. Vlastnosti a rizika PFAS: od užitečnosti k perzistenci a toxicitě

Perfluorované a polyfluorované alkylové látky (PFAS), rovněž známé jako „věčné chemikálie“, jsou velkou skupinou široce používaných syntetických fluorovaných organických látek¹. Podle definice Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) jsou PFAS definovány jako fluorované sloučeniny obsahující alespoň jeden plně fluorovaný methylový nebo methylenový uhlíkový atom, který není vázán na atomy vodíku, chloru, bromu nebo jodu. To znamená, že s několika výjimkami se za PFAS považují všechny chemické látky obsahující alespoň jednu perfluorovanou methylovou skupinu ($-CF_3$) nebo perfluorovanou methylenovou skupinu ($-CF_2-$)¹ (obr. 1).

Přítomnost pevné vazby mezi uhlíkem a fluorem je základem jedinečných vlastností PFAS, jako například tepelná odolnost či odpuzování mastnoty a vody, díky nimž jsou PFAS používány ve stovkách průmyslových a spotřebitelských výrobků², přičemž z více než 12 000 známých PFAS se aktuálně aktivně využívá více než 1400 z nich³. Na druhou stranu je tato vazba ovšem také hlavním problémem PFAS: jsou perzistentní, což vede k jejich dlouhodobé přítomnosti v životním prostředí. Přestože se mohou některé PFAS, zejména fluorotelomerní prekurzory či prekurzory perfluoralkylových kyselin (PFAA), částečně rozkládat, transformačním produktem je opět jiná perzistentní PFAS, přičemž se většinou jedná o perfluorkarboxylové kyseliny (PFCA) (např. kyselina perfluoroktanová (PFOA)) a perfluorsulfonáty (PFSA) (např. perfluoroktansulfonát (PFOS))⁴.

PFAS se mohou snadno šířit prostředím, pronikat půdou a kontaminovat zdroje pitné vody a přitom je jejich odstranění značně obtížné a nákladné^{5,6}. Díky své schopnosti bioakumulace^{7,8} mohou relativně nízké koncentrace PFAS (v řádu $ng\ l^{-1}$) v prostředí vést k vyšším hladinám v živých organismech, zejména na vrcholu potravního řetězce, což představuje významné zdravotní riziko pro člověka⁹. Délka uhlíkového řetězce PFAS je klíčová pro jejich vlastnosti: sloučeniny s dlouhým řetězcem, jako PFOS a PFOA, které patří mezi starší, tzv. „legacy“ PFAS, a obsahují 8 atomů uhlíku, byly prvními široce využívanými PFAS. Tyto látky jsou známé svou vysokou perzistencí, bioakumulací a toxicitou. Expozice PFOA



Obr. 1. Příklady látek, které jsou a nejsou považovány za PFAS podle definice OECD¹; modré funkční skupiny představují plně fluorované methylové části molekuly ($-\text{CF}_3$), zatímco zelené funkční skupiny označují plně fluorované methylenové části molekuly ($-\text{CF}_2-$). Vytvořeno v BioRender. McGachy L. (2024) BioRender.com/f03o451

a PFOS je spojena s mnoha negativními zdravotními důsledky jako například onemocněním štítné žlázy, zvýšenou hladinou cholesterolu, vlivem na reprodukci a plodnost, imunotoxicitou, poškozením jater, rakovinou ledvin, varlat a prsu^{10–12}. Toxicita byla prokázána i u dalších starších PFAS. Například expozice perfluorhexansulfonové kyseliny (PFHxS) způsobuje zhoršený vývoj plodu¹³, zatímco perfluornonanová kyselina (PFNA) vykazuje vývojovou toxicitu u myši, podobně jako PFOS a PFOA, včetně zvětšení jater, zvýšené úmrtnosti mláďat a zpožděného vývoje při vyšších dávkách^{14,15}. Celkově jsou však toxikologická data o mnoha PFAS stále nedostatečná, což je způsobeno především nedostatkem citlivých analytických metod pro přesné měření expozice a potřebou lepších údajů o výskytu PFAS v potravinách a životním prostředí¹⁶.

Poté, co začala vycházet najevo zdravotní a environmentální rizika spojená se staršími PFAS, se výrobci zaměřili na nové, tzv. „emerging“ PFAS s kratším řetězcem (4 až 6 atomů uhlíku), které byly považovány za bezpečnější alternativy. Patří mezi ně například GenX, který se používá jako náhrada PFOA při výrobě fluoropolymerů. Ačkoliv jsou tyto nové PFAS pravděpodobně méně toxické a absorbují se v menší míře, zůstávají perzistentními

látkami a mohou se v prostředí transformovat na jiné perzistentní sloučeniny¹⁷. Podobně jako starší PFAS mohou tyto nové látky narušovat jaterní metabolismus, což vede ke zvýšenému zpětnému vstřebávání žlučových kyselin a hromadění lipidů v játrech, a tím přispívají k jejich celkovému toxickému působení na organismus^{18,19}. Kromě toho jsou lépe rozpustné ve vodě, hůře se vážou na povrchy a mohou se šířit prostředím snadněji než jejich předchůdci s dlouhým řetězcem²⁰.

Dále se ukazuje, že výroba některých PFAS, které byly považovány za látky vzbuzující nízké obavy (například fluoropolymery, mezi něž patří například polytetrafluorethylen (PTFE)), je spojena s emisemi PFAS s dlouhým i krátkým řetězcem, které jsou do prostředí uvolňovány po celý jejich životní cyklus a které vzbuzují závažné obavy ohledně jejich toxicity a nepříznivých účinků na člověka a životní prostředí²¹. Současně, některé PFAS vznikají rozkladem halogenovaných látek v prostředí. Jako příklad lze uvést fluorované skleníkové plyny, takzvané F-plyny, které mohou v prostředí degradovat za vzniku toxické kyseliny trifluoroctové^{22,23}.

2. Výskyt PFAS v životním prostředí

Ačkoliv většina dostupných údajů z monitorování prostředí je dostupná pro PFOA a PFOS, i další PFAS byly zjištěny po celém světě, dokonce například i ve sněhu na Mount Everestu²⁴. PFAS byly identifikovány v povrchových vodách v řadě evropských zemí včetně České republiky, ale i v dalších mediích, jako například půdě, či podzemní vodě²⁵. Bylo zjištěno, že hladiny PFOS v dešťové vodě v Evropě překračují normu EU pro kvalitu životního prostředí pro povrchové vody²⁶. PFAS byly rovněž nalezeny v odpadech ze zemědělství, jako je prasečí kejda, drůbeží hnůj a hnůj mléčného skotu²⁷. Tyto látky byly také detekovány ve vzorcích získaných zametáním ulic²⁸. Kromě toho byly PFAS identifikovány v živých organismech, jako jsou ryby²⁹, draví ptáci a savci^{30,31}. Byly zjištěny také v lidské krvi³² a mateřském mléce³³.

USA provedly jednu z nejrozsáhlejších revizí výskytu PFAS v pitné vodě na světě. Například testování veřejných vodních zdrojů v roce 2016 zjistilo PFAS v dodávkách vody sloužících odhadem 16,5 milionu lidí, včetně 6 milionů s kombinovanou kontaminací PFOS a PFOA⁹ přesahující maximální limity doporučené americkou Agenturou pro ochranu životního prostředí (EPA), které činí 4 ng l^{-1} (cit. ³⁴). Novější testování provedené organizací EWG identifikovalo ke květnu 2024 nejméně 6 189 míst kontaminovaných PFAS v 50 státech USA³⁵.

V Evropě bylo podle The Nordic Council of Ministers³⁶ odhadnuto přibližně 100 tisíc míst potenciálně emitujících PFAS, přičemž počet míst, která by mohla být kontaminována a vyžadovat sanační zásah, byl ještě vyšší. Na základě těchto údajů, které naznačovaly, že existuje mnohem více kontaminovaných míst, jež je třeba identifikovat a vyhodnotit jejich rizika, byla provedena studie v rámci projektu „Forever Pollution Project“ (FPP). Tento projekt si kládł za cíl zmapovat zátěž PFAS v rámci EU³⁷. FPP byl zahájen v dubnu 2022 pěti novináři z Belgie, Francie, Německa, Itálie a Nizozemska³⁸. Cílem bylo lokalizovat všechna výrobní zařízení PFAS v Evropě. Projekt se následně rozšířil a zahrnoval více kategorií provozoven PFAS v EU (včetně ČR), Velké Británii, Norsku, na Islandu, v Lichtenštejnsku a ve Švýcarsku. FPP mapoval tři kategorie kontaminace PFAS: známá místa kontaminace, místa předpokládané kontaminace a „známé uživatele PFAS“. Základní mapování vedl francouzský deník Le Monde. Středobodem projektu byla mapa vytvořená po shromáždění údajů o kontaminaci PFAS ze stovek dokumentů, přičemž se jednalo o shromažďování dostupných dat, nikoliv o průzkum samotný. FPP identifikoval 22 934 známých kontaminovaných míst, včetně 20 výrobních zařízení PFAS, a 21 426 „předpokládaných kontaminovaných míst“, včetně 13 745 míst pravděpodobně kontaminovaných vypouštěním fluorované vodní filmotvorné pěny (AFFF), 2 911 průmyslových zařízení a 4 752 míst souvisejících s odpady obsahujícími PFAS. Kromě toho FPP identifikoval 231 „známých uživatelů PFAS“, což je nová kategorie míst se střední úrovní důkazů o používání PFAS, která jsou považována za pravděpodobné zdroje kontami-

nace. V ČR bylo identifikováno 31 známých míst kontaminovaných PFAS. Mapa nicméně nezahrnuje například údaje o kontaminaci z pilotní studie o PFAS zaměřené na vytvoření seznamu sledovaných podzemních vod, které navzdory Aarhuské úmluvě, která zaručuje přístup k informacím o životním prostředí, Evropská komise odmítla poskytnout. Evropská komise rovněž odmítla poskytnout soubory údajů z 11 zemí, mezi něž spadá ČR, v kterých bylo zaznamenáno detekovatelné množství PFAS v podzemních vodách.

Zkušenosti a data získaná z USA i z projektu FPP naznačují, že kromě pitné vody je potřeba monitorovat také další matrice, jako jsou povrchové vody, podzemní vody, odpadní vody a sedimenty. Tento přístup nám může pomoci získat informace o zdrojích kontaminace PFAS a pochopit, jak se PFAS chovají v různých složkách životního prostředí²⁵. Rovněž je důležité zkoumat zdroje PFAS, a to včetně potenciálních emisí z technologií používaných k jejich odstraňování, vzájemné interakce těchto sloučenin, dobu jejich přetrvávání v různých prostředích a jejich schopnost se šířit v různých složkách životního prostředí³⁹.

3. Regulace a omezování PFAS: legislativní kroky a budoucí výzvy

Od roku 2009 je PFOS a jeho soli zahrnuty do mezinárodní Stockholmské úmluvy, která má za cíl vyloučit jejich používání. V roce 2019 byla úmluva rozšířena na PFOA, její soli a příbuzné sloučeniny, a v roce 2022 se regulace dále vztáhla i na PFHxS, její soli a příbuzné sloučeniny, se společným cílem postupné globální eliminace těchto látek⁴⁰. V roce 2020 stanovil Evropský úřad pro bezpečnost potravin (ESFA) skupinový tolerovatelný týdenní příjem (TWI) ve výši $4,4 \text{ ng kg}^{-1}$ tělesné hmotnosti pro PFOA, PFOS, PFNA a PFHxS, které podle aktuálních studií nejvíce přispívají k hladinám PFAS pozorovaným v lidském séru⁴¹. Další legislativní kroky, jako například přísnější limit $0,1 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ pro všechny PFAA v pitné vodě v EU⁴², byly přijaty v roce 2021, což je v souladu se skupinovým přístupem k PFAS, nicméně ale nezabraňuje samotným emisím PFAS do životního prostředí.

Tyto postupné regulační kroky, ačkoli důležité, se ukázaly jako nedostatečné pro komplexní řešení problematiky PFAS. Vzhledem k širokému použití PFAS v průmyslu a spotřebních výrobcích, jejich směsným účinkům a vysokým společenským nákladům spojeným s kontaminací a zdravotními dopady, je za nejúčinnější způsob ochrany veřejného zdraví a životního prostředí považován komplexní zákaz PFAS. Tento přístup by zabránil nahrazení známých nebezpečných PFAS méně prostudovanými alternativami, které mohou být potenciálně stejně škodlivé, a zároveň by řešil problém PFAS jako celé skupiny látek, nikoliv jen jednotlivých sloučenin.

V reakci na tuto situaci vnitrostátní orgány Dánska, Německa, Nizozemska, Norska a Švédska předložily Evropské agentuře pro chemické látky (ECHA) návrh na omezení PFAS podle nařízení EU o chemických látkách

REACH, které zahrnuje více jak 10 000 perzistentních PFAS. Dne 22. března 2023 začalo šestiměsíční veřejné konzultační období, které skončilo 25. září 2023. Během této doby mohly zainteresované strany, včetně organizací, společností a jednotlivců, předkládat své připomínky k návrhu. ECHA obdržela více než 5 600 připomínek od více než 4 400 organizací, společností a jednotlivců⁴³. Nyní probíhá hodnocení ekonomických, sociálních a environmentálních dopadů navrhovaného zákazu. To zahrnuje analýzu možných dopadů na průmysl, spotřebitele a životní prostředí. Po vyhodnocení připomínek a dopadů návrhu bude následovat proces schvalování⁴⁴. Pokud bude návrh schválen, budou stanoveny konkrétní termíny a přechodná období pro implementaci omezení. Očekává se, že omezení PFAS vstoupí v platnost v letech 2026/2027 a bude zahrnovat přísná pravidla pro výrobu, uvádění na trh a používání PFAS, s cílem snížit jejich emise do životního prostředí.

3.1. Hlavní posuzované varianty omezení

V návrhu omezení⁴⁵ se uvádí, že by se mělo co nejdříve zamezit uvolňování PFAS do životního prostředí (cílem návrhu je snížení emisí PFAS do prostředí o 96 % během 30 let od přijetí). Návrh uvádí, že vzhledem k tomu, že PFAS jsou chemicky velmi stabilní, je důležité zohlednit jejich uvolňování ve všech fázích životního cyklu. Nejlepší možností, jak zabránit emisím PFAS do životního prostředí, je proto zakázat výrobu a používání PFAS v co největším rozsahu. Návrh omezení analyzuje přiměřenost úplného zákazu (možnost omezení 1 (RO1)) všech PFAS. Vnitrostátní orgány navrhují, aby RO1 vstoupila v platnost po uplynutí přechodného období 18 měsíců. Návrh omezení srovnává RO1 s možností omezení 2 (RO2), tedy zákazem všech PFAS s výhradou ve většině případů časově omezených výjimek definovaných pro konkrétní použití v délce buď pěti, nebo dvanácti let po skončení přechodného období⁴⁶. Thijs de Kort, holandský koordinátor pro univerzální omezení PFAS, řekl během semináře 5. dubna 2023, že jako nejvhodnější se jeví pravděpodobně varianta RO2 (cit.⁴⁷).

3.2. Dopady na společnost

Vzhledem k množství PFAS, na které se návrh zaměřuje, se toto omezení bude týkat řady odvětví. Zákaz by měl platit například pro PFCA, které se využívají při impregnaci textilu či jako lubrikanty, dále pak polymerních PFAS, lépe známých jako fluoropolymery, mezi něž patří například PTFE známý pod obchodním názvem „Teflon“, používaný v celé řadě odvětví mimo jiné i při výrobě Gore-Texu. Zákaz se bude také týkat i některých F-plynů, například perfluormethanu a perfluorhexanu, které podle definice OECD do skupiny PFAS také spadají. F-plyny se používají v celém chladírenském řetězci k udržení čerstvosti a bezpečnosti potravin, v klimatizačních jednotkách a tepelných čerpadlech jako „pracovní kapalina“ systémů a jako vysoce účinná nadouvadla pro výrobu izo-

lačních pěn a protipožárních prostředků. V zásadě se zákaz vztahuje na celou řadu odvětví, a proto bude mít dopad na většinu podniků v celé EU.

Okamžitý zákaz některých PFAS by mohl vést k narušení složitých dodavatelských řetězců v průmyslových odvětvích a nedostatku některých produktů na trhu. Určité výrobky obsahující PFAS, například perfluorsulfonové membrány, které dodávají ochranným oděvům používaným pracovníky v ropném a plynárenském průmyslu odolnost proti šíření plamene, jsou nezbytné a nemají prozatím náhradu. Proto bude nutné kritické posouzení jednotlivých výrobků a nalezení vhodných náhrad. Na druhou stranu existuje řada výrobků s obsahem PFAS, které lze okamžitě vyloučit z používání, protože nejsou nezbytné pro zdraví, bezpečnost nebo nemají přínos pro společnost. Mezi tyto výrobky patří například zubní nitě s PTFE, povrchové úpravy, které dodávají oděvům, koberecům a papíru odolnost proti vodě, oleji, špíně a skvrnám, či lyžařské vosky a kosmetické přípravky, jako například voděodolné make-upy. Rovněž existuje řada výrobků, pro které jsou nebo mohou být rychle dostupné alternativy k PFAS. Jako příklad lze uvést filmotvorná pěnídla (AFFF), ve kterých se po desetiletí používaly PFAS a pro které jsou na trhu dostupné náhrady bez obsahu PFAS, využívané na některých komerčních letištích⁴⁸. Dalším použitím dostupných náhrad jsou nepromokavé bundy bez obsahu PFAS, které jsou již na trhu běžně dostupné. V některých případech samozřejmě bude potřeba, aby se alternativy staly známějšími a snadněji dostupnými. Alternativní výrobky mohou být zpočátku dražší než jejich konkurence obsahující PFAS. Lze však očekávat, že po větším rozšíření na trhu se náklady sníží⁴⁸.

Se zákazem PFAS lze očekávat také nárůst odpadů spojených s vyřazenými systémy, produkty či médii (například chladiv), které PFAS obsahují. Dle slov zmínovaného Thijs de Korta se bude navíc zákaz týkat i recyklovaných výrobků, tudíž opět dojde k nárůstu odpadů a nákladů spojených s jejich odstraňováním. Na druhou stranu i při krátkodobém nárůstu odpadů se předpokládá, že přijetí zákazu povede ke snížení emisí PFAS do prostředí o více jak 40 milionů tun během 30 let od přijetí a náklady spojené s těmito emisemi by mnohonásobně převyšovaly náklady spojené se zákazem PFAS (cit.⁴⁷).

4. Závěr

Rozsah omezení PFAS je jedním z nejrozsáhlejších regulačních opatření v historii EU, zaměřeným na více než 10 000 látek s cílem významně snížit jejich uvolňování do životního prostředí. Tato regulace bude mít značné ekonomické a sociální dopady, protože mnoho společností bude muset hledat alternativní materiály a technologie. Současně využití PFAS je velmi rozmanité. Zatímco ve spotřebitelských výrobcích je jejich náhrada často relativně snadná, v průmyslových procesech může být tento proces složitější a vyžaduje důkladné posouzení technických

vlastností. Primárním cílem by měla být spolupráce mezi výrobci, uživateli, vládními orgány a dalšími zainteresovanými stranami, aby proces postupného nahrazování PFAS a hodnocení alternativ probíhal transparentně a konzistentně. Při řešení otázky PFAS je důležité zamyslet se nad širším kontextem výroby perzistentních látek. Namísto produkce dalších chemikálií, které se nikdy nerozloží, by se vědci měli zaměřit na vývoj látek, které jsou po použití přirozeně rozložitelné. Tento přístup je v souladu s principy zelené chemie, které již několik desetiletí podporují vývoj udržitelnějších chemických látek. Tímto způsobem můžeme nejen řešit problém PFAS, ale také předcházet vzniku podobných environmentálních výzev v budoucnosti.

LITERATURA

- Wang Z. a 11 spoluautorů: *Environ. Sci. Technol.* 55, 15575 (2021).
- Saleh N. B., Khalid A., Tian Y., Ayres C., Sabaraya I. V., Pietari J., Hanigan D., Chowdhury I., Apul O. G.: *Environ. Sci.: Water Res. Technol.* 5, 198 (2019).
- Glüge J., Scheringer M., Cousins I. T., DeWitt J. C., Goldenman G., Herzke D., Lohmann R., Ng C. A., Trier X., Wang Z.: *Environ. Sci.: Processes Impacts* 22, 2345 (2020).
- Butt C. M., Muir D. C. G., Mabury S. A.: *Environ. Toxicol. Chem.* 33, 243 (2014).
- Bruton T. A., Sedlak D. L.: *Chemosphere* 206, 457 (2018).
- Kwiatkowski C. F. a 15 spoluautorů: *Environ. Sci. Technol. Lett.* 7, 532 (2020).
- Martin J. W., Mabury S. A., Solomon K. R., Muir D. C. G.: *Environ. Toxicol. Chem.* 22, 196 (2003).
- Mudumbi J. B. N., Ntwampe S. K. O., Matsha T., Mekuto L., Itoba-Tombo E. F.: *Environ. Monit. Assess.* 189, 402 (2017).
- Hu X. C. a 11 spoluautorů: *Environ. Sci. Technol. Lett.* 3, 344 (2016).
- Cathey A. L., Nguyen V. K., Colacino J. A., Woodruff T. J., Reynolds P., Aung M. T.: *J. Exposure Sci. Environ. Epidemiol.* 33, 687 (2023).
- Ernst A., Brix N., Lauridsen L. L. B., Olsen J., Parner E. T., Liew Z., Olsen L. H., Ramlau-Hansen C. H.: *Environ. Health Perspect.* 127, 017004 (2019).
- Midgett K., Peden-Adams M. M., Gilkeson G. S., Kamen D. L.: *J. Appl. Toxicol.* 35, 459 (2015).
- Yao W., Xu J., Tang W., Gao C., Tao L., Yu J., Lv J., Wang H., Fan Y., Xu D.-X.: *Environ. Int.* 177, 108014 (2023).
- Das K. P., Grey B. E., Rosen M. B., Wood C. R., Tatum-Gibbs K. R., Zehr R. D., Strynar M. J., Lindstrom A. B., Lau C.: *Reprod. Toxicol.* 51, 133 (2015).
- Rockwell C. E., Turley A. E., Cheng X., Fields P. E., Klaassen C. D.: *Clin. Exp. Pharmacol.* (2013). doi: 10.4172/2161-1459.S4-002.
- Schrenk D., Bignami M., Bodin L., Chipman J. K., del Mazo J., Grasl-Kraupp B., Hogstrand C., Hoogenboom L., Leblanc J. C.: *EFSA J.* 18, e06223 (2020).
- Li F., Duan J., Tian S., Ji H., Zhu Y., Wei Z., Zhao D.: *Chem. Eng. J.* 380, 122506 (2020).
- Schlezing J., Puckett H., Oliver J., Nielsen G., Heiger-Bernays W., Webster T.: *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 405, 115204 (2020).
- Salihovic S., Dickens A., Schoultz I., Fart F., Sinisalu L., Lindeman T., Halfvarsson J., Oresic M., Hyötyläinen T.: *ChemRxiv.* (2019). doi:10.26434/chemrxiv.9772499.v1.
- Campos Pereira H., Ullberg M., Kleja D. B., Gustafsson J. P., Ahrens L.: *Chemosphere* 207, 183 (2018).
- Lohmann R. a 12 spoluautorů: *Environ. Sci. Technol.* 54, 12820 (2020).
- Ball J. C., Wellington T. J.: *Air Waste* 43, 1260 (1993).
- Boutonnet J. C. a 14 spoluautorů: *Hum. Ecol. Risk Assess.: Int. J.* 5, 59 (1999).
- Miner K. R., Clifford H., Taruscio T., Potocki M., Solomon G., Ritari M., Napper I. E., Gajurel A. P., Mayewski P. A.: *Sci. Total Environ.* 759, 144421 (2021).
- Ackerman Grunfeld D., Gilbert D., Hou J., Jones A. M., Lee M. J., Kibbey T. C. G., O'Carroll D. M.: *Nat. Geosci.* 17, 340 (2024).
- Cousins I. T., Johansson J. H., Salter M. E., Sha B., Scheringer M.: *Environ. Sci. Technol.* 56, 11172 (2022).
- Munoz G. a 13 spoluautorů: *Environ. Sci. Technol.* 56, 6056 (2021).
- Ahmadireskety A., Da Silva B. F., Robey N. M., Douglas T. E., Aufmuth J., Solo-Gabriele H. M., Yost R. A., Townsend T. G., Bowden J. A.: *Environ. Sci. Technol.* 56, 6069 (2022).
- Surma M., Hliwa P., Sznajder-Katarzyńska K., Wiczowski W., Topolska J., Zieliński H.: *Environ. Toxicol. Chem.* 40, 3317 (2021).
- Androulakakis A. a 26 spoluautorů: *Chemosphere* 287, 131775 (2022).
- Groffen T., Lopez-Antia A., D'Hollander W., Prinsen E., Eens M., Bervoets L.: *Environ. Pollut.* 228, 140 (2017).
- Göckener B., Weber T., Rüdell H., Bücking M., Klossa-Gehring M.: *Environ. Int.* 145, 106123 (2020).
- Serrano L., Iribarne-Durán L. M., Suárez B., Artacho-Cordón F., Vela-Soria F., Peña-Caballero M., Hurtado J. A., Olea N., Fernández M. F., Freire C.: *Int. J. Hyg. Environ. Health* 236, 113796 (2021).
- USEPA: <https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>, staženo 29. 7. 2024.
- EWG: http://www.ewg.org/interactive-maps/pfas_contamination/, staženo 30. 7. 2024.
- Goldenman G., Fernandes M., Holland M., Tugran T., Nordin A., Schoumacher C., McNeill A.: *The cost of inaction : A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS.*

- Nordisk Ministerråd, 2019.
37. Corder A. a 17 spoluautorů: *Environ. Sci. Technol.* 58, 6616 (2024).
 38. FPP: <https://foreverpollution.eu/#>, staženo 30. 7. 2024.
 39. Johnson A., Shelton-Davenport M., Mantus E.: *Understanding, Controlling, and Preventing Exposure to PFAS: Proceedings of a Workshop in Brief*. National Academies Press, Washington, D.C. 2020.
 40. StockholmConvention: <https://chm.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PFAS/Overview/tabid/5221/Default.aspx>, staženo 30. 7. 2024.
 41. EFSA: <https://www.efsa.europa.eu/en/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>, staženo 15. 9. 2024.
 42. EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>, staženo 30. 7. 2024
 43. ECHA: <https://echa.europa.eu/cs/-/echa-receives-5-600-comments-on-pfas-restriction-proposal>, staženo 30. 7. 2024.
 44. ECHA: <https://echa.europa.eu/cs/-/next-steps-for-pfas-restriction-proposal>, staženo 30. 7. 2024.
 45. ECHA: <https://echa.europa.eu/documents/10162/f605d4b5-7c17-7414-8823-b49b9fd43aea>, staženo 31. 7. 2024.
 46. Wollin K.-M. a 10 spoluautorů: *Arch. Toxicol.* 97, 3305 (2023).
 47. ECHA-Events: <https://echa.europa.eu/cs/-/next-steps-for-pfas-restriction-proposal>, staženo 30. 7. 2024.
 48. Cousins I. T. a 11 spoluautorů: *Environ. Sci.: Processes Impacts* 21, 1803 (2019).

L. McGachy, J. Kroužek, and R. Škarohlíd
(*Department of Environmental Chemistry, University of Chemistry and Technology Prague, Czech Republic*):
Persistent Organic Pollutants PFAS: Challenges, Impacts and Legislative Measures

In February 2023, the European Chemicals Agency (ECHA) announced that it has an expected detailed proposal for the restriction of more than 10,000 per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) under the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) Regulation. The national authorities of Denmark, Germany, the Netherlands, Norway and Sweden submitted the proposal after identifying risks in the production, marketing and use of PFAS. In their view, the substances are not sufficiently controlled and need to be addressed at EU level. This article focuses on the implications of the proposed restriction of PFAS for consumers and markets, analysing the possible impacts on industry and everyday life. It also discusses the occurrence of PFAS in the environment and the impact of these persistent compounds on human health and the environment.

Keywords: PFAS, forever chemicals, contamination, health risks, regulation, REACH



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.