

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**  
Ochrana životního prostředí



**Natálie Jacková**

**Problematika přítomnosti perfluorovaných a polyfluorovaných alkylových látek  
(PFAS) v oděvech**

*The presence of perfluorinated and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) in clothing*

Bakalářská práce

Vedoucí práce/Školitel:  
Prof. RNDr. Tomáš Cajthaml, PhD., DSc.

Praha, 2024

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 29. července 2024

Natálie Jacková

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala především vedoucímu této bakalářské práce prof. RNDr. Tomáš Cajthaml, PhD., DSc. za směřování celé práce, udílení cenných rad a trpělivé zodpovídání mých dotazů. Obrovské díky také patří mé rodině a přátelům za psychickou podporu, kterou mi poskytovali po celou dobu při zhotovování této práce.

## **Abstrakt**

Per- a polyfluorované alkylované látky (PFAS) jsou synteticky vyráběné sloučeniny, které jsou spojovány s negativními účinky na lidské zdraví a perzistencí v životním prostředí. Tato práce se zaměřuje na textilní oděvy ošetřené chemikáliemi PFAS a zkoumá potenciální environmentálně šetrnější alternativy. Bylo prokázáno, že chemikálie PFAS jsou stále dominantní na trhu s voděodolnými úpravami materiálu. Existuje přitom velké množství alternativ, které by pravděpodobně mohly se stejnou účinností PFAS nahradit, a být udržitelnější pro budoucí generace. Identifikace PFAS v textilních výrobcích je však pro spotřebitele obtížná, což komplikuje snahu vyhnout se těmto látkám při nákupu oděvů. Současné metody likvidace textilních oděvů ošetřených látkami PFAS, jako je skládkování a tepelná likvidace, se ukazují jako problematické a mohou být neefektivní při úplném odstranění těchto chemikálií. Problematika přítomnosti PFAS v oděvech představuje řadu výzev nejen z hlediska oběhového hospodářství, ale také z pohledu zajištění bezpečné likvidace těchto materiálů. Z této práce plyne doporučení nezbytného zákazu všech látek ze skupiny PFAS jakožto prvního kroku k řešení celé problematiky.

**Klíčová slova:** PFAS, perzistentní látky, mikropolutanty, textil, oděv, toxicita, outdoor

## **Abstract**

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are synthetically manufactured compounds that are associated with negative effects on human health and environmental persistence. This work focuses on textile garments treated with PFAS chemicals and explores potential environmentally friendly alternatives. It has been demonstrated that PFAS chemicals still dominate the market for water-resistant material treatments. However, there are numerous alternatives that could potentially replace PFAS with similar effectiveness and be more sustainable for future generations. Identifying PFAS in textile products is difficult for consumers, complicating efforts to avoid these substances when purchasing clothing. Current methods of disposing of textile garments treated with PFAS, such as landfilling and thermal disposal, have proven problematic and may be ineffective in completely removing these chemicals. The presence of PFAS in clothing poses various challenges not only in terms of circular economy but also in ensuring the safe disposal of these materials. This work recommends the necessary ban of all PFAS substances as a first step towards addressing the entire issue.

..

**Keywords:** PFAS, persistent substances, micropollutants, textile, clothing, toxicity, outdoor

# Obsah

Seznam zkratk.....	1
Úvod.....	3
1. Per- a polyfluoroalkylované sloučeniny (PFAS).....	5
1.1. Historie a vývoj.....	6
1.2. Životní cyklus.....	6
1.3. Toxicita.....	9
1.3.1. Reprodukční toxicita.....	9
1.3.2. Hepatotoxicita.....	10
1.3.3. Imunotoxicita.....	10
2. Legislativní rámec a regulace PFAS.....	12
2.1. Limity v potravinách.....	12
2.2. Limity v pitné vodě.....	13
2.3. Limity v povrchových a podzemních vodách.....	14
2.4. Limity v komunálních a průmyslových vodách.....	14
3. Textilní průmysl a jeho dopad na životní prostředí.....	16
4. PFAS v textilních oděvech.....	18
4.1. Impregnace.....	21
4.2. Způsoby uvolňování látek PFAS z oděvů do životního prostředí.....	22
5. Potenciální alternativy za momentálně používané PFAS.....	23
6. Problematika odstranění textilního oděvu ošetřeného chemikáliemi PFAS.....	26
Závěr.....	28
Použitá literatura.....	30

## Seznam zkratk

- AFFFs – pěnotvorné hasivo tvořící vodní film (z angl. aqueous film-forming foams)
- ATSDR – Agentura pro toxické látky a registraci chorob (z angl. Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
- ČOV – čistírna odpadních vod
- D4 – elektrochemická fluorace (z angl. electrochemical fluorination)
- D4 – oktamethylcyklotetrasiloxan (z angl. octamethylcyclotetrasiloxane)
- D5 – dodekamethylcyklopentasiloxan (z angl. decamethylcyclopentasiloxane)
- D6 – dodekamethylcyklohexasiloxan (z angl. dodecamethylcyclohexasiloxane)
- EFSA – Evropský úřad pro bezpečnost potravin (z angl. European Food Safety Authority)
- ECHA – Evropská agentura pro chemické látky (z angl. The European Chemicals Agency)
- EU – Evropská unie
- FTOH – fluorotelomerní alkoholy
- HFPO-DA – kyselina 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propanová (z angl. hexafluoropropylene oxide dimer acid)
- HI – index nebezpečí (z angl. hazard index)
- HPV – chemikálie s vysokým objemem výroby HPV (z angl. high production volume)
- MCL – maximální úroveň kontaminantů (z angl. maximum contaminant level)
- MCLG – maximální hladina kontaminantu v pitné vodě (z angl. maximum contaminant level goal).
- NAFLD – steatóza (z angl. nonalcoholic fatty liver disease)
- OECD – Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (z angl. Organisation for Economic Co-operation and Development)
- PDMS – polydemethylsiloxan
- PFAA – perfluorované alkylové kyseliny (z angl. perfluorinated alkyl acids)
- PFAS – per- a polyfluoroalkylované sloučeniny (z angl. per- and polyfluoroalkyl substances)
- PFBS – kyselina perfluorbutansulfonové (z angl. perfluorobutanesulfonic acid)
- PFC – fluorokarbon (z angl. perfluorocarbon)
- PFHxS – perfluorohexansulfonová kyselina (z angl. perfluorohexanesulfonate)
- PFNA – perfluorononanová kyselina (z angl. perfluorononanoic acid)

PFOA – polyfluorookranová kyselina (z angl. perfluorooctanoic acid)

PFOS – perfluoroktansulfonová kyselina (z angl. perfluorooctane sulfonate)

POPs – perzistentní organické látky (z angl. persistent organic pollutants)

PTFE – polytetrafluorethylen (z angl. polytetrafluoroethylene)

SDWA – Zákon o bezpečné pitné vodě (z angl. The Safe Drinking Water Act)

SCHEER – Vědecký výbor pro zdravotní, environmentální a vznikající rizika (z angl. Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks)

SVHC – Seznam látek vzbuzující mimořádné obavy SVHC (z angl. substances of very high concern)

TWI – týdenní akceptovatelný příjem (z ang. tolerable weekly intake)



## Úvod

Per- a polyfluorované alkylované látky (PFAS) skupinou synteticky vyráběných chemických látek, jejichž počet momentálně stanovený na 12 tisíc položek, každoročně stoupá (Banks et al., 2013; EPA, 2023). Vyrábět se začaly od 40. let 20. století a postupně byly rozšířeny do všech průmyslových odvětví (Shen et al., 2023). Atraktivitu si získaly především díky vlastnostem snižujícím povrchové napětí a zároveň hydrofobicitě a oleofobicitě, což zvyšuje odolnost impregnovaných materiálů vůči skvrnám (Rodgers et al., 2022a). Tyto unikátní vlastnosti, které jsou charakteristické velmi silnou vazbou mezi uhlíkem a fluorem (O'Hagan, 2008), však vykazují velké množství problémů. Látky PFAS jsou perzistentní, termicky i chemicky velmi stabilní, a je prakticky nemožné je odstranit ze životního prostředí (Wang & Buck, 2021). O dekády poté, co byly uvedeny na trh, začaly vznikat první studie prokazující negativní účinky látek PFAS na lidský organismus (Hayes, 2019). Jsou hepatotoxické, imunotoxické, aneurotoxické, nepříznivě působí také na kardiovaskulární systém a jsou spojovány se zvýšeným rizikem vzniku rakoviny (ATSDR, 2024). Přesto však stále nejsou známy molekulární mechanismy jejich toxicity (Peritore et al., 2023). S těmito věčnými chemikáliemi, jak jsou látky PFAS také kvůli perzistenci nazývány, přichází člověk do prvního kontaktu již před jeho narozením v děloze matky (Fábelová et al., 2023), a poté se s nimi setkává denně např. při konzumaci pitné vody, jídla nebo při styku s různými produkty či materiály.

Klíčovou roli hrají chemikálie PFAS v textilním průmyslu. Textilní průmysl, který je obecně považován za jednoho z největších průmyslových znečišťovatelů, používá až polovinu celosvětově vyrobeného množství těchto chemikálií (Lassen et al., 2015). Díky hydrofobním vlastnostem jsou aplikovány na povrchy oděvů, s cílem zabránit pronikání vody skrz materiál a učinit oděv nepromokavým nebo voděodolným, ale zároveň zachovat jeho prodyšnost (Van Der Veen et al., 2022). Nejčastěji se používají na textilní oděvy sloužící k outdoorovým aktivitám, které uživatele chrání před promočením, nebo se nanášejí na ochranné oděvy a zajišťují bezpečnost uživatele před jinými nepříznivými vlivy (Watkins, 1984). Bylo prokázáno, že právě nošením těchto oděvů se uživatelé vystavují větším rizikům vniknutí těchto látek do jejich organismu (CEC, 2017a). Navíc se působením povětrnostních vlivů jako je sluneční záření, vítr či déšť, dostávají látky PFAS z textilních oděvů do životního prostředí, kde díky mohou degradovat např. na perzistentní perfluorované alkylové kyseliny (PFAA, z angl. perfluorinated alkyl acids) (Schellenberger et al., 2022). Běžným užíváním oděvů, údržbou

nebo praním dále dochází ke ztrátám mikrovláken či dalších drobných fragmentů. Textilní oděvy tak představují významný zdroj znečištění životního prostředí látkami PFAS.

Zatížení životního prostředí látkami PFAS a jejich toxicitu zohledňují také výrobci textilních oděvů, kteří vyřazují věčné chemikálie ze své výroby a nahrazují je alternativními povrchovými úpravami materiálů (Verbič et al., 2024). Dominantní postavení však stále zaujímají látky PFAS a doposud nedošlo k jejich plošnému zákazu.

Cílem práce je syntéza aktuálně dostupných informací o přítomnosti látek PFAS v textilních oděvech, včetně jejich kritického zhodnocení a posouzení potenciálních alternativ povrchových úprav textilních oděvů.

## 1. Per- a polyfluoroalkylované sloučeniny (PFAS)

Fluorované látky jsou obecně definovány jako skupina organických a anorganických látek, které obsahují alespoň jeden atom fluoru a mají velmi rozdílné chemické, fyzikální a toxikologické vlastnosti (Banks et al., 2013). Pod tuto skupinu se řadí fluorokarbony (PFC, z angl. perfluorocarbon), které obsahují 1 nebo více atomů C a kde je vazba C-H nahrazena vazbou C-F (Buck et al., 2011). Fluor je nejreaktivnějším prvkem periodické tabulky. Pokud je navázán na uhlík, vazba uhlík-fluor je jednou z nejsilnějších vazeb v organické chemii (O'Hagan, 2008).

Dle Wang et al. (2021) jsou PFAS ( $C_nF_{2n+1}-R$ ) definovány jako fluorované látky, které obsahují alespoň jeden plně fluorovaný atom uhlíku methyly nebo methyleny (bez připojeného atomu H/Cl/Br/I), tj. až na několik výjimek, jakákoliv chemická látka s alespoň jednou perfluorovanou methylovou ( $-CF_3$ ) nebo perfluorovanou methylenovou skupinou ( $-CF_2-$ ). Zmíněné výjimky odkazují na atom uhlíku s připojeným atomem H/Cl/Br/I (Wang, Zhanyun & Buck 2021).

Dělí se podle délky řetězců na krátké a dlouhé. PFAS s dlouhými řetězci jsou označovány jako perfluoroalkylsulfonové kyseliny a obsahují  $\geq 6$  uhlíků, mezi nejznámější zástupce se řadí kyselina perfluoroktanová (PFOA, z angl. perfluorooctanoic acid) nebo perfluoroktansulfonová (PFOS, z angl. perfluorooctane sulfonate). Jedná se pravděpodobně o nejtoxičtější a nejtrvalejší PFAS. Jako alternativy se k nim začaly vyrábět PFAS s krátkým řetězcem, které mají  $\leq 5$  uhlíků. Některé ze sloučenin s krátkým řetězcem jsou méně perzistentní a toxické než homology s řetězcem dlouhým, není to však pravidlem. (AWWA, 2020; Kempisty & Racz, 2021)

PFAS jsou látky antropogenního původu, které jsou též známy pod názvem „věčné chemikálie“ související s jejich vysokou perzistencí v organismech i životním prostředí (Joudan & Lundgren, 2022). Tyto organické polutanty se vyznačují nízkým povrchovým napětím a schopností migrovat na velké vzdálenosti (Kissa, 2001). Mají amfifilní charakter, vysokou termální, chemickou a biochemickou stabilitu (Kempisty & Racz, 2021). V přírodních podmínkách je vazba C-F vysoce stabilní a podílí se na perzistenci sloučenin (Wang, Zhanyun & Buck, 2021). Díky svým vlastnostem jsou hojně využívány v produktech denní potřeby (ECHA, 2023). Povrchové materiály po aplikaci PFAS získají jedinečné vlastnosti jako je odolnost vůči vodě, skvrnám nebo oleji (Rodgers et al., 2022).

## 1.1. Historie a vývoj

V USA byly PFAS syntetizovány ve 30. letech 20. století (Gaines, 2023). V následujících čtyřicátých a padesátých letech se komerčně rozšířili do různých průmyslových odvětví na mezinárodní úrovni (Shen et al., 2023). Primárními výrobci se staly firmy 3M a DuPont. Firma 3M v roce 1947 zavedla do výroby sloučeninu PFOA, jejíž patent od ní o 4 roky později v roce 1951 odkoupila společnost DuPont. DuPont ji následovně začala používat při vlastní výrobě polytetrafluoroethylenu (PTFE, z angl. polytetrafluoroethylene), který nese komerční název teflon (Konwinski, Kyle P et al., b.r.). Již v 50. letech byla firmou 3M provedena studie poukazující na vyskytování PFAS v krevním oběhu. V letech sedmdesátých bylo společností prokázáno, že se PFAS hromadí v krvi Amerických občanů. Následující roky zjistili častý výskyt rakoviny u svých vlastních zaměstnanců obě společností (Hayes, 2019). DuPont čelí kvůli zanedbání důkazů, které prokazují škodlivost PFOA na lidské zdraví, celé řadě občanských i státních obžalob, a je donucen zaplatit vysoké finanční kompenzace v řádu stamiliónů dolarů všem postiženým (Lanková et al., 2011).

Detekce vzorků ze životního prostředí byla možná až s komerční dostupností analytických metod začátkem 21. století (EPA, 2021b). Pozorovány byly především nárůsty perfluoralkylovaných kyselin s dlouhým řetězcem (např. u PFAA) (Ng et al., 2021). Od té doby jsou analytické metody pro detekci PFAS neustále vyvíjeny.

## 1.2. Životní cyklus

Hlavní dráhy šíření PFAS jsou zjednodušeně ilustrovány na Obrázku č. 1. Proces šíření PFAS začíná ve výrobních závodech. Dle EPA (2023) skupina PFAS obsahuje nad 12 000 položek a toto množství každoročně stoupá. Jsou přidávány do hasících pěn (AFFFs, z angl. aqueous film-forming foams) s cílem potlačení šíření požáru (Reinikainen et al., 2022). Do původních směsí AFFFs se využívaly výhradně PFAS s dlouhým řetězcem, zatímco v současné době se dle výrobců sestávají především z PFAS s řetězcem krátkým (Leeson et al., 2021). Aktuálně používané AFFFs obsahují komplexní směsi PFAS. Nejvíce jsou koncentrovány na hasičských výcvikových místech a průmyslových místech jejich výroby (Anderson, 2018).

Díky odolnosti proti oleji, vlhkosti a nepřílnavosti jsou PFAS hojně přidávány do potravinových obalů (Ramírez et al., 2021). Nejvyužívanější jsou látky PFOS a PFOA, které již byli základě Stockholmské úmluvy v řadě zemí vyřazeny z užívání. Namísto nich se začaly

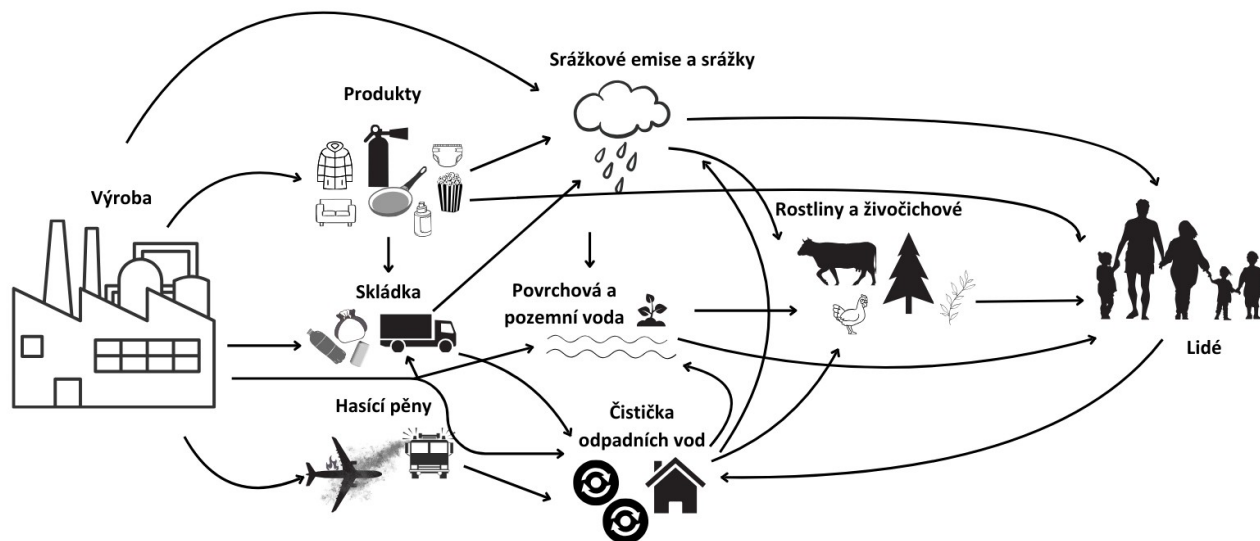
alternativně aplikovat PFAS s krátkým řetězcem. Dle Kjølholt et al. (2015) se PFAS s krátkým řetězcem vyznačují větší mobilitou a schopností migrovat z potravinových obalů přímo do potravin (Costello & Lee, 2020).

PTFE, známý pod obchodním názvem Teflon, je používán v pánvích a dalším kuchyňském náčiní s nepřilnavým povrchem (Ramírez et al., 2021). Dále se PFAS vyskytují ve fluorovaných lyžařských voscích, které jsou díky těmto látkám schopny odpuzovat vodu ze skluznice lyže a umožňují lepší skluz po sněhu (Carlson & Tupper, 2020). V neposlední řadě lze nalézt v produktech osobní hygieny jako jsou hygienické vložky, kosmetika, tampony, papírové pleny, toaletní papír nebo v menstruačních kalíšcích, které přicházejí do styku s lidskými reprodukčními orgány přímo při jejich používání (Thompson et al., 2023; Zhou et al., 2023).

Vyprodukovanými komerčními výrobky jsou látky PFAS okamžitě transportovány a distribuovány do životního prostředí (Kempisty & Racz, 2021). Vysoké koncentrace PFAS byly zjištěny také v domácnostech. Produkty ošetřené PFAS zahrnovaly například nábytek, nádobí, pohovky, oblečení, nátěry, čisticí prostředky či koberce. Eichler et al. (2023) ve studii probíhající 9 měsíců zjistil, že ve vzduchu 11 domácností v Severní Karolíně byly zjištěny zvýšené koncentrace PFAS, zejména fluorotelomerních alkoholů 8:2 (8:2 FTOH) vykazující toxické účinky (Kong et al., 2019).

Uvolňovány jsou také na skládkách komunálního odpadu (Coffin et al., 2023), atmosférickým transportem a skrze mokrou depozici (Olney et al., 2023). Dále se šíří povrchovými a podzemními vodami (Tokranov et al., 2021) do čističek odpadních vod (Coggan et al., 2019). Jsou bioakumulovány v rostlinných i živočišných tkáních (Lesmeister et al., 2021; Savoca & Pace, 2021). Dle Müller et al. (2016) se v rostlinách bioakumulují prostřednictvím kombinace procesů příjmu kořenovým systémem, translokace a sorpce v biomase. Vyšší koncentrace PFAS byly dokázány také u hospodářských zvířat či u mořských plodů (Haug et al., 2010). Přenos probíhá z exponovaných zvířat na vlastní potomstvo, ale také na vejce, maso a mléčné produkty (Death et al., 2021). Nejvýznamnější zdrojem lidské expozice je příjem potravy a vody. Dle studie Roth et al. (2020) může západní strava s vysokým obsahem tuku a cholesterolu přispět k expozici PFAS a zhoršit související zdravotní účinky. Výsledky výzkumu na hispánských mladých dospělých podle Hampson et al. (2024) naznačují, že stravovací návyky, příjem tekutin i zdroje potravin či nápojů jsou spojeny s rozdílnými hladinami PFAS. Potravinou jako je zpracované maso, chipsy, sportovní nápoje, bonbóny, máslo či hotová jídla

v donáškových obalech mohou zvyšovat množství PFAS dostávající se do našich těl (Hampson et al., 2024).



Obrázek 1: Hlavní dráhy šíření PFAS (upraveno dle Kempisty & Racz, 2021)

S šířením látek PFAS v rámci životního prostředí a lidského organismu také úzce souvisí socioekonomické dopady, které vyžadují značné investice do nápravných opatření. Celosvětově je dle Goldenmana et al. (2019) odhadováno, že se v evropském zdravotnictví investuje 52 až 84 miliard eur za rok na léčbu onemocnění pravděpodobně způsobených PFAS. V České republice je více než 300 tisíc lidí postiženo jejich dopady na organismus (Goldenman et al., 2019). Břemeno nákladů nenese strůjce způsobených problémů tedy znečišťovatel nebo výrobci, ale daňoví poplatníci a poskytovatelé zdravotní péče (Cordner et al., 2021). Rozsáhlým problémem jsou také nepřímé sociální dopady, jejichž hodnota lze obtížně stanovit. Zahrnují ušlou mzdu, sníženou kvalitu života, zvýšený stres, úzkost a deprese, ztracené roky života nebo následné dopady na rodinu či blízké (Cordner et al., 2021).

Dnes jsou látky PFAS všudypřítomně rozšířeny v životním prostředí, biotě či lidech po celém světě (EPA, 2021b; Glüge et al., 2020). Byly nalezeny v odlehlých oblastech Arktidy (Bossi et al., 2005), pouštích Nového Mexika (Witt et al., 2024) nebo základních táborech Mount Everestu (Miner et al., 2021).

### 1.3. Toxicita

PFAS vstupují do těla pozřením, vdechnutím nebo pokožkou (Ragnarsdóttir et al., 2022). Toxicitě PFAS je však lidský organismus vystaven ještě před narozením. Studie dle Lu et al. (2021) potvrzuje, že PFAS mohou procházet placentou matky. Jedinec je vystaven PFAS také v mateřském mléce, potravě, produktech denní potřeby nebo životním prostředím (Fábelová et al., 2023).

V krevním séru jsou PFAS převážně proteinofilní (Ng et al., 2021). Za hlavní nosný protein těchto látek je označován albumin, na který se váže více než 90 % PFAS (Forsthuber et al., 2020; Han et al., 2003). Dále jsou to bílkoviny, které jsou schopné navázat mastné kyseliny a transportéry organických aniontů (Ng et al., 2021). Díky své biochemické stálosti mají schopnost hromadit se v těle a přesouvat se z krevní plazmy do tkání s bohatším krevním zásobením jako jsou játra, plíce, ledviny a kostní dřev (Jensen & Leffers, 2008; Pérez et al., 2013).

Stejně jako ostatní chemikálie jsou PFAS schopné vyvolat nepříznivé účinky v závislosti na okolnostech expozice (velikost, trvání a způsob expozice atd.) a faktorech (zdravotní stav, genetická predispozice, etnicita a další) (Fenton et al., 2021). Dle ATSDR (2021) mohou některé PFAS setrvat v lidském těle dlouhou dobu. Biologický poločas chemické látky neboli doba, za kterou je 50 % z ní metabolizováno a/nebo vyloučeno z těla po ukončení expozice, se liší podle chemického druhu látky (ATSDR, 2021). Například PFOA může zůstat v organismu od 2,1 do 10,1 let, zatímco PFOS až 27 let (ATSDR, 2021). U některých polymerních PFAS se poločas rozpadu v půdě odhaduje na více než 1 000 let (Russell et al., 2008).

Studiemi bylo opakovaně prokázáno, že PFAS mají negativní dopady na lidské zdraví, avšak stále nejsou známy molekulární mechanismy jejich toxicity (Peritore et al., 2023). Nepříznivé zdravotní účinky mají vliv na nervový, imunitní, jaterní, kardiovaskulární a endokrinní systém a představují zvýšenou hrozbu rakoviny (ATSDR, 2024).

#### 1.3.1. Reprodukční toxicita

Nepříznivé efekty jsou spojovány také s reprodukčním systémem. U žen PFAS s krátkým i dlouhým řetězcem narušují normální reprodukční funkci tím, že ovlivňují změnu sekrece hormonů, průběh menstruačního cyklu či plodnost (Rickard et al., 2022). U mužů ukázaly epidemiologické studie nepříznivý vliv PFAS, zejména kyseliny PFOA a PFOS, na parametry

spermatu. Nepříznivě ovlivňují tvorbu spermatu, včetně počtu spermií, jejich morfologii, pohyblivost, kvalitu a dále vedou ke snížené produkci testosteronu (Sun et al., 2023; Tarapore & Ouyang, 2021).

Vzhledem k vysoké koncentraci proteinů v mateřském mléce, jako je např. albumin, jsou PFAS detekovány i v těchto vzorcích (Lu et al., 2021). Přenos PFAS skrz placentu je umožněn pasivní difúzí či aktivním transportem (Chen et al., 2017). Současné výzkumy ukazují, že snížená funkce placenty způsobená látkami PFAS, může mít nepříznivý vliv na těhotenství a porod (Blake & Fenton, 2020). Nežádoucí výsledky zahrnují například prodlouženou dobu těhotenství, nízkou porodní hmotnost novorozence, zkrácenou dobou kojení nebo hypertenzní poruchy v těhotenství (Ashley-Martin et al., 2016; Bach et al., 2016; Huang et al., 2019; Johnson et al., 2014).

### 1.3.2. Hepatotoxicita

Studie na zvířatech již několikrát označily játra za akumulární ohnisko toxických PFAS, akumulace v lidských játrech je však stále nejasná (Baumert et al., 2023). Experimentální důkazy naznačují, že expozice PFAS, ovlivňující endokrinní systém, může vyvolat metabolické změny, které přispívají k steatóze (NAFLD, z angl. z angl. nonalcoholic fatty liver disease) na (Foulds et al., 2017). Dle Estese et al. (2018) NAFLD postihuje přibližně čtvrtinu světové populace a do roku 2030 může být touto nemocí postižena až třetina všech dospělých v USA. PFAS negativně ovlivňují činnost jater, zejména u jedinců s rizikovými faktory pro jaterní onemocnění (obezita, nadměrná konzumace alkoholu, strava s vysokým obsahem tuků) (Zhang et al., 2023).

### 1.3.3. Imunotoxicita

Zvýšené koncentrace některých druhů PFAS jsou spojovány s imunotoxicitou a zvýšeným výskytem autoimunitních onemocnění v lidské populaci (Guillette et al., 2022). Guillette et al. (2022) prokázali zvýšenou hodnotu PFAS v krevním séru chráněných aligátorů, kteří žijí v povodí řeky Cape Fear kontaminováno PFAS. Tyto zvýšené koncentrace byly spojeny s narušenou imunitní funkcí a autoimunitními fenotypy u aligátorů (Guillette et al., 2022). Tato práce rozšiřuje poznatky z experimentálních modelů a epidemiologických studií u lidí, které naznačují, že některé PFAS mohou být škodlivé pro jejich imunitní systém.

Poukazováno je také na potlačení protilátkových reakcí organismu po očkování (Zhang et al., 2022). Také bylo zjištěno, že expozice PFAS přispívá ke zhoršení průběhu infekce COVID-19



(Grandjean et al., 2020). Dále jsou spojovány s alergiemi (Kvalem et al., 2020), astmatem (Mattiuzzi & Lippi, 2020) či chronickými autoimunitními onemocněními (Guillette et al., 2022). Z chronických autoimunitních onemocnění se jedná například o ulcerózní kolitidu (Steenland et al., 2018) nebo zvýšené riziko rakoviny štítné žlázy (Van Gerwen et al., 2023).

## 2. Legislativní rámec a regulace PFAS

Koncem roku 2002 společnost 3M, hlavní producent PFOS, dobrovolně vyřadila většinu této chemikálie z výroby. Kompletní vyřazení bylo dokončeno kolem roku 2008 (USEPA, 2017). V roce 2006 uzavřelo osm dalších výrobců dohodu o postupném zastavení celosvětové výroby PFOA (Lu et al., 2020). V téže roce Evropská unie přijala *Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2006/122/ES*, které omezuje výrobu a používání PFOS (Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/122/ES, 2006).

Globálně je omezena nebo zakázána výroba a používání tří představitelů z kategorie PFAS. Konkrétně se jedná o PFOS, PFOA a kyselinu perfluorohexansulfonovou (PFHxS, z angl. perfluorohexanesulfonate). Eliminace těchto látek byly možné díky Stockholmské úmluvě. Stockholmská úmluva je mezinárodní dohoda mezi signatářskými státy, které se zavazují omezit či zakázat nejvýznamnější perzistentní organické látky (POPs, z angl. persistent organic pollutants), s cílem chránit lidské zdraví a životní prostředí (Lallas, 2001). V roce 2009 byly kyselina a soli PFOS zařazeny do přílohy B Stockholmské úmluvy s cílem omezit (nikoli zakázat) jejich užívání především v zemích, které jejich průmyslové využívání dříve neregulovaly (Mokra, 2021). Do přílohy A, zaštiťující látky zakázané, byly zařazeny PFOA a její soli v roce 2019 a PFHxS v roce 2022 (Stockholm Convention, n. d.). Existují však výjimky, kdy je možné tyto látky stále využívat v případech, kdy na trhu není vhodná alternativa (UNEP, 2017). Do pětileté výjimky pro použití PFOA jsou zahrnuty textilie, které mají za cíl chránit zaměstnance před riziky pro jejich zdraví a bezpečnost, dále se vztahuje na výrobu některých polovodičů nebo na invazivní a implantabilní zdravotnické prostředky, včetně zdravotnických textilií (UNEP, 2017).

Jednotlivé státy se podílejí na řešení problematiky PFAS regulacemi a úpravou legislativy (stanovení limitů a zákazů) a omezují je dle nařízení REACH. Nařízení EPA v USA provádí a dozoruje sanaci míst, které byli kontaminovány PFAS v rámci jejich programu Superfund a dále provozují monitorovací programy ke sledování úrovní PFAS v životním prostředí, lidské populaci a potravinách (Dean et al., 2020).

### 2.1. Limity v potravinách

V roce 2020 Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA, z angl. European Food Safety Authority) publikoval vědecké posouzení zdravotních rizik spojených s přítomností PFAS v

potravinách. Týdenní akceptovatelný příjem (TWI, z angl. tolerable weekly intake) dle EFSA 4,4 ng/kg tělesné hmotnosti (EFSA, 2020). Na konci listopadu roku 2023 poslanci schválili usnesení týkající se nových pravidel EU pro obaly s cílem podpory opakovaného použití a recyklace (European Parliament, 2023b). Dle Nařízení Komise EU 2023/915 budou zavedeny maximální limity pro PFAS v potravinách (Commission Regulation, 2023). Z obalů určených pro styk s potravinami by měly být vyřazeny látky PFAS i chemická organická sloučenina bisfenol A, u které byla prokázána estrogenní aktivita (European Parliament, 2023b; Krishnan et al., 1993).

## 2.2. Limity v pitné vodě

Dle výzkumu Andrews & Naidenko (2020) je odhadováno, že více než 200 milionů Američanů pravděpodobně přijímá pitnou vodu kontaminovanou látkami PFAS. Americká agentura pro ochranu životního prostředí EPA podle regulačního zákona „O bezpečné pitné vodě“ (SDWA, angl. The Safe Drinking Water Act) v roce 2023 navrhla nové standardy pro šest perfluorovaných sloučenin především PFOA, PFOS a dále pro směsi kyseliny perfluorononanové (PFNA, z angl. perfluorononanoic acid), PFHxS, kyseliny perfluorbutansulfonové (PFBS, z angl. perfluorobutanesulfonic acid) a kyseliny 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propanové (HFPO-DA, z angl. hexafluoropropylene oxide dimer acid). EPA (2023) navrhuje maximální úroveň kontaminantů (MCL, z angl. maximum contaminant level) ve výši 4,0 ng/l pro PFOA a PFOS. Pro regulaci zbývajících čtyř PFAS EPA navrhuje použít index nebezpečnosti (HI, z angl. hazard index) v hodnotě 1,0 jako maximální hladinu kontaminantu v pitné vodě (MCLG, z angl. maximum contaminant level goal) (EPA, 2023b). HI je metoda používaná pro hodnocení zdravotních rizik, která plyne z kombinované expozice více chemikáliemi (Meek et al., 2011). Pokud je HI menší než 1,0 je nepravděpodobné, že by došlo k aditivním nebo toxickým interakcím, v případě, že je HI vyšší než 1,0 signalizuje to zvýšenou pravděpodobnost toxické reakci (Hertzberg & Teuschler, 2002). V roce 2024 je stanovena nová implementace národní iniciativy agentury pro prosazování a dodržování předpisů (NECI), která vybrala 6 prioritních oblastí pro fiskální roky 2024-2027 (EPA, 2023c). V první řadě se chce soustředit na vymáhání a dodržování předpisů ohledně zmírnění změny klimatu, druhou nejvyšší národní prioritou je řešení expozice PFAS (Uhlmann, 2023).

Dle Směrnice pro pitnou vodu 2020/2184/ES je stanovena limitní hodnota na základně doporučení Světové zdravotnické organizace (WHO, z angl. World Health Organization) 0,5 µg/l pro všechny látky PFAS. Pro 20 vybraných PFAS je ve směrnici uvedena suma 0,1 µg/l (EU,

2020). V rámci Zprávy o kvalitě pitné vody v ČR za rok 2021 byl proveden plošný screening PFAS v pitné vodě na území České republiky a celkově bylo zpracováno 187 vzorků. Výsledky naznačují, že stopové znečištění látkami PFAS v ČR je prakticky všudypřítomné, jelikož nález nad mezí stanovitelnosti byl realizován u více než 90 % monitorovaných vodovodů. Státní zdravotní ústav (2021) dále došel k závěru, že suma PFAS v pitné vodě v ČR zatím nedosahuje takové úrovně, které by vedle k obavám významného překračování limitní hodnoty tohoto ukazatele v pitné vodě. Určitou obavu ohledně bezpečnosti však vyvolávají látky PFOS a PFOA, které mají nastavenou limitní hodnotu sumy PFAS dle směrnice 2020/2184 a jejichž hygienický limit by se dle posledních poznatků měl pohybovat pouze v řádu jednotek ng/l (Státní zdravotní ústav, 2021).

### 2.3. Limity v povrchových a podzemních vodách

V říjnu 2022 byl Evropskou komisí předložen návrh na revizi seznamů látek znečišťující povrchové a podzemní vody, s cílem tyto látky monitorovat a kontrolovat. Dle návrhu, který byl vyhotoven Vědeckým výborem pro zdravotní, environmentální a vznikající rizika (SCHEER, z angl. Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks) byl stanoven práh 4,4 ng/l pro skupinu 24 PFAS v podzemních i povrchových vodách a také práh pro stejné množství PFAS v biotě 0,077 µg/kg (SCHEER, 2022). Kontaminací látek PFAS v přírodních vodách (podzemních a povrchových) jsou vystavováni také volně žijící živočichové. Dle studie Semeráda et al. (2022) stačí v průměru přijmout 37 g sušeného rybího masa z dolního toku Labe, aby byl splněn tolerovaný týdenní příjem stanoven dle EFSA na 4,4 ng/kg tělesné hmotnosti PFAS pro 70 kg člověka. V září 2023 Evropský parlament souhlasil se snížením znečištění podzemních a povrchových vod a také se poslanci shodli na zlepšení norem EU pro kvalitu vody. Dále bylo usneseno, že by se výrobci produktů, které obsahují znečišťující chemické látky, měli spolupodílet na financování monitoringu látek PFAS (Evropský parlament, 2023).

### 2.4. Limity v komunálních a průmyslových vodách

V květnu roku 2023 byla vládou ČR schválena novelizace nařízení vlády č. 145/2008 Sb., která stanovuje seznam znečišťujících látek a prahových hodnot a údaje požadované pro ohlašování do integrovaného registru znečišťování životního prostředí (Vláda ČR, 2023). Díky schválení novely tohoto vládního nařízení se zpřísnila prahová hodnota 0,05 kg/rok vztahující se na celkovou sumu 20 vybraných látek ze skupiny PFAS pro ohlašování do Integrovaného

registru znečišťování (MŽP, 2023a). Povinnost ohlašování dvaceti vybraných látek ze skupiny PFAS se bude vztahovat na rok 2024 (MŽP, 2023a).

Na základě zpřísnění novelizace nařízení vlády č. 145/2008 Sb. byl proveden výzkum Váňou et al. (2023). Cílem výzkumu bylo ověřit výskyt a koncentrace látek PFAS v odpadních vodách, které jsou vypouštěny z průmyslu a komunálních čistíren v ČR s kapacitou více než 30 000 ekvivalentních obyvatel (Váňa et al., 2023). Bylo zjištěno, že ze sledovaných průmyslových subjektů byl překročen ohlašovací práh o hodnotě 0,05 kg/rok pouze u dvou z nich. U čistíren odpadních vod (ČOV) byl ohlašovací práh překročen u všech 30 sledovaných subjektů. Důvodem je vypouštění velkého objemu odpadních vod, ohlašovací práh by v tomto případě byl překročen i při nízkých koncentracích PFAS v odpadních vodách (Váňa et al., 2023)

### 3. Textilní průmysl a jeho dopad na životní prostředí

Za největší a nejvíce znečišťující průmyslové odvětví je považován textilní a obuvní průmysl. V roce 2020 bylo v EU vyprodukováno 121 milionů tun CO<sub>2</sub>, tedy 270 kg CO<sub>2</sub> na osobu (Duhoux et al., 2022). Je zaměstnavatelem milionů lidí po celém světě a každý rok generuje tržby v řádech bilionů dolarů (Sarathy, 2023). Přesto, že je vystavován řadě výzev jako je například inflace, klesající poptávka, vysoká cena energií, narušení dodavatelského řetězce, zvyšující se konkurenční tlak nebo environmentální regulace, textilní průmysl stále roste (Sarathy, 2023; Özlem et al., 2020). Kvůli rozmachu konceptu „fast fashion“, který spočívá v produkci velkého množství oblečení za nízké ceny, se dle nadace Ellen MacArthur Foundation (2017) výroba tohoto odvětví za posledních 15 let zdvojnásobila (Bick et al., 2018). Podle odhadů EEA se množství zakoupeného oblečení na osobu v EU v letech 1996-2012 zvýšilo o 40 % (Nikolina, 2019). V rámci ČR bylo v roce 2019 vyprodukováno okolo 75 tisíc tun textilního odpadu, z toho je přibližně 70 % dále využito, 20 % končí na skládkách a cca 7% je energeticky využito (MŽP, 2022).

Výroba textilií vyžaduje velké množství energie, vody a chemikálií používaných v různých výrobních procesech. V roce 2020 byl textilní sektor třetím největším zdrojem znečištění vody a půdy (European Parliament, 2023). Součástí průmyslového zpracování textilií je také barvení a potisk tkanin. Barvení textilu představuje značný problém, přičemž se odhaduje, že přispívá k 17–20 % znečištění průmyslových vod (Uddin, 2021). Samotný proces barvení spotřebuje miliony tun vody a velké množství odpadní znečištěné vody vypustí. Odpadní barevná voda obsahuje nebezpečné a toxické chemikálie, ze kterých se dále uvolňují i plynné emise do životního prostředí (Uddin, 2021). U pracovníků manipulujících s reaktivními barvivy se často projevují alergické reakce (kontaktní dermatitida, astma, zánět spojivek, rýma) nebo onemocnění jako je např. sehnání ledvin, podráždění trávicího traktu, muskuloskeletální poruchy (především bolesti zad a kloubů), chemická cystitida a genotoxicita (mutagenita a karcinogenita) (Bhattacharya et al., 2016; Hassaan & El Nemr, 2017; Lellis et al., 2019). Mezi další toxické látky v textilních oděvech způsobující alergické reakce se řadí například karcinogenní formaldehyd, který zabraňuje mačkavosti látek (Huang et al., 2021), latex (Lopata et al., 2007) nebo nikl používaný se do zipů a dalších kovových částí na oděvech (Weckmann, 2011). Evropská agentura pro chemické látky (ECHA) některé chemické látky v textilních oděvech a obuvi omezuje nebo zakazuje, například azobarviva (textilie a kožené

výrobky), chrom v oxidačním stavu VI (kožené výrobky), dimethylfumarát (používán k prevenci plísní) nebo určité ftaláty (plastová obuv) a doporučuje pořizovat oděvy s oficiálním ekologickým označením např. ekoznačkou EU (ECHA, 2024).

Uvádí se, že průměrná životnost oděvů je mezi 3,3 a 5,4 roky zahrnující aktivní i neaktivní používání (Piippo et al., 2022). Závisí však na typu oděvu, například ponožky či spodní prádlo mají životnost krátkou, zatímco oděvy sloužící ke spaní nebo svrchní oděvy mají životnost nadprůměrnou (Laitala & Klepp, 2015). Rychlé střídání módních trendů, zatížení životního prostředí či kvantita produkce oděvů převládající nad jejich kvalitou jsou jedny z hlavních důvodů, které by měly vést k urychlení přechodu na cirkulační ekonomiku. V roce 2018 byl Evropskou unií vydán balíček k oběhovému hospodářství, které členské státy musí implementovat do svých legislativ (Didier, 2018). Od 1. ledna 2021 v ČR nabyl účinnosti nový zákon o odpadech, jehož hlavními cíli je zákaz skládkování využitelného odpadu a dosažení recyklačních cílů pro recyklovatelné materiály mezi které se řadí i textil (Zákon o odpadech 541/2020 Sb., b.r.). Dle statistik MŽP (2022) textil aktuálně sbírá určitou formou cca 63 % obcí, avšak v návaznosti na nový odpadní zákon budou muset od roku 2025 české obce povinně zřizovat místa, kde mohou občané nepotřebný textil odložit (MŽP, 2023b).

#### 4. PFAS v textilních oděvech

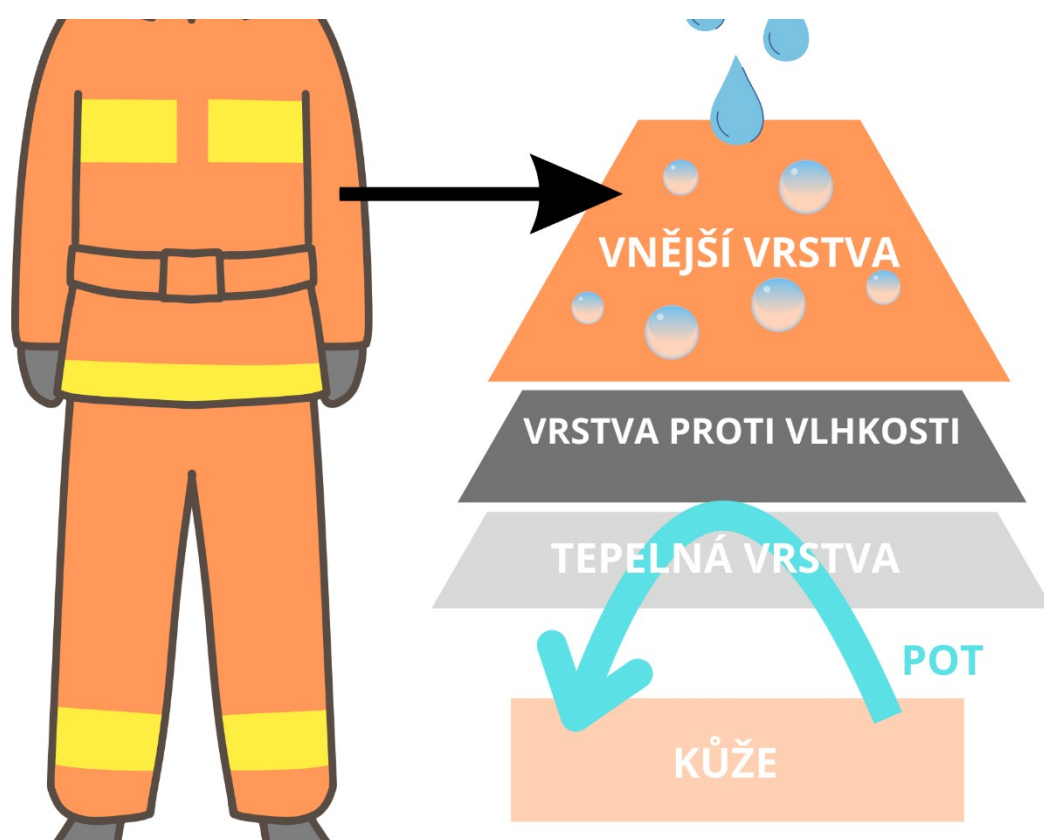
V textilním průmyslu se chemikálie PFAS začaly používat již v polovině 20. století, kdy byly objeveny jejich speciální vlastnosti. Povrchové úpravy materiálů na základě fluoru jsou charakteristické svou chemickou a tepelnou stabilitou (Yakhshi-Tafti et al., 2011). Nyní je odhadováno, že až 50 % celkového celosvětového použití PFAS je soustředěno právě v textilním průmyslu (Lassen et al., 2015). Využívány jsou především kvůli svým hydrofobním vlastnostem, které zajišťují oděvům nepromokavost či voděodolnost, ale zároveň se zachovávají prodyšnost (Van Der Veen et al., 2022). V případě nepromokavých materiálů, voda není schopna proniknout skrz textilii a kapky stékají po jejím povrchu. Zatímco u voděodolných materiálů, které jsou vystaveny vodě po delší dobu, může dojít k proniknutí vody skrz materiál (Porav, 2012). Podle Lomaxe (2007) může být ztráta lidského tepla až 25krát rychlejší, když přijde pokožka do kontaktu s mokrým oblečením. To je také důvodem, proč se povrchové úpravy oděvů látkami PFAS staly velmi atraktivními mezi uživateli i výrobci. Materiál je navíc díky PFAS prodyšný, což umožňuje vysokou propustnost pro vodní páru, ale zároveň brání vniknutí vody skrze materiál (Gluge et al., 2020). Další repelentní vlastností je oleofobnost, kdy povrch je schopen odpuzovat olejové kapaliny či skvrny. Vysoký počet detekovaných PFAS byl nalezen v amerických školních uniformách, které byly na trh uváděné jako odolné vůči skvrnám, přičemž nejhojnější sloučeninou byl 6:2 fluorotelomer alkohol (6:2 FTOH) (Xia et al., 2022). Srovnatelné množství PFAS bylo v téže výzkumu nalezeno v outdoorovém oblečení, které bylo výrobcem označeno za odolné vůči povětrnostním vlivům.

Existuje několik dalších způsobů, jak těchto vlastností u textilií dosáhnout. Mezi ně patří např. použití hydrofobních vláken, výroba husté struktury tkaniny nebo chemických a/nebo fyzikálních úprav (Li et al., 2017; Zahid et al., 2019).

Repelentní vlastnosti dále zajišťují ochranu před škodlivými kapalinami (např. v rámci lékařských textilií a ochranných oděvů v ropném či plynárenském průmyslu) nebo ochranu a pohodlí při outdoorových aktivitách (Watkins, 1984). Mezi ochranné oděvy patří například hasičská výstroj, která hasiče chrání před tepelnými, fyzickými, environmentálními a krví přenosnými patogeny, se kterými se setkávají při protipožárních zásazích (Maizel et al., 2023). Hasičská výstroj zahrnuje bundu, kalhoty, rukavice, helmu, obuv a popř. kombinézu při speciálních zásazích. Pro zajištění bezpečnosti hasiče musí hasičská výstroj splňovat specifické výkonnostní požadavky jako je chemická, voděodolná a světelná odolnost (Maizel, 2023).



Určité části výstroje jsou proto ošetřeny fluorovanými látkami, které tyto požadavky splňují (Mokoana et al., 2023). Bunda a kalhoty se proto obvykle vyrábějí ze tří vrstev (viz. obrázek č. 2.). Třívrstvý materiál obsahuje na povrchu vnější plášť, pod ní je vrstva, která slouží jakožto bariéra proti vlhkosti a poté následuje třetí tepelná vrstva. Dle výzkumu Národní institut standardů a technologie (2023) bylo nejmenší množství látek PFAS obsaženo v tepelné vrstvě, která se nacházela neblíže k pokožce hasiče, v dalších dvou vrstvách se nacházely koncentrace až 400krát vyšší oproti standardům. Jelikož jsou hasičské složky v přímém kontaktu s těmito látkami, byly dle řady studií prokázány vyšší koncentrace PFAS v krevním séru hasičů (Buck et al., 2011; Mazumder et al., 2023).

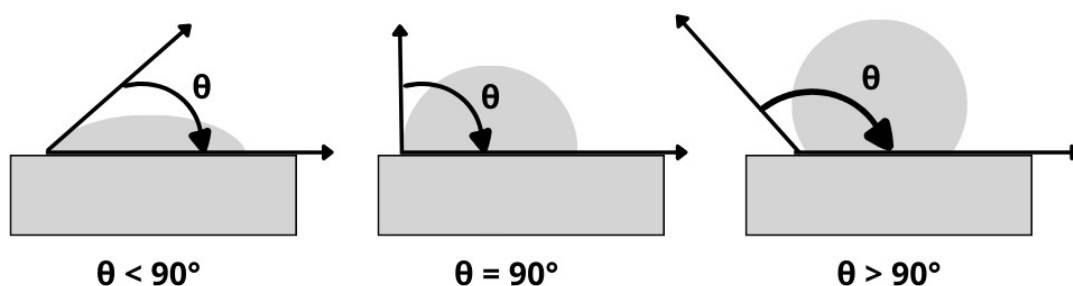


U funkčních oděvů z vícevrstvých materiálů je nejpoužívanější metodou trvanlivě vodoodpudivá impregnace DWR (z angl. durable water repellent), která se používá při konečné úpravě textilií a vyznačuje se dlouhodobou nesmáčivostí (Holmquist et al., 2016; Kowalski et

al., 2022). U této metody jsou také používány fluorované uhlovodíky pro větší účinnost materiálu. První mikroporézní membrána PTFE byla vytvořena v roce 1969 firmou W.L. Gore & Associates známou pod obchodním názvem GoreTex (Zheng & Salamova, 2020).

Vznik této membrány představuje zásadní okamžik, kdy se na trhu poprvé objevily komerčně dostupné vysoce výkonné voděodolné a prodyšné membrány.

Hranice mezi smáčením a odpudivostí je určena kontaktním úhlem kapky kapaliny na textilním substrátu (viz obrázek č. 3). V případě, že je kontaktní úhel menší než  $90^\circ$ , textilie je smáčivá. Pokud je kontaktní úhel větší než  $90^\circ$  dochází k odpudivosti kapaliny. Jinými slovy, čím větší je kontaktní úhel mezi kapkou a textilním povrchem, tím dochází ke zvýšení odpudivosti (Verbič et al., 2024). Superhydrofobní nebo ultrahydrofobní vlastnosti jsou přisuzovány situacím, kdy kontaktní úhel přesahuje  $150^\circ$  a kapka stéká po povrchu (Verbič et al., 2024).



Obrázek 3: Smáčení nebo odpuzování v závislosti na kontaktním úhlu kapky vody ( $\theta$ ) (upraveno dle Verbič et al. 2024)

Látky PFAS v textilních oděvech jsou stále častěji podrobovány různým výzkumům. Často je do výzkumu zařazováno také outdoorové vybavení jako jsou stany, spací pytle, lezecké vybavení, batohy a další. Dle studie Greenpeace (2016) nebyly látky PFAS obsaženy pouze u 4 z 40 testovaných produktů. Studií bylo také zjištěno, že toxická chemická látka PFOA je zastoupena u předních výrobců outdoorového oblečení jako je The North Face, Jack Wolfskin, Patagonia, Mammut, Norrona či Salewa a to zejména u obuvi, kalhot, spacích pytlů a bund (Santen et al., 2016). V roce 2022 se výskytem PFAS v outdoorovém oblečení zabývala také česká nezisková organizace Arnika. Společnost zveřejnila výzkum, ve kterém analyzovala přítomnost 58 cílových PFAS v deseti dětských bundách. Látky PFAS byly nalezeny v 9 z 10 analyzovaných dětských bund, kdy v 7 z 10 testovaných byla nalezena také toxická PFOA (Straková et al., 2022).

Pro kupující je velmi náročné odhalit přítomnost látek PFAS v textilních oděvech. Na etiketách produktů jsou jen zřídka kdy uvedené informace o chemických látkách, které oděvy obsahují, včetně chemikálií PFAS. Podle studie Rodgers et al. (2022) bylo zkoumáno, do jaké míry mohou spotřebitelé získat informace o přítomnosti látek PFAS v textilních oděvech. Studie se zaměřila zejména na informace na etiketách, které uváděly odolnost vůči vodě či skvrnám, a na etikety zdůrazňující netoxicitu nebo certifikace vymežující se proti PFAS. Studie ukazuje, že textilní oděvy s označením „odolné vůči vodě či skvrnám“ pravděpodobně budou obsahovat látky PFAS. Označení netoxičnosti nebo certifikace zdůrazňující absenci chemikálií PFAS na etiketách těchto oděvů nezaručuje, že tyto látky ve skutečnosti v produktech nejsou obsaženy (Rodgers et al., 2022).

#### 4.1. Impregnace

Ke zvýšení odolnosti, životnosti a funkčních vlastností oděvů jsou na jejich povrch sekundárně aplikovány impregnační prostředky, které často také obsahují látky PFAS. Na povrchu textilie se vytvoří nová vrstva, která chrání textil před vnějšími vlivy. Používáním impregnačních prostředků ve formě sprejů se v okolním vzduchu vytvářejí snadno dýchateľné aerosoly, které pro člověka mohou být jednou z důležitých cest expozice. Dle Vestergrena et al. (2008) se za klíčový způsob, jak se dospělí a dospívající do kontaktu s PFC látkami, považuje inhalování impregnačních sprejů na oděv (9–11 %) a používání roztoků na koberce (8–9 %). Předměty, které jsou ošetřené těmito látkami např. obuv, oděvy, koberce, nábytek, čisticí prostředky nebo impregnace dřeva mohou v domácnostech jako zdroj PFC setrvat dlouhou dobu (Fiedler et al., 2010).

V roce 2023 Dánská spotřebitelská rada (DDC) otestovala impregnační spreje na přítomnost PFAS a dalších nežádoucích chemických látek (DDC, 2023). U 6 vzorků z patnácti byly detekovány látky PFAS. Také bylo zjištěno, že spreje obsahující PFAS neměly lepší impregnační vlastnosti než prostředky bez fluorovaných látek (DDC, 2023). Například výrobce Nikwax používá do svých přípravků vodoodpudivý elastomer Tx.10i, který je alternativou pro látky PFAS a PFC (Nikwax, 2024). Výrobce zaručuje výkonnostní výrobky s minimálním dopadem na životní prostředí. Dle DDC (2023) jsou doporučovány spreje s pumpičkou, které zanechávají méně vypouštěných částic ve vzduchu. Kompletní seznam testovaných impregnačních sprejů včetně jejich komerčních názvů a výsledků studie shrnuje společnost Arnika (Repeš, 2023).

## 4.2. Způsoby uvolňování látek PFAS z oděvů do životního prostředí

Bezprostředně po aplikaci látek PFAS na oděvy v rámci výrobního procesu se tyto chemikálie začnou šířit také do životního prostředí. Textilní výrobky v průběhu své životnosti neustále vylučují látky PFAS. Vysoce exponováni těmito látkami jsou přímo pracovníci ve výrobních zařízeních PFAS, ale také prodejci či zákazníci maloobchodních zařízení s outdoorovým vybavením, kde jsou často v okolním vzduchu detekovány zvýšené koncentrace PFAS (Schlummer et al., 2013). Chemikálie PFAS používané v původních úpravách materiálů mohou časem degradovat na meziprodukty či produkty konečného rozkladu, které jsou z předmětů dále emitovány. Studie dle Schellenberger et al. (2022) prokázala, že nejběžnější PFAS používané k úpravě textilu (např. PFOA nebo PFHxA) mohou degradovat na perzistentní PFAA. Momentální výzkumy se zaměřují na vystavování oděvů ošetřených látkami PFAS přirozeným stresorům jako je sluneční záření, vítr, srážky nebo teplo. Životnost outdoorového oblečení se dle ISO 105-B10 (2011) odhaduje na cca 300 hodin užívání. Po tuto dobu studie van der Veen et al. (2020) vystavovali zvýšenému UV záření, vlhkosti a teplotě třináct komerčně známých textilních oděvů ošetřených látkami PFAS. Bylo prokázáno, že koncentrace PFAA degradací výrazně vzrostly. Po dobu vystavení povětrnostním vlivům jsou látky navíc namáhány otěrem, může docházet ke ztrátě textilních fragmentů obsahující PFAS (např. mikrovláken) nebo tvorbě či úniku PFAS s nízkou molekulovou hmotností po dobu zvětrávání (Schellenberger et al., 2022). Na uvolňování PFAS z textilních oděvů může mít vliv také vylučování tělesných sekretů. Studie dle CEC (2017) využívající simulaci slin a umělého potu, naznačuje, že novější, snadno rozpustné sloučeniny PFAS ve vodě mohou přecházet z oděvů přímo na jejich uživatele.

V relativně vysokých koncentracích jsou detekovány také v prací odpadní vodě z domácností (CEC, 2017b). Jelikož se tyto perzistentní látky v procesu čištění odpadních vod nerozkládají, stávají se významným zdrojem těchto chemikálií (CEC, 2017b). Výzkumy se nezaměřují pouze na textilní oděvy, ale také na úniky uvolněných mikrovláken. Po opakovaném praní outdoorových bund (v rozmezí 2-15 pracích cyklů), které byly ošetřeny voděodolnými prostředky obsahujícími látky PFAS, vědci odhadli, že došlo k emisi až 0,7 tun 6:2 FTOH z těchto vláken, ale i přímo z textilních oděvů (Schellenberger et al., 2019).

## 5. Potenciální alternativy za momentálně používané PFAS

Vzhledem ke stále více rostoucím obavám ohledně toxicity celé skupiny PFAS se na trhu začínají objevovat bezpečnější a environmentálně šetrnější alternativy pro povrchovou úpravu textilií. Současně dostupné alternativy se však potýkají s řadou výzev. Klíčovou výzvou je technická složitost vývoje alternativ, která by měla odpovídat nebo v lepším případě převyšovat výkonnostní charakteristiky momentálně převládajících PFAS. Dále by měly dosáhnout minimálně srovnatelné úrovně funkčnosti v odolnosti, měly by být kompatibilní s ostatními materiály, být účinné i po několika pracích cyklech včetně odolávání pracím substrátům a zvládat podmínky běžného užívání (Verbič et al., 2024). Značný důraz se klade také na ekonomicky vhodně zvolený výrobní proces, který by umožnil produkci alternativ ve velkém množství (Verbič et al., 2024). Přejít na nové povrchové úpravy materiálů navíc může vyžadovat značné investice do výzkumu, vývoje a přepracování výrobních linek.

Momentálně se na trhu objevují tyto nefluorované alternativy k látkám PFAS - silikony, vosky, parafínové repelenty, melamin a hydrofobní polymery (např. dendrimery nebo nanočástice) (Schreder & Goldberg, 2022; Zheng & Salamova, 2020).

### 5.1. Silikony

Nejpoužívanějšími silikony v impregnačních prostředcích na textil jsou na bázi polydimethylsiloxanů (PDMS) (Lassen et al., 2015). PDMS jsou registrovány v REACH a obecně nevykazují žádné nepříznivé účinky. Další ze třídy siloxanů se používají jako meziprodukty pro syntézu silikonových polymerů. Známé jsou především tři cyklické těkavé siloxany D4 (z angl. octamethylcyclotetrasiloxan), D5 (z angl. decamethylcyclopentasiloxane) a D6 (z angl. dodecamethylcyclohexasiloxane), kde hlavní expoziční cestou je inhalace (Biesterbos et al., 2015). V roce 2018 ECHA tyto tři siloxany doporučila přidat na Seznam látek vzbuzující mimořádné obavy (SVHC, z angl. substances of very high concern) kvůli jejich perzistenci, bioakumulaci a toxicitě (ECHA, 2018). Dle Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD, z angl. Organisation for Economic Co-operation and Development) jsou D4, D5 a D6 označovány jako chemikálie s vysokým objemem výroby HPV (z angl. high production volume) a jsou mimo textilní materiály aplikovány do široké škály spotřebitelských výrobků (např. kosmetické výrobky, čisticí prostředky nebo léčiva) (ECHA, 2018). U myší byly v případě siloxanu D4 pozorovány problémy s plodností (Siddiqui et al., 2007) a D5 byl označen za podezřelý karcinogen (Dekant & Klaunig, 2016).

## 5.2. Vosky

Také voskové povrchové úpravy jsou aplikovány na textilie k dosažení vodoodpudivých vlastností. Jsou označovány za jedny z nejstarších a nejekonomičtějších způsobů těchto úprav (Schreder & Goldberg, 2022). Nevýhodou vosků však je neschopnost v odpuzování skvrn či oleje, menší trvanlivost a vyžadují častěji opakovanou aplikaci (Kissa, 2001).

## 5.3. Parafiny

Možnou alternativou jsou také čisté parafínové repelenty, u kterých momentálně nebyly zaznamenány negativní účinky na zdraví. Jsou odvozeny často z přírodních zdrojů, což může být environmentálně šetrnější než synteticky vyráběné látky PFAS. Jejich použití může být omezeno nižší trvanlivostí a účinností ve srovnání s chemikáliemi PFAS. Pokud jsou k nim přidávány další složky jako isokyanáty, dipropylenglykol, soli kovů nebo jiné blíže nespecifikované látky, je zde zvýšená pravděpodobnost škodlivosti na zdraví (Lassen et al., 2015). Dle Svedlunda a Skedunga (2022) jsou parafíny, které jsou plně odbouratelné a vyrobené z obnovitelných zdrojů, velmi nadějnou náhradou k PFAS.

## 5.4. Melaminové prykyřice

Další novou DWR chemikálií je derivát melaminu, který se ve formě pryskyřice používá na povrchovou úpravu tkanin (Schindler & Hauser, 2004; ZDHC, 2012). Podobně jako PFAS jsou využívány k zvýšení vodoodpudivých vlastností textilií, ale obecně jsou označovány za méně toxické (Zheng & Salamova, 2020). Dle Weila et al. (2016) se navíc vlákna mohou kvůli nízké tepelné vodivosti a samo zhášecím vlastnostem používat jako součást ohnivzdorných ochranných oděvů. Přesto, že se o melaminových pryskyřicích uvažuje jako o bezpečnější alternativě k PFAS, v řadě provedených studií na zvířatech *in vitro* i *in vivo* byla projevna nefrotoxicita, neurotoxicita a reprodukční toxicita (Bolden et al., 2017; Chang et al., 2014; Skinner et al., 2010; Yang et al., 2012). Repelentních vlastností lze dosáhnout také chemickou reakcí melaminu s kyselinou stearovou, při které je uvolňován formaldehyd. Výhodou těchto repelentů je sice zvýšená odolnost vůči praní, ale uvolňující se formaldehyd při výrobě i zahřátí má negativní dopad na lidské zdraví (ZDHC, 2012). Je klasifikován jako karcinogen s prokázaným účinkem skupiny 1 (Protano et al., 2021).

### 5.5. Nanočástice a dendrimery

Repelenty na bázi nanočástic či dendrimerů jsou označovány za komerčně dostupné alternativy PFAS, avšak momentálně je velmi málo známo o jejich rizicích. Dle Svedlunda a Skedunga (2022) mohou nanočástice představovat riziko v pronikání buněčnými membránami a mít negativní vliv na biologické funkce. Výzkum v této oblasti je stále v počáteční fázi a není dostatek studií, které by podrobně popisovaly dlouhodobé účinky nanočástic na lidský organismus a životní prostředí.

## 6. Problematika odstranění textilního oděvu ošetřeného chemikáliemi PFAS

Úplné odstranění či odbourání látek PFAS je obecně velice obtížné a ekonomicky nákladné. Existuje však řada metod, díky kterým je možné snížit koncentrace látek PFAS. V pitné vodě lze snížit koncentrace látek PFAS např. filtrací s granulovaným aktivním uhlím, reverzní osmózou, iontovou výměnou nebo mísením s méně kontaminovanou vodou z jiných zdrojů, přičemž žádná ze zmíněných metod není schopná látky PFAS z pitné vody zcela odstranit (Franke et al., 2019). Tyto metody jsou ekonomicky velmi nákladné. Vysoké finanční prostředky jsou potřebné na vytvoření nové infrastruktury, průběžnou údržbu, testování a monitorování kontaminace, informování veřejnosti či shromažďování informací o alternativních úpravách (Cordner et al., 2021). Obdobným příkladem je také eliminace látek PFAS z čistíren odpadních vod. ČOV odstraňují především pevné látky či patogeny, nejsou však navrženy tak, aby byly schopné odstranit perzistentní chemikálie jako jsou látky PFAS (Cordner et al., 2021). To je také důvodem, proč všechny látky PFAS přicházející do čistíren, zůstávají jakožto perzistentní kontaminanty v čistírenských kalech, nebo odcházejí do recipientu (Zhou et al., 2024).

Likvidace textilního odpadu, natož pak textilního odpadu ošetřeného chemikáliemi PFAS, představuje velmi složitý problém. Dle momentálně dostupných dat neexistuje mnoho studií, které by se touto problematikou zabývaly. Aktuálně dostupným dokumentem jsou „Dočasné pokyny pro likvidaci a zneškodňování PFAS a materiálů obsahujících PFAS“ (z angl. Interim Guidance on the Destruction and Disposal of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances and Materials Containing Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances), které vydala EPA v dubnu roku 2024. V pokynech EPA zmiňuje různé druhy materiálů kontaminované chemikáliemi PFAS a zaznamenává způsoby jejich eliminace či odstranění. Pro textilní oděvy s PFAS v těchto pokynech EPA uvádí dva způsoby eliminace těchto látek: skládkování a tepelnou likvidaci. Tyto dva způsoby odstranění zmiňuje také studie Starkové et al. (2023), zaměřené na voděodolné oděvy, v níž bylo zjištěno, že pouze nepatrná část těchto textilií je recyklována. Většina z nich je proto pravděpodobně skládkována nebo spalována, což může vést k uvolňování chemikálií do životního prostředí, kde jsou perzistentní (Starková et al., 2023).

Podle EPA (2024) skládky tuhého komunálního odpadu (TKO) běžně přijímají komerční nebo průmyslové odpady, včetně odpadu z textilního průmyslu, s vysokými koncentracemi



PFAS. Nicméně sklárky by měly sloužit pouze jako místo pro zadržení těchto látek, nikoli pro jejich likvidaci (EPA, 2024). PFAS mohou na skládkách přetrvávat po celou dobu jejich životnosti, což může až mnoho staletí. Účinnost zadržení PFAS na skládkách však není stoprocentní. Zvýšené koncentrace PFAS byly zjištěny především v uvolňujících se plynech a výluzích ze sklárky (Titaley et al, 2023). Chemikálie PFAS se mohou vracet do životního prostředí například prostřednictvím průsakových vod nebo zmíněných výluhů, které ČOV nedokážou odstranit. (Masoner et al., 2020). Tímto způsobem se PFAS následně kumulují v čistírenských kalech a částečně odcházejí do recipientu (Spaan et al., 2023).

Další možný způsob je podle EPA (2024) likvidace tepelná. Dle výzkumu Cobose et al. (2021) je možné vazbu C-F rozbít při vysokých teplotách v rozmezí 1000–4000 K (727–3727 °C). Vysokoteplotní spalování je však velmi nákladné a často možné především ve spalovnách nebezpečného odpadu. Dle EPA (2020) byly uvedeny náklady na spalování nebezpečného odpadu ve výši 1110 až 1610 amerických dolarů za tunu kapalin, kalů či pevných látek obsahující chemikálie PFAS (EPA, 2020). Metody vysokoteplotního rozkladu jsou stále častěji zkoumány v souvislosti s látkami PFAS. Zaměřují se především na správnou likvidaci látek PFAS, identifikaci jejich sloučenin a vedlejších produktů vznikajících při tepelném rozkladu (EPA, 2020).

## Závěr

Tato bakalářská práce se zaměřila na problematiku per- a polyfluorovaných alkylovaných látek (PFAS) v textilních oděvech, jejich dopady na lidské zdraví a životní prostředí. Výsledky literární rešerše ukazují, že látky PFAS stále dominují v textilním průmyslu zaměřeném na výrobu povrchových úprav materiálů. Důvodem jsou nejen jejich výjimečné vlastnosti, ale také ekonomické faktory zahrnující jejich účinnost, relativně nízké náklady a zaběhnuté výrobní procesy, které mohou být značnou překážkou pro přechod na alternativní látky.

Přesto, že je upozorňováno na jejich vážné zdravotní, perzistentní, bioakumulativní či environmentální rizika stále nedošlo k jejich plošnému zákazu. Stockholmskou úmluvou a legislativou Evropské unie jsou momentálně omezovány pouze tři látky – PFOA, PFOS a PFHxS z celkového počtu PFAS. Přičemž podle Stockholmské úmluvy má látka PFOA pro použití v textilním průmyslu pětiletou výjimku, která byla udělena za účelem ochrany pracovníků před nebezpečnými riziky s možností ohrožení jejich zdraví.

Celosvětový zákaz výroby a používání všech látek PFAS je naprosto nezbytným prvním krokem k řešení této problematiky. Samostatná environmentální perzistence se může jevit jako dostatečné ospravedlnění pro celkový zákaz výroby chemikálií PFAS. Dle výzkumů lze totiž vazbu C-F rozbít pouze vysokoteplotním spalováním, které však nese další negativní rizika a řadu environmentálně ekonomických nevýhod. Dalším způsobem likvidace textilu ošetřeného PFAS je skládkování. Skládky představují významný zdroj látek PFAS s vysokým potenciálem uvolňování do životního prostředí. Tyto látky se nacházejí také ve vyluzích a průsakových vodách, které ČOV nedokážou účinně odstranit. Ostatní metody likvidace PFAS zatím pouze eliminují jejich množství, aniž by zajistily jejich úplné odstranění z životního prostředí. S přechodem na oběhové hospodářství v rámci EU budou textilní oděvy ošetřené PFAS pravděpodobně stále recyklovány. Pokud by došlo k definitivnímu zákazu těchto trvalých chemikálií, vyvstává otázka, jak s těmito oděvy dále nakládat nebo jak je budeme bezpečně likvidovat.

Uživatelé textilních oděvů ošetřených látkami PFAS mohou čelit zvýšeným zdravotním rizikům. Rozpoznat, které oděvy obsahují látky PFAS a které jsou bezpečné, je při jejich nákupu velmi obtížné. Informace na visačkách, jež upozorňují na nepřítomnost látek PFAS, často

neposkytují spolehlivou záruku jejich nepřítomnosti. Je tedy nutné být zvláště obezřetní při nákupu oděvů s označením „odolnost vůči skvrnám či oleji“ nebo s různými certifikacemi. Z této práce plyne doporučení, aby si nakupující předem vyhledal informace o jednotlivých spotřebitelských značkách prodávající textilní oděvy s touto povrchovou úpravou materiálu a jejich postojích k používání látek PFAS.

Momentálně na trhu existuje velké množství alternativ, které jsou méně toxické, biologicky rozložitelné, udržitelné, ekonomicky dostupné, vysoce účinné a konkurenceschopné. Přejít na šetrnější alternativy by pravděpodobně mohl snížit riziko zdravotních a environmentálních problémů a podpořit udržitelnější budoucnost pro současnou i budoucí generaci. Nezbytný krok, který je potřeba učinit ještě před přechodem na danou alternativu, je zvážení všech výhod a nevýhod zvolené alternativy. Odklon od věčných chemikálií by měl být předmětem všech zainteresovaných stran, které by měli zdraví a bezpečnost lidí a životního prostředí před ekonomickými zájmy a zaběhlými procesy.

## Použitá literatura

- Akay, Ö., Gündüz, S., & Gündüz, F. (2020). *The Factors Affecting Textile Production Amounts of Leading Countries in Textile Export: Dynamic Panel Data Analysis*.
- Andersen, M. E. (2022). Assessing modes of action, measures of tissue dose and human relevance of rodent toxicity endpoints with octamethylcyclotetrasiloxane (D4). *Toxicology Letters*, 357, 57–72. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2021.12.020>
- Anderson, R. H., Long, G. C., Porter, R. C., & Anderson, J. K. (2016). Occurrence of select perfluoroalkyl substances at U.S. Air Force aqueous film-forming foam release sites other than fire-training areas: Field-validation of critical fate and transport properties. *Chemosphere*, 150, 678–685. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.014>
- Andrews, D. Q., & Naidenko, O. V. (2020a). Population-Wide Exposure to Per- and Polyfluoroalkyl Substances from Drinking Water in the United States. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(12), 931–936. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00713>
- Ashley-Martin, J., Dodds, L., Arbuckle, T. E., Morisset, A.-S., Fisher, M., Bouchard, M. F., Shapiro, G. D., Ettinger, A. S., Monnier, P., Dallaire, R., Taback, S., & Fraser, W. (2016). Maternal and Neonatal Levels of Perfluoroalkyl Substances in Relation to Gestational Weight Gain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(1), 146. <https://doi.org/10.3390/ijerph13010146>
- ATSDR. (2021, únor 17). *PFAS Exposure Assessment Community Update | ATSDR*. <https://www.atsdr.cdc.gov/pfas/activities/assessments/online-session.html>
- ATSDR. (2024, leden 17). *Potential health effects of PFAS chemicals | ATSDR*. <https://www.atsdr.cdc.gov/pfas/health-effects/index.html>
- Audenaert, F., Lens, H., Rolly, D., & Vander Elst, P. (1999). Fluorochemical Textile Repellents—Synthesis and Applications: A 3M Perspective. *Journal of the Textile Institute*, 90(3), 76–94. <https://doi.org/10.1080/00405009908659480>
- AWWA. (2020, září 21). *Per- and Polyfluoroalkyl Substance (PFAS)*. AWWA. <https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/ETS/Resources/PFAS%20Overview%20and%20Prevalence.pdf?ver=2020-09-22-072340-407>
- Bach, C. C., Vested, A., Jørgensen, K. T., Bonde, J. P. E., Henriksen, T. B., & Toft, G. (2016). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances and measures of human fertility: A systematic review. *Critical Reviews in Toxicology*, 46(9), 735–755. <https://doi.org/10.1080/10408444.2016.1182117>

- Banks, R. E., Smart, B. E., & Tatlow, J. C. (2013). *Organofluorine Chemistry: Principles and Commercial Applications*. Springer Science & Business Media.
- Baumert, B. O., Fischer, F. C., Nielsen, F., Grandjean, P., Bartell, S., Stratakis, N., Walker, D. I., Valvi, D., Kohli, R., Inge, T., Ryder, J., Jenkins, T., Sisley, S., Xanthakos, S., Rock, S., La Merrill, M. A., Conti, D., McConnell, R., & Chatzi, L. (2023). Paired Liver:Plasma PFAS Concentration Ratios from Adolescents in the Teen-LABS Study and Derivation of Empirical and Mass Balance Models to Predict and Explain Liver PFAS Accumulation. *Environmental Science & Technology*, 57(40), 14817–14826. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c02765>
- Bhattacharya, A., Biswas, G., & Bhattacharya, R. (2016). A Review On The Health Status Of Textile Dyeing Workers, *IJSR - International Journal of Scientific Research(IJSR)*, *IJSR | World Wide Journals*. [https://www.worldwidejournals.com/international-journal-of-scientific-research-\(IJSR\)/article/a-review-on-the-health-status-of-textile-dyeing-workers/ODc0MQ==/?is=1&b1=433&k=109](https://www.worldwidejournals.com/international-journal-of-scientific-research-(IJSR)/article/a-review-on-the-health-status-of-textile-dyeing-workers/ODc0MQ==/?is=1&b1=433&k=109)
- Bick, R., Halsey, E., & Ekenge, C. C. (2018). The global environmental injustice of fast fashion. *Environmental Health*, 17(1), 92. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0433-7>
- Biesterbos, J. W. H., Beckmann, G., van Wel, L., Anzion, R. B. M., von Goetz, N., Dudzina, T., Roeleveld, N., Ragas, A. M. J., Russel, F. G. M., & Scheepers, P. T. J. (2015). Aggregate dermal exposure to cyclic siloxanes in personal care products: Implications for risk assessment. *Environment International*, 74, 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.017>
- Blake, B. E., & Fenton, S. E. (2020). Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and latent health outcomes: A review including the placenta as a target tissue and possible driver of peri- and postnatal effects. *Toxicology*, 443, 152565. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2020.152565>
- Bolden, A. L., Rochester, J. R., & Kwiatkowski, C. F. (2017). Melamine, beyond the kidney: A ubiquitous endocrine disruptor and neurotoxicant? *Toxicology Letters*, 280, 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.07.893>
- Bossi, R., Riget, F. F., Dietz, R., Sonne, C., Fauser, P., Dam, M., & Vorkamp, K. (2005). Preliminary screening of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and other fluorochemicals in fish, birds and marine mammals from Greenland and the Faroe Islands. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 136(2), 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.12.020>
- Buck, R. C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J. M., Cousins, I. T., de Voogt, P., Jensen, A. A., Kannan, K., Mabury, S. A., & van Leeuwen, S. P. (2011). Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances

- in the Environment: Terminology, Classification, and Origins. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(4), 513–541. <https://doi.org/10.1002/ieam.258>
- Carlson, G. L., & Tupper, S. (2020). Ski wax use contributes to environmental contamination by per- and polyfluoroalkyl substances. *Chemosphere*, 261, 128078. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128078>
- CEC. (2017a). *Furthering the Understanding of the Migration of Chemicals from Consumer Products – A Study of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in Clothing, Apparel, and Children’s Items*. <http://www.cec.org/files/documents/publications/11777-furthering-understanding-migration-chemicals-from-consumer-products-en.pdf>
- CEC. (2017b). *Furthering the Understanding of the Migration of Chemicals from Consumer Products – A Study of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in Clothing, Apparel, and Children’s Items*. <http://www.cec.org/files/documents/publications/11777-furthering-understanding-migration-chemicals-from-consumer-products-en.pdf>
- Cobos, C. J., Hintzer, K., Sölter, L., Tellbach, E., Thaler, A., & Troe, J. (2021). High-Temperature Fluorocarbon Chemistry Revisited. *The Journal of Physical Chemistry A*, 125(25), 5626–5632. <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.1c03654>
- Coffin, E. S., Reeves, D. M., & Cassidy, D. P. (2023). PFAS in municipal solid waste landfills: Sources, leachate composition, chemical transformations, and future challenges. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 31, 100418. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100418>
- Coggan, T., Moodie, D., Kolobaric, A., Szabo, D., Shimeta, J., Crosbie, N., Lee, E., Fernandes, M., & Clarke, B. (2019). An investigation into per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in nineteen Australian wastewater treatment plants (WWTPs). *Heliyon*, 5, e02316. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02316>
- Commission Regulation. (2023). *Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915>
- Cordner, A., Goldenman, G., Birnbaum, L. S., Brown, P., Miller, M. F., Mueller, R., Patton, S., Salvatore, D. H., & Trasande, L. (2021). The True Cost of PFAS and the Benefits of Acting Now. *Environmental Science & Technology*, 55(14), 9630–9633. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03565>

- Costello, M. C. S., & Lee, L. S. (2020). Sources, Fate, and Plant Uptake in Agricultural Systems of Per- and Polyfluoroalkyl Substances. *Current Pollution Reports*. <https://doi.org/10.1007/s40726-020-00168-y>
- DDC. (2023). *Imprægnering: Disse sprays er uden PFAS*. <https://taenk.dk/kemi/kemitest/disse-impraegneringssprays-er-uden-pfas>
- Dean, W. S., Adejumo, H. A., Caiati, A., Garay, P. M., Harmata, A. S., Li, L., Rodriguez, E. E., & Sundar, S. (2020). A Framework for Regulation of New and Existing PFAS by EPA. 16(1).
- Death, C., Bell, C., Champness, D., Milne, C., Reichman, S., & Hagen, T. (2021). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in livestock and game species: A review. *Science of The Total Environment*, 774, 144795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144795>
- Dekant, W., & Klaunig, J. E. (2016). Toxicology of decamethylcyclopentasiloxane (D5). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 74, S67–S76. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.06.011>
- Didier, B. (2018). *Circular economy package: Four legislative proposals on waste*.
- Duhoux, T., Le Blévenec, K., Manshoven, S., Grossi, F., & Arnold, M. (2022). *Textiles and the Environment—The role of design in Europe's circular economy*.
- EFSA. (2020, září 17). *PFAS in food: EFSA assesses risks and sets tolerable intake* | EFSA. <https://www.efsa.europa.eu/en/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>
- ECHA. (2018). *European Union proposal to list Octamethylcyclotetrasiloxane (D4), Decamethylcyclopentasiloxane (D5) and Dodecamethylcyclohexasiloxane (D6) in Annex B to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. <https://echa.europa.eu/documents/10162/63ce2062-0f0b-130f-3cb1-5c84071e7082>
- ECHA. (2023). *ANNEX XV RESTRICTION REPORT – Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs)*. <https://echa.europa.eu/documents/10162/f71f3bed-e48d-5004-d195-e293c38d0602>
- ECHA. (2024). *Oděvy a textilie—Chemicals In Our Life—ECHA*. <https://chemicalsinourlife.echa.europa.eu/cs/clothes-and-textiles>
- Eichler, C. M. A., Chang, N. Y., Cohen Hubal, E. A., Amparo, D. E., Zhou, J., Surratt, J. D., Morrison, G. C., & Turpin, B. J. (2023). Cloth-Air Partitioning of Neutral Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in North Carolina Homes during the Indoor PFAS Assessment (IPA) Campaign. *Environmental Science & Technology*, 57(40), 15173–15183. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c04770>

- EPA. (2020). *Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): Incineration to Manage PFAS Waste Streams*.  
[https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-09/documents/technical\\_brief\\_pfas\\_incineration\\_ioaa\\_approved\\_final\\_july\\_2019.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-09/documents/technical_brief_pfas_incineration_ioaa_approved_final_july_2019.pdf)
- EPA. (2021a). *Multi-Industry Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Study – 2021 Preliminary Report*. 2021.
- EPA. (2021b). *Multi-Industry Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Study–2021 Preliminary Report*. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/multi-industry-pfas-study\\_preliminary-2021-report\\_508\\_2021.09.08.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/multi-industry-pfas-study_preliminary-2021-report_508_2021.09.08.pdf).
- EPA. (2021c, listopad 16). *Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS)* [Reports and Assessments].  
<https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>
- EPA. (2023a). *PFAS master list of PFAS substances (Version 2)*.  
[https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical\\_lists/pfasmaster](https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical_lists/pfasmaster)
- EPA. (2023b, březem 29). *PFAS National Primary Drinking Water Regulation Rulemaking*. Federal Register. <https://www.federalregister.gov/documents/2023/03/29/2023-05471/pfas-national-primary-drinking-water-regulation-rulemaking>
- EPA. (2023c, srpen 17). *National Enforcement and Compliance Initiatives* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/enforcement/national-enforcement-and-compliance-initiatives>
- EPA. (2024). *Interim Guidance on the Destruction and Disposal of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances and Materials Containing Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances—Version 2 (2024)*. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-04/2024-interim-guidance-on-pfas-destruction-and-disposal.pdf>
- Estes, C., Razavi, H., Loomba, R., Younossi, Z., & Sanyal, A. J. (2018). Modeling the epidemic of nonalcoholic fatty liver disease demonstrates an exponential increase in burden of disease. *Hepatology (Baltimore, Md.)*, 67(1), 123–133. <https://doi.org/10.1002/hep.29466>
- EU. (2020). *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/4/ES*.  
<https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32020L2184>
- European Parliament. (2023a). *The impact of textile production and waste on the environment (infographics) | Topics | European Parliament*.  
<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics>



- European Parliament. (2023b, listopad 22). *EP přijal nová pravidla pro snižování, opakované použití a recyklaci obalů* | Zpravodajství | Evropský parlament. European Parliament.  
<https://www.europarl.europa.eu/news/cs/press-room/20231117IPR12213/ep-prijal-nova-pravidla-pro-snizovani-opakovane-pouziti-a-recyklaci-obalu>
- Evropský parlament. (2023, září 12). *Snížení znečištění podzemních a povrchových vod v EU* | Zpravodajství | Evropský parlament. <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/press-room/20230911IPR04917/snizeni-znecisten-podzemnich-a-povrchovych-vod-v-eu>
- Fábelová, L., Beneito, A., Casas, M., Colles, A., Dalsager, L., Den Hond, E., Dereumeaux, C., Ferguson, K., Gilles, L., Govarts, E., Irizar, A., Lopez Espinosa, M. J., Montazeri, P., Morrens, B., Patayová, H., Rausová, K., Richterová, D., Rodriguez Martin, L., Santa-Marina, L., ... Palkovičová Murínová, L. (2023). PFAS levels and exposure determinants in sensitive population groups. *Chemosphere*, 313, 137530.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137530>
- Fenton, S. E., Ducatman, A., Boobis, A., DeWitt, J. C., Lau, C., Ng, C., Smith, J. S., & Roberts, S. M. (2021). Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(3), 606–630. <https://doi.org/10.1002/etc.4890>
- Fiedler, S., Pfister, G., & Schramm, K.-W. (2010). Poly- and perfluorinated compounds in household consumer products. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 92(10), 1801–1811.  
<https://doi.org/10.1080/02772248.2010.491482>
- Forsthuber, M., Kaiser, A. M., Granitzer, S., Hassl, I., Hengstschläger, M., Stangl, H., & Gundacker, C. (2020). Albumin is the major carrier protein for PFOS, PFOA, PFHxS, PFNA and PFDA in human plasma. *Environment International*, 137, 105324.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105324>
- Foulds, C. E., Treviño, L. S., York, B., & Walker, C. L. (2017). Endocrine-disrupting chemicals and fatty liver disease. *Nature Reviews. Endocrinology*, 13(8), 445–457.  
<https://doi.org/10.1038/nrendo.2017.42>
- Franke, V., McCleaf, P., Lindegren, K., & Ahrens, L. (2019). Efficient removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: Nanofiltration combined with active carbon or anion exchange. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 5(11), 1836–1843. <https://doi.org/10.1039/C9EW00286C>

- Gaines, L. G. T. (2023). Historical and current usage of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A literature review. *American Journal of Industrial Medicine*, 66(5), 353–378.  
<https://doi.org/10.1002/ajim.23362>
- Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C. A., Trier, X., & Wang, Z. (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science. Processes & Impacts*, 22(12), 2345–2373.  
<https://doi.org/10.1039/d0em00291g>
- Gluge, J., Scheringer, M., Cousins, I., & DeWitt, J. (2020, říjen 30). *An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)*†—Fluoride Action Network.  
<https://fluoridealert.org/news/an-overview-of-the-uses-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas%e2%80%a0/>
- Goldenman, G., Fernandes, M., Holland, M., Tugran, T., Nordin, A., Schoumacher, C., & McNeill, A. (2019). *The cost of inaction* (2019:516). Nordic Council of Ministers.  
<https://doi.org/10.6027/TN2019-516>
- Grandjean, P., Timmermann, C. A. G., Kruse, M., Nielsen, F., Vinholt, P. J., Boding, L., Heilmann, C., & Mølbak, K. (2020). Severity of COVID-19 at elevated exposure to perfluorinated alkylates. *medRxiv*, 2020.10.22.20217562. <https://doi.org/10.1101/2020.10.22.20217562>
- Guillette, T. C., Jackson, T. W., Guillette, M., McCord, J., & Belcher, S. M. (2022). Blood concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances are associated with autoimmune-like effects in American alligators from Wilmington, North Carolina. *Frontiers in Toxicology*, 4, 1010185. <https://doi.org/10.3389/ftox.2022.1010185>
- Hampson, H. E., Costello, E., Walker, D. I., Wang, H., Baumert, B. O., Valvi, D., Rock, S., Jones, D. P., Goran, M. I., Gilliland, F. D., Conti, D. V., Alderete, T. L., Chen, Z., Chatzi, L., & Goodrich, J. A. (2024). Associations of dietary intake and longitudinal measures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in predominantly Hispanic young Adults: A multicohort study. *Environment International*, 108454. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108454>
- Han, X., Snow, T. A., Kemper, R. A., & Jepson, G. W. (2003). Binding of perfluorooctanoic acid to rat and human plasma proteins. *Chemical Research in Toxicology*, 16(6), 775–781.  
<https://doi.org/10.1021/tx034005w>
- Hassan, M., & El Nemr, A. (2017). Health and Environmental Impacts of Dyes: Mini Review. *American Journal of Environmental Science and Engineering*, 1, 64–67.  
<https://doi.org/10.11648/j.ajese.20170103.11>

- Haug, L. S., Thomsen, C., Brantsaeter, A. L., Kvalem, H. E., Haugen, M., Becher, G., Alexander, J., Meltzer, H. M., & Knutsen, H. K. (2010). Diet and particularly seafood are major sources of perfluorinated compounds in humans. *Environment International*, 36(7), 772–778.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.05.016>
- Hayes, J. (2019, srpen 29). *For decades, polluters knew PFAS chemicals were dangerous but hid risks from public* | Environmental Working Group. <https://www.ewg.org/research/decades-polluters-knew-pfas-chemicals-were-dangerous-hid-risks-public>
- Hertzberg, R. C., & Teuschler, L. K. (2002). Evaluating quantitative formulas for dose-response assessment of chemical mixtures. *Environmental Health Perspectives*, 110(suppl 6), 965–970.  
<https://doi.org/10.1289/ehp.02110s6965>
- Holmquist, H., Schellenberger, S., van der Veen, I., Peters, G. M., Leonards, P. E. G., & Cousins, I. T. (2016). Properties, performance and associated hazards of state-of-the-art durable water repellent (DWR) chemistry for textile finishing. *Environment International*, 91, 251–264.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.035>
- Huang, C., Zhang, N., Wang, Q., Wang, P., Yu, Y., & Zhou, M. (2021). Development of hydrophilic anti-crease finishing method for Cotton fabric using alpha-Lipoic acid without causing strength loss and formaldehyde release problem. *Progress in Organic Coatings*, 151, 106042.  
<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106042>
- Huang, R., Chen, Q., Zhang, L., Luo, K., Chen, L., Zhao, S., Feng, L., & Zhang, J. (2019). Prenatal exposure to perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances and the risk of hypertensive disorders of pregnancy. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 18(1), 5.  
<https://doi.org/10.1186/s12940-018-0445-3>
- Chang, L., She, R., Ma, L., You, H., Hu, F., Wang, T., Ding, X., Guo, Z., & Soomro, M. H. (2014). Acute testicular toxicity induced by melamine alone or a mixture of melamine and cyanuric acid in mice. *Reproductive Toxicology*, 46, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2014.02.008>
- Chen, F., Yin, S., Kelly, B. C., & Liu, W. (2017). Chlorinated Polyfluoroalkyl Ether Sulfonic Acids in Matched Maternal, Cord, and Placenta Samples: A Study of Transplacental Transfer. *Environmental Science & Technology*, 51(11), 6387–6394.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06049>
- ISO 105-B10. (2011). *International Standard ISO 105-B10 Exposure method A, Textiles- Test for colour fastness-*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:105:-B10:ed-1:v1:en>

- Jensen, A. A., & Leffers, H. (2008). Emerging endocrine disrupters: Perfluoroalkylated substances. *International Journal of Andrology*, 31(2), 161–169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2605.2008.00870.x>
- Johnson, P. I., Sutton, P., Atchley, D. S., Koustas, E., Lam, J., Sen, S., Robinson, K. A., Axelrad, D. A., & Woodruff, T. J. (2014). The Navigation Guide—Evidence-Based Medicine Meets Environmental Health: Systematic Review of Human Evidence for PFOA Effects on Fetal Growth. *Environmental Health Perspectives*, 122(10), 1028–1039. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307893>
- Joudan, S., & Lundgren, R. J. (2022). Taking the „F" out of forever chemicals. *Science (New York, N.Y.)*, 377(6608), 816–817. <https://doi.org/10.1126/science.add1813>
- Kempisty, D. M., & Racz, L. (2021). *Forever Chemicals: Environmental, Economic, and Social Equity Concerns with PFAS in the Environment*. CRC Press.
- Kissa, E. (2001). *Fluorinated Surfactants and Repellents, Second Edition*,. CRC Press.
- Kjølholt, J., Jensen, A., & M., W. (2015). *Short-chain Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). A literature review of information on human health effects and environmental fate and effect aspects of short-chain PFAS*.
- Kong, B., Wang, X., He, B., Wei, L., Zhu, J., Jin, Y., & Fu, Z. (2019). 8:2 fluorotelomer alcohol inhibited proliferation and disturbed the expression of pro-inflammatory cytokines and antigen-presenting genes in murine macrophages. *Chemosphere*, 219, 1052–1060. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.091>
- Konwinski, Kyle P, Ope, Olayinka, & The Brief. (b.r.). PFAS: The Impact of Forever Ptemicals. *ProQuest*, 2022(3). Získáno 12. únor 2024, z <https://www.proquest.com/openview/4e01c8e15f2e782ba971551319756fc4/1?cbl=17556&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=43RPtRhOdYH633zWLL9%2BDNacxRHtJTUEVMNlow3RHgw%3D>
- Kowalski, M., Salerno-Kochan, R., Kamińska, I., & Cieślak, M. (2022). Quality and Quantity Assessment of the Water Repellent Properties of Functional Clothing Materials after Washing. *Materials*, 15(11), 3825. <https://doi.org/10.3390/ma15113825>
- Krishnan, A. V., Stathis, P., Permuth, S. F., Tokes, L., & Feldman, D. (1993). Bisphenol-A: An estrogenic substance is released from polycarbonate flasks during autoclaving. *Endocrinology*, 132(6), 2279–2286. <https://doi.org/10.1210/endo.132.6.8504731>

- K. Tokranov, A., R. LeBlanc, D., M. Pickard, H., J. Ruyle, B., B. Barber, L., B. Hull, R., M. Sunderland, E., & D. Vecitis, C. (2021). Surface-water/groundwater boundaries affect seasonal PFAS concentrations and PFAA precursor transformations. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23(12), 1893–1905. <https://doi.org/10.1039/D1EM00329A>
- Kvalem, H. E., Nygaard, U. C., Lødrup Carlsen, K. C., Carlsen, K. H., Haug, L. S., & Granum, B. (2020). Perfluoroalkyl substances, airways infections, allergy and asthma related health outcomes – implications of gender, exposure period and study design. *Environment International*, 134, 105259. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105259>
- Laitala, K., & Klepp, I. (2015). *Age and active life of clothing*. [https://www.researchgate.net/publication/281034702\\_Age\\_and\\_active\\_life\\_of\\_clothing](https://www.researchgate.net/publication/281034702_Age_and_active_life_of_clothing)
- Lallas, P. L. (2001). The Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. *American Journal of International Law*, 95(3), 692–708. <https://doi.org/10.2307/2668517>
- Lanková, D., Pulkrabová, J., Válek, P., Brabcová, K., & Straková, J. (2011, 02). *Perfluorooktanová kyselina (PFOA)*. Arnika. <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/perfluorooktanova-kyselina-pfoa>
- Lassen, C., Kjølholt, J., Mikkelsen, S. H., Bossi, R., Nielsen, I. B., Allan Astrup, J., & Warming, M. (2015). *Polyfluoroalkyl substances (PFASs) in textiles for children*. The Danish Environmental Protection Agency. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/04/978-87-93352-12-4.pdf>
- Leeson, A., Thompson, T., Stroo, H. F., Anderson, R. H., Speicher, J., Mills, M. A., Willey, J., Coyle, C., Ghosh, R., Lebrón, C., & Patton, C. (2021). Identifying and Managing Aqueous Film-Forming Foam-Derived Per- and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(1), 24–36. <https://doi.org/10.1002/etc.4894>
- Lellis, B., Fávoro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A., & Polonio, J. C. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275–290. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>
- Lesmeister, L., Lange, F. T., Breuer, J., Biegel-Engler, A., Giese, E., & Scheurer, M. (2021). Extending the knowledge about PFAS bioaccumulation factors for agricultural plants—A review. *The Science of the Total Environment*, 766, 142640. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142640>

- Li, S., Huang, J., Chen, Z., Chen, G., & Lai, Y. (2017). A review on special wettability textiles: Theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(1), 31–55. <https://doi.org/10.1039/C6TA07984A>
- Lomax Robert, G. (2007). Breathable polyurethane membranes for textile and related industries. *Journal of Materials Chemistry*, 17(27), 2775–2784. <https://doi.org/10.1039/B703447B>
- Lopata, A. L., Adams, S., Kirstein, F., Henwood, N., Raulf-Heimsoth, M., & Jeebhay, M. F. (2007). Occupational Allergy to Latex among Loom Tuners in a Textile Factory. *International Archives of Allergy and Immunology*, 144(1), 64–68. <https://doi.org/10.1159/000102616>
- Lu, D., Sha, S., Luo, J., Huang, Z., & Zhang Jackie, X. (2020). Treatment train approaches for the remediation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 386, 121963. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121963>
- Lu, Y., Meng, L., Ma, D., Cao, H., Liang, Y., Liu, H., Wang, Y., & Jiang, G. (2021). The occurrence of PFAS in human placenta and their binding abilities to human serum albumin and organic anion transporter 4. *Environmental Pollution*, 273, 116460. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116460>
- Maizel, A. (2023). *Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Firefighter Turnout Gear Textiles Exposed to Abrasion, Elevated Temperature, Laundering, or Weathering* (No. NIST TN 2260; s. NIST TN 2260). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2260>
- Maizel, A., Thompson, A., Tighe, M., Escobar Veras, S., Rodowa, A., Falkenstein-Smith, R., Benner Jr, B. A., Hoffman, K., Donnelly, M. K., Hernandez, O., Wetzler, N., Ngu, T., Reiner, J., Place, B., Kucklick, J., Rimmer, K., & Davis, R. D. (2023). *Per- and polyfluoroalkyl substances in new firefighter turnout gear textiles* (No. NIST TN 2248; s. NIST TN 2248). National Institute of Standards and Technology (U.S.). <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2248>
- Masoner, J. R., Kolpin, D. W., Cozzarelli, I. M., Smalling, K. L., Bolyard, S. C., Field, J. A., Furlong, E. T., Gray, J. L., Lozinski, D., Reinhart, D., Rodowa, A., & Bradley, P. M. (2020). Landfill leachate contributes per-/poly-fluoroalkyl substances (PFAS) and pharmaceuticals to municipal wastewater. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(5), 1300–1311. <https://doi.org/10.1039/D0EW00045K>
- Mattiuzzi, C., & Lippi, G. (2020). Worldwide asthma epidemiology: Insights from the Global Health Data Exchange database. *International Forum of Allergy & Rhinology*, 10(1), 75–80. <https://doi.org/10.1002/alr.22464>

- Mazumder, N.-U.-S., Hossain, M. T., Jahura, F. T., Girase, A., Hall, A. S., Lu, J., & Ormond, R. B. (2023). Firefighters' exposure to per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) as an occupational hazard: A review. *Frontiers in Materials*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1143411>
- Meek, M. E. B., Boobis, A. R., & Crofton, K. M. (2011). Risk assessment of combined exposure to multiple chemicals: A WHO/IPCS framework. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 60(2), S1–S14. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2011.03.010>
- Miner, K. R., Clifford, H., Taruscio, T., Potocki, M., Solomon, G., Ritari, M., Napper, I. E., Gajurel, A. P., & Mayewski, P. A. (2021). Deposition of PFAS „forever chemicals" on Mt. Everest. *The Science of the Total Environment*, 759, 144421. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144421>
- Mokoana, V. N., Asante, J. K., & Okonkwo, O. J. (2023). A review on volatilization of flame retarding compounds from polymeric textile materials used in firefighter protective garment. *Journal of Fire Sciences*, 41(4), 107–121. <https://doi.org/10.1177/07349041231171349>
- Mokra, K. (2021). Endocrine Disruptor Potential of Short- and Long-Chain Perfluoroalkyl Substances (PFASs)-A Synthesis of Current Knowledge with Proposal of Molecular Mechanism. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 2148. <https://doi.org/10.3390/ijms22042148>
- Müller, C. E., LeFevre, G. H., Timofte, A. E., Hussain, F. A., Sattely, E. S., & Luthy, R. G. (2016). Competing mechanisms for perfluoroalkyl acid accumulation in plants revealed using an Arabidopsis model system. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(5), 1138–1147. <https://doi.org/10.1002/etc.3251>
- MŽP. (2022, duben). *Zpráva o plnění cílů Plánu odpadového hospodářství České republiky za období 2019–2020*. [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni\\_narizeni\\_vlady/\\$FILE/OODP-Hodnotici\\_zprava\\_POH\\_CR\\_2019\\_2020-20220807.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/$FILE/OODP-Hodnotici_zprava_POH_CR_2019_2020-20220807.pdf)
- MŽP. (2023a, květen 10). *Vláda schválila lepší ochranu vod, zpřísnila ohlašovací práh pro kyanidy*. [https://www.mzp.czc/news\\_20230510-Vlada-schvalila-lepsi-ochranu-vod-zprisnila-ohlasovaci-prah-pro-kyanidy](https://www.mzp.czc/news_20230510-Vlada-schvalila-lepsi-ochranu-vod-zprisnila-ohlasovaci-prah-pro-kyanidy)
- MŽP, M. (2023b, prosinec 5). *Povinný sběr textilu začne platit od roku 2025. První volbou by ale měla být cirkulární druhá šance*. [https://www.mzp.czc/news\\_20231204\\_Povinnysber-textilu-zacne-platit-od-roku-2025-Prvni-volbou-by-ale-mela-byt-cirkularni-druha-sance](https://www.mzp.czc/news_20231204_Povinnysber-textilu-zacne-platit-od-roku-2025-Prvni-volbou-by-ale-mela-byt-cirkularni-druha-sance)

- Ng, C., Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Glüge, J., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Miller, M., Patton, S., Scheringer, M., Trier, X., & Wang, Z. (2021). Addressing Urgent Questions for PFAS in the 21st Century. *Environmental Science & Technology*, 55(19), 12755–12765. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03386>
- Nikolina, S. (2019). *Environmental impact of the textile and clothing industry*. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS\\_BRI\(2019\)633143](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2019)633143)
- Nikwax. (2024). *Nikwax*. [nikwax. https://www.nikwax.cz/procnikwax](https://www.nikwax.cz/procnikwax)
- O'Hagan, D. (2008). Understanding organofluorine chemistry. An introduction to the C-F bond. *Chemical Society Reviews*, 37(2), 308–319. <https://doi.org/10.1039/b711844a>
- Olney, S., Jones, M., Rockwell, C., Collins, R. D., Bryant, J. D., & Occhialini, J. (2023). Influence of convective and stratiform precipitation types on *per*- and polyfluoroalkyl substance concentrations in rain. *Science of The Total Environment*, 890, 164051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164051>
- Peaslee, G. F., Wilkinson, J. T., McGuinness, S. R., Tighe, M., Caterisano, N., Lee, S., Gonzales, A., Roddy, M., Mills, S., & Mitchell, K. (2020). Another Pathway for Firefighter Exposure to Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Firefighter Textiles. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(8), 594–599. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00410>
- Pérez, F., Nadal, M., Navarro-Ortega, A., Fàbrega, F., Domingo, J. L., Barceló, D., & Farré, M. (2013). Accumulation of perfluoroalkyl substances in human tissues. *Environment International*, 59, 354–362. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.06.004>
- Peritore, A. F., Gugliandolo, E., Cuzzocrea, S., Crupi, R., & Britti, D. (2023). Current Review of Increasing Animal Health Threat of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): Harms, Limitations, and Alternatives to Manage Their Toxicity. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(14), 11707. <https://doi.org/10.3390/ijms241411707>
- Piippo, R., Niinimäki, K., & Aakko, M. (2022). Fit for the Future: Garment Quality and Product Lifetimes in a CE Context. *Sustainability*, 14, 726. <https://doi.org/10.3390/su14020726>
- Porav, A. V. (2012). Annals of the University of Oradea Fascicle of Textiles, Leatherwork: GORE-TEX and sympatex textile waterproofing. *Cellular Polymers*, 31(2), 120–121.
- Protano, C., Buomprisco, G., Cammalleri, V., Pocino, R. N., Marotta, D., Simonazzi, S., Cardoni, F., Petyx, M., Iavicoli, S., & Vitali, M. (2021). The Carcinogenic Effects of Formaldehyde Occupational Exposure: A Systematic Review. *Cancers*, 14(1), 165. <https://doi.org/10.3390/cancers14010165>



- Ragnarsdóttir, O., Abdallah, M. A.-E., & Harrad, S. (2022). Dermal uptake: An important pathway of human exposure to perfluoroalkyl substances? *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 307, 119478. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119478>
- Ramírez Carnero, A., Lestido-Cardama, A., Vazquez Loureiro, P., Barbosa-Pereira, L., Rodríguez Bernaldo de Quirós, A., & Sendón, R. (2021). Presence of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food Contact Materials (FCM) and Its Migration to Food. *Foods*, 10(7), 1443. <https://doi.org/10.3390/foods10071443>
- Reinikainen, J., Perkola, N., Äystö, L., & Sorvari, J. (2022). The occurrence, distribution, and risks of PFAS at AFFF-impacted sites in Finland. *The Science of the Total Environment*, 829, 154237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154237>
- Repeš, K. (2023). *Impregnační spreje bez PFAS*. <https://arnika.org/impregnacni-spreje-bez-pfas>
- Rickard, B. P., Rizvi, I., & Fenton, S. E. (2022). Per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) and female reproductive outcomes: PFAS elimination, endocrine-mediated effects, and disease. *Toxicology*, 465, 153031. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2021.153031>
- Rodgers, K. M., Swartz, C. H., Occhialini, J., Bassignani, P., McCurdy, M., & Schaidler, L. A. (2022). How Well Do Product Labels Indicate the Presence of PFAS in Consumer Items Used by Children and Adolescents? *Environmental Science & Technology*, 56(10), 6294–6304. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05175>
- Roth, K., Imran, Z., Liu, W., & Petriello, M. C. (2020). Diet as an Exposure Source and Mediator of Per- and Polyfluoroalkyl Substance (PFAS) Toxicity. *Frontiers in Toxicology*, 2, 601149. <https://doi.org/10.3389/ftox.2020.601149>
- Russell, M. H., Berti, W. R., Szostek, B., & Buck, R. C. (2008). Investigation of the Biodegradation Potential of a Fluoroacrylate Polymer Product in Aerobic Soils. *Environmental Science & Technology*, 42(3), 800–807. <https://doi.org/10.1021/es0710499>
- Santen, M., Brigden, K., & Cobbing, M. (2016). *Leaving Traces: The hidden hazardous chemicals in outdoor gear Greenpeace product test 2016*. [https://www.greenpeace.org/static/planet4-slovenia-stateless/2019/03/d526e359-d526e359-detox\\_outdoor\\_leaving\\_traces\\_cpt\\_2016.pdf](https://www.greenpeace.org/static/planet4-slovenia-stateless/2019/03/d526e359-d526e359-detox_outdoor_leaving_traces_cpt_2016.pdf)
- Savoca, D., & Pace, A. (2021). Bioaccumulation, Biodistribution, Toxicology and Biomonitoring of Organofluorine Compounds in Aquatic Organisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/ijms22126276>

- Semerád, J., Horká, P., Filipová, A., Kukla, J., Holubová, K., Musilová, Z., Jandová, K., Frouz, J., & Cajthaml, T. (2022). The driving factors of per- and polyfluorinated alkyl substance (PFAS) accumulation in selected fish species: The influence of position in river continuum, fish feed composition, and pollutant properties. *Science of The Total Environment*, 816, 151662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151662>
- Shen, Y., Wang, L., Ding, Y., Liu, S., Li, Y., Zhou, Z., & Liang, Y. (2023). Trends in the Analysis and Exploration of per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Environmental Matrices: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/10408347.2023.2231535>
- SCHEER. (2022, srpen 18). *SCHEER - Scientific Opinion on „Draft Environmental Quality Standards for Priority Substances under the Water Framework Directive”—PFAS - European Commission*. [https://health.ec.europa.eu/publications/scheer-scientific-opinion-draft-environmental-quality-standards-priority-substances-under-water\\_en](https://health.ec.europa.eu/publications/scheer-scientific-opinion-draft-environmental-quality-standards-priority-substances-under-water_en)
- Schellenberger, S., Jönsson, C., Mellin, P., Levenstam, O. A., Liagkouridis, I., Ribbenstedt, A., Hanning, A.-C., Schultes, L., Plassmann, M. M., Persson, C., Cousins, I. T., & Benskin, J. P. (2019). Release of Side-Chain Fluorinated Polymer-Containing Microplastic Fibers from Functional Textiles During Washing and First Estimates of Perfluoroalkyl Acid Emissions. *Environmental Science & Technology*, 53(24), 14329–14338. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04165>
- Schellenberger, S., Liagkouridis, I., Awad, R., Khan, S., Plassmann, M., Peters, G., Benskin, J. P., & Cousins, I. T. (2022). An Outdoor Aging Study to Investigate the Release of Per- And Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Functional Textiles. *Environmental Science & Technology*, 56(6), 3471–3479. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06812>
- Schindler, W. D., & Hauser, P. J. (2004). Chemical Finishing of Textiles. In *Chemical Finishing of Textiles* (s. 74–86). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845690373.74>
- Schlummer, M., Gruber, L., Fiedler, D., Kizlauskas, M., & Müller, J. (2013). Detection of fluorotelomer alcohols in indoor environments and their relevance for human exposure. *Environment International*, 57–58, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.03.010>
- Schreder, E., & Goldberg, M. (2022, leden). *Toxic Convenience: The hidden costs of forever chemicals in stain- and water-resistant products*. <https://toxicfreefuture.org/wp-content/uploads/2022/08/toxic-convenience.pdf>

- Siddiqui, W. H., Stump, D. G., Plotzke, K. P., Holson, J. F., & Meeks, R. G. (2007). A two-generation reproductive toxicity study of octamethylcyclotetrasiloxane (D4) in rats exposed by whole-body vapor inhalation. *Reproductive Toxicology (Elmsford, N.Y.)*, 23(2), 202–215.  
<https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2006.11.011>
- Skinner, C. G., Thomas, J. D., & Osterloh, J. D. (2010). Melamine Toxicity. *Journal of Medical Toxicology*, 6(1), 50–55. <https://doi.org/10.1007/s13181-010-0038-1>
- Směrnice Evropského parlamentu a rady 2006/122/ES. (2006, 12). *Směrnice Evropského parlamentu a rady 2006/122/ES. Úřední věstník Evropské unie.*  
<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:372:0032:0034:cs:PDF>
- Spaan, K. M., Seilitz, F., Plassmann, M. M., De Wit, C. A., & Benskin, J. P. (2023). Pharmaceuticals Account for a Significant Proportion of the Extractable Organic Fluorine in Municipal Wastewater Treatment Plant Sludge. *Environmental Science & Technology Letters*, 10(4), 328–336. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00108>
- Starková, J., Brosché, S., & Brabcová, K. (2023). *Toxics in Our Clothing Forever Chemicals in Jackets and Clothing from 13 Countries.*  
<https://www.greenhome.co.me/wp-content/uploads/2024/01/Toxics-in-our-clothing-IPEN.pdf>
- Státní zdravotní ústav. (2021). *Zpráva o kvalitě pitné vody v ČR za rok 2021.*  
[https://www.khsbrno.cz/dokumenty/hok/smzso\\_pitna\\_voda\\_zprava\\_2021.pdf](https://www.khsbrno.cz/dokumenty/hok/smzso_pitna_voda_zprava_2021.pdf)
- Steenland, K., Kugathasan, S., & Barr, D. B. (2018). PFOA and ulcerative colitis. *Environmental Research*, 165, 317–321. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.007>
- Stockholm Convention. (2006). *PFASs listed under the Stockholm Convention.*  
<https://chm.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PFOS/Overview/tabid/5221/Default.aspx>
- Straková, J., Brabcová, K., Cajthaml, T., & Semerád, J. (2022). *Věčné chemikálie v bundách od českých výrobců.* <https://arnika.org/vecne-chemikalie-v-bundach-od-ceskych-vyrobcu>
- Sun, Z., Wen, Y., Wang, B., Deng, S., Zhang, F., Fu, Z., Yuan, Y., & Zhang, D. (2023). Toxic effects of per- and polyfluoroalkyl substances on sperm: Epidemiological and experimental evidence. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1114463. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1114463>
- Svedlund, J., & Skedung, L. (2022). *PFAS Substitution Guide.*  
[https://www.ri.se/sites/default/files/2022-09/PFAS\\_Substitution\\_Guide\\_for\\_Textile\\_Supply\\_Chains.pdf](https://www.ri.se/sites/default/files/2022-09/PFAS_Substitution_Guide_for_Textile_Supply_Chains.pdf)

- Tarapore, P., & Ouyang, B. (2021). Perfluoroalkyl Chemicals and Male Reproductive Health: Do PFOA and PFOS Increase Risk for Male Infertility? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3794. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073794>
- Thompson, J. T., Chen, B., Bowden, J. A., & Townsend, T. G. (2023). Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Toilet Paper and the Impact on Wastewater Systems. *Environmental Science & Technology Letters*, 10(3), 234–239. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00094>
- Titaley, I. A., De La Cruz, F. B., Barlaz, M. A., & Field, J. A. (2023). Neutral Per- and Polyfluoroalkyl Substances in *In Situ* Landfill Gas by Thermal Desorption–Gas Chromatography–Mass Spectrometry. *Environmental Science & Technology Letters*, 10(3), 214–221. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.3c00037>
- Tokranov, A. K., LeBlanc, D. R., Pickard, H. M., Ruyle, B. J., Barber, L. B., Hull, R. B., Sunderland, E. M., & Vecitis, C. D. (2021). Surface-water/groundwater boundaries affect seasonal PFAS concentrations and PFAA precursor transformations. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23(12), 1893–1905. <https://doi.org/10.1039/D1EM00329A>
- Uddin, F. (2021). Environmental hazard in textile dyeing wastewater from local textile industry. *Cellulose*, 28(17), 10715–10739. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04228-4>
- Uhlmann, D. M. (2023). FY 2024 – 2027 National Enforcement and Compliance Initiatives. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-08/fy2024-27necis.pdf>
- UNEP. (2006, listopad). *Perfluorooctane Sulfonate Risk Profile. Adopted by the Persistent Organic Pollutants Review Committee at its second meeting.* <https://chm.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PFOS/Overview/tabid/5221/Default.aspx>
- UNEP. (2017). *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.* <https://www.informea.org/sites/default/files/imported-documents/UNEP-POPS-POPRC.13-3.English.pdf>
- USEPA. (2017). *EPA's Non-CBI Summary Tables for 2015 Company Progress Reports (Final Progress Reports).* USEPA. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-02/documents/2016\\_pfoa\\_stewardship\\_summary\\_table\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-02/documents/2016_pfoa_stewardship_summary_table_0.pdf)
- Van Der Veen, I., Schellenberger, S., Hanning, A.-C., Stare, A., De Boer, J., Weiss, J. M., & Leonards, P. E. G. (2022). Fate of Per- and Polyfluoroalkyl Substances from Durable Water-Repellent

- Clothing during Use. *Environmental Science & Technology*, 56(9), 5886–5897.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c07876>
- van der Veen, I., Hanning, A.-C., Stare, A., Leonards, P. E. G., de Boer, J., & Weiss, J. M. (2020). The effect of weathering on per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from durable water repellent (DWR) clothing. *Chemosphere*, 249, 126100.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126100>
- Van Gerwen, M., Colicino, E., Guan, H., Dolios, G., Nadkarni, G. N., Vermeulen, R. C. H., Wolff, M. S., Arora, M., Genden, E. M., & Petrick, L. M. (2023). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) exposure and thyroid cancer risk. *eBioMedicine*, 97, 104831.  
<https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2023.104831>
- Váňa, M., Mičaník, T., Kristová, A., Plecítá, M., Sýkora, F., & Břicháčková, A. (2023). Výskyt vybraných látek ze skupiny PFAS v průmyslových a komunálních odpadních vodách.  
<https://cevooh.cz/wp-content/uploads/2024/02/V167.pdf>
- Verbič, A., Golja, B., Stres, B., Likozar, B., & Novak, U. (2024). Unveiling PFAS-free Solutions for Hydrophobic and Oleophobic Textile Coatings. *Socratic lectures 10 - Part I*, 148–156.  
<https://doi.org/10.55295/PSL.2024.I19>
- Vestergren, R., Cousins, I. T., Trudel, D., Wormuth, M., & Scheringer, M. (2008). Estimating the contribution of precursor compounds in consumer exposure to PFOS and PFOA. *Chemosphere*, 73(10), 1617–1624. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.08.011>
- Vláda ČR. (2023, květen 10). *Výsledky jednání vlády 10. Května 2023*.  
<https://www.vlada.cz/cz/media-centrum/aktualne/vysledky-jednani-vlady-10--kvetna-2023-205330/>
- Wang, Z., DeWitt, J. C., Higgins, C. P., & Cousins, I. T. (2017). A Never-Ending Story of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)? *Environmental Science & Technology*, 51(5), 2508–2518.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04806>
- Wang, Zhanyun, & C. Buck, Robert. (2021). *Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance*. Organisation for Economic Co-operation and Development.  
[https://one.oecd.org/document/ENV/CBC/MONO\(2021\)25/En/pdf](https://one.oecd.org/document/ENV/CBC/MONO(2021)25/En/pdf)
- Watkins, S. (1984). *Clothing: The portable environment*.
- Weckmann, R. (2011). 11—Allergies caused by textiles. In V. T. Bartels (Ed.), *Handbook of Medical Textiles* (s. 267–279). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093691.2.267>

- Weil, E. D., & Levchik, S. V. (2016). Flame Retardants in Commercial Use or Development for Textiles. In E. D. Weil & S. V. Levchik, *Flame Retardants for Plastics and Textiles* (s. 265–302). Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. [https://doi.org/10.1007/978-1-56990-579-1\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-56990-579-1_11)
- Witt, C. C., Gadek, C. R., Cartron, J.-L. E., Andersen, M. J., Campbell, M. L., Castro-Farías, M., Gyllenhaal, E. F., Johnson, A. B., Malaney, J. L., Montoya, K. N., Patterson, A., Vinciguerra, N. T., Williamson, J. L., Cook, J. A., & Dunnum, J. L. (2024). Extraordinary levels of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in vertebrate animals at a new Mexico desert oasis: Multiple pathways for wildlife and human exposure. *Environmental Research*, 118229. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118229>
- Xia, C., Diamond, M. L., Peaslee, G. F., Peng, H., Blum, A., Wang, Z., Shalin, A., Whitehead, H. D., Green, M., Schwartz-Narbonne, H., Yang, D., & Venier, M. (2022). Per- and Polyfluoroalkyl Substances in North American School Uniforms. *Environmental Science & Technology*, 56(19), 13845–13857. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02111>
- Yakhshi-Tafti, E., Kumar, R., & Cho, H. J. (2011). Measurement of Surface Interfacial Tension as a Function of Temperature Using Pendant Drop Images. *International Journal of Optomechatronics*, 5(4), 393–403. <https://doi.org/10.1080/15599612.2011.633206>
- Yang, Y., Xiong, G.-J., Yu, D.-F., Cao, J., Wang, L.-P., Xu, L., & Mao, R.-R. (2012). Acute low-dose melamine affects hippocampal synaptic plasticity and behavior in rats. *Toxicology Letters*, 214(1), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.08.010>
- Zahid, M., Mazzon, G., Athanassiou, A., & Bayer, I. S. (2019). Environmentally benign non-wettable textile treatments: A review of recent state-of-the-art. *Advances in Colloid and Interface Science*, 270, 216–250. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.06.001>
- Zákon o odpadech 541/2020 Sb. (b.r.). 541/2020 Sb. *Zákon o odpadech*. *Zákony pro lidi*. Získáno 23. březem 2024, z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>
- ZDHC. (2012). *Durable Water and Soil repellent chemistry in the textile industry – a research report*. [https://outdoorindustry.org/wp-content/uploads/2015/05/FINAL\\_ZDHC\\_P05\\_DWR-Research\\_Nov20121.pdf](https://outdoorindustry.org/wp-content/uploads/2015/05/FINAL_ZDHC_P05_DWR-Research_Nov20121.pdf)
- Zhang, X., Xue, L., Deji, Z., Wang, X., Liu, P., Lu, J., Zhou, R., & Huang, Z. (2022). Effects of exposure to per- and polyfluoroalkyl substances on vaccine antibodies: A systematic review and meta-analysis based on epidemiological studies. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 306, 119442. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119442>

- Zhang, X., Zhao, L., Ducatman, A., Deng, C., von Stackelberg, K. E., Danford, C. J., & Zhang, X. (2023). Association of per- and polyfluoroalkyl substance exposure with fatty liver disease risk in US adults. *JHEP Reports*, 5(5), 100694. <https://doi.org/10.1016/j.jhepr.2023.100694>
- Zheng, G., & Salamova, A. (2020). Are Melamine and Its Derivatives the Alternatives for Per- and Polyfluoroalkyl Substance (PFAS) Fabric Treatments in Infant Clothes? *Environmental Science & Technology*, 54(16), 10207–10216. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03035>
- Zhou, T., Li, X., Liu, H., Dong, S., Zhang, Z., Wang, Z., Li, J., Nghiem, L. D., Khan, S. J., & Wang, Q. (2024). Occurrence, fate, and remediation for per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in sewage sludge: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 466, 133637. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133637>
- Zhou, Y., Lin, X., Xing, Y., Zhang, X., Lee, H. K., & Huang, Z. (2023). Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Personal Hygiene Products: The Implications for Human Exposure and Emission to the Environment. *Environmental Science & Technology*, 57(23), 8484–8495. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08912>