



M. Miloloža*

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Trg Marka Marulića 19, 10 000 Zagreb

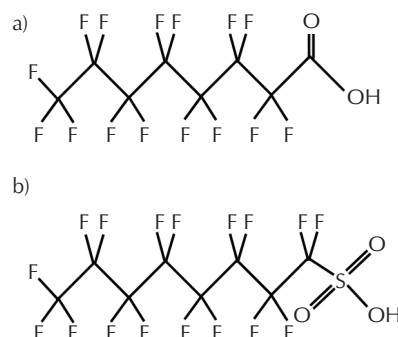
Potencijalna štetnost perfluoriranih alkiliranih tvari

Perfluorirane alkilirane tvari, PFAS, ubrajaju se u skupinu od više od 4 700 kemikalija koje je proizveo čovjek, a dvije najpoznatije su perfluorooktanska kiselina (PFOA) i perfluorooktan sulfonska kiselina (PFOS)¹ (slika 1). PFAS-i predstavljaju skupinu organskih kemikalija koje sadrže stabilan (nereaktivan) segment fluoro-ugljika. Dok se dugolančani PFAS akumulira u ljudima, životinjama i tlu, kratkolančani PFAS se zbog svoje postojanosti i visoke pokretljivosti u vodi akumulira u okolišu.^{2,3}

PFAS-i se upotrebljavaju u raznim potrošačkim proizvodima i industrijskim primjenama zbog svojih jedinstvenih fizikalnih i kemijskih svojstava. Upotrebljavaju se u pjenama za gašenje požara, neljepljivim metalnim premazima za tave, papirnatim pakiranjima za hranu, kremama i kozmetici, tekstilu za namještaj i odjeći za van, bojama, pesticidima i lijekovima. Proizvodnja i uporaba PFAS-a glavni su izvori preko kojih PFAS-i dospijevaju u okoliš; primjerice iz postrojenja za proizvodnju fluoropolimera i upotrebom pjena za gašenje požara koje sadrži PFAS.⁴ Ostali izvori uključuju PFAS-e koji se proizvode i primjenjuju na tekstil i papir te objekte za slikanje/tisak.⁵ Emisije PFAS-a u okolišu dospijevaju i putem postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda.⁶

Glavni putevi izloženosti za ljude i okoliš prikazani su na slici 2. Za opću populaciju izvori PFAS-a uključuju pitku vodu, hranu poput riba i školjki, proizvoda za osobnu higijenu te prašinu.⁷ Ljudi su izravno izloženi PFAS-u putem krema za kožu i kozmetike^{6,8} ili putem sprejeva koji ih sadrže te prašine s tekstila presvučenog PFAS-om. Do izloženosti potrošača može doći i drugim putevima, poput proizvoda za poliranje i čišćenje poda, drva, kamena i/ili automobila. Iako se PFAS-i upotrebljavaju u lijekovima i medicinskoj opremi, malo je informacija o izloženosti tim putevima. Nadalje, životinje koje se uzgajaju na onečišćenome zemljištu mogu akumulirati PFAS u organizam, što dovodi do onečišćenoga mesa, mlijeka i jaja.⁹

PFAS-i su sveprisutni u vodenom okolišu i organizmima diljem Europe,¹⁰ a pronađeni su i u zraku, tlu te biljkama.¹¹ Utvrđeno je da su područja oko industrijske proizvodnje i mjesta primjene PFAS-a posebno njima onečišćena. To je dovelo do onečišćene vode za piće oko tvornica u Belgiji, Italiji i Nizozemskoj te oko zračnih luka i vojnih baza u Njemačkoj, Švedskoj i Ujedinjenom Kraljevstvu.⁴ I ljudi tijekom života akumuliraju PFAS u svojim tijelima. Europska agencija za sigurnost hrane (EFSA) 2018. godine je procijenila toksičnost PFOA-a i PFOS-a, što je rezultiralo znatno nižim maksimalno dopuštenim koncentracijama, poznatim kao "tolerable weekly intake" (TWI). Prema procjeni, znatan će udio europskog stanovništva premašiti TWI zbog unosa PFAS-a iz hrane i vode za piće. Međunarodna agencija za istraživanje raka, koja je dio Svjetske zdravstvene organizacije, PFOS smatra mogućim karcinogenom za ljude. U studijama na ljudima, visoka izloženost toj kemikaliji povezana je s bolešću štitnjače, oštećenjem



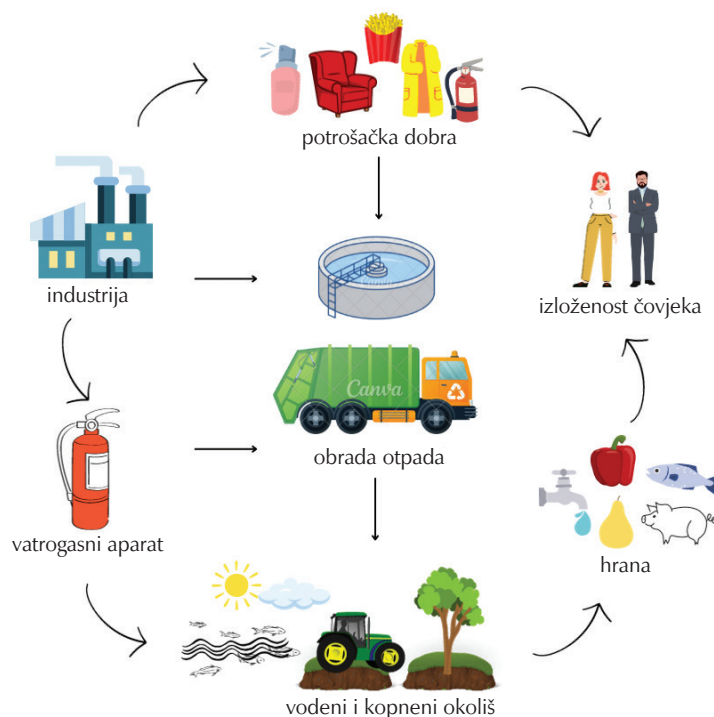
Slika 1 – Prikaz struktura a) perfluorooktanske i b) perfluorooktan sulfonske kiseline

jetra, povećanom razinom kolesterola te rakom testisa i bubrega. Također postoje povećani rizici za trudnice, kao što su viši krvni tlak, manja porođajna težina bebe i smanjen odgovor na cjepiva.⁷

Studija ljudskog biomonitoringa u regiji Veneto istraživala je izloženost ljudi PFOA-u i PFOS-u u razdoblju 2015. – 2016. među 257 talijanskih stanovnika onečišćenih područja i 250 stanovnika pozadinskih područja.⁹ Koncentracije PFOA u krvi stanovnika onečišćenih područja bile su od 9 do 64 puta veće od onih koncentracija dobivenih za stanovnike pozadinskih područja. Za PFOS razine su bile 1,4 – 1,6 puta više. Diljem Europe nekoliko je zemalja aktivno pratilo PFAS u okolišu, kao i u ljudima i proizvodima. Neke su zemlje postavile nacionalne granične vrijednosti za vodu i tlo (poput Danske, Njemačke, Nizozemske i Švedske), za tekstil (Norveška) i za materijale koji dolaze u dodir s hranom (Danska). Na razini Europske unije (EU) upotreba PFOS-a je ograničena Uredbom EU-a o postojećim organskim onečišćujućim tvarima.¹² PFOA i njezini prekursori trenutno su ograničeni Uredbom o registraciji, evaluaciji, autorizaciji i ograničenju kemikalija (REACH),¹³ uključujući njihovu prisutnost u proizvodima proizvedenim ili uvezenim u EU-u.

Građanima je teško u potpunosti izbjeći izlaganje PFAS-u, no smanjenje izloženosti može se postići uporabom proizvoda za osobnu njegu i materijala za kuhanje bez PFAS-a te izbjegavanjem izravnog kontakta s proizvodima koji sadrže PFAS. Smanjena izloženost PFAS-u može se postići i uporabom potrošačkih proizvoda sa zelenim etiketama. Opće i specifične smjernice za potrošače i tvrtke o tome kako pronaći alternative bez PFAS-a, najčešće omogućuju organizacije potrošača. Međutim, stroži propisi o uporabi i odlaganju PFAS-a od ključnog su značaja budući da su oni još uvijek uglavnom neregulirani. Dakle, trebaju se razviti planovi upravljanja cijelom PFAS klasom spojeva da bi se zaštitilo javno zdravlje dok se razvijaju sigurnije alternative.

*Dr. sc. Martina Miloloža
e-pošta: miloloza@fkit.unizg.hr



Slika 2 – Tipični putevi izlaganja PFAS-u

Literatura

1. *OECD, About PFASs – OECD Portal on Per and Poly Fluorinated Chemicals*, 2018.
2. *German EPA, Protecting the sources of our drinking water from mobile chemicals*, Umweltbundesamt, 2017.
1. *German EPA, PFC-Planet: Chemikalien in der Umwelt*, Umweltbundesamt, 2018.
3. X. C. Hu, D. Q. Andrews, A. B. Lindstrom, T. A. Bruton, L. A. Schaider, P. Grandjean, R. Lohnmann, C. C. Carignan, A. Blum, S. A. Balan, C. P. Higgins, E. M. Sunderland, Detection of poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in U.S. drinking water linked to industrial sites, military fire training areas, and wastewater treatment plants, *Environ. Sci. Technol. Lett.* **3** (2016) 344–350, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.6b00260>.
4. *Danish EPA, Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder*, Miljøprojekt No 1600, 2014.
5. U. Eriksson, P. Haglund, A. Kärrman, Contribution of precursor compounds to the release of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from waste water treatment plants (WWTPs), *J. Environ. Sci. (China)* **61** (2017) 80–90, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.05.004>.
6. *EFSA, Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food*, 2018.
7. L. Schultes, R. Vestergren, K. Volikova, E. Westberg, T. Jacobson, J. P. Benskin, Per- and polyfluoroalkyl substances and fluorine mass balance in cosmetic products from the Swedish market: implications for environmental emissions and human exposure, *Environ. Sci. Process. Impacts.* **20** (2018) 1680–1690, doi: <https://doi.org/10.1039/C8EM00368H>.
8. A. M. Ingelido, A. Abballe, S. Gemma, E. Dellatte, N. Iacovella, G. De Angelis, F. Zampaglioni, V. Marra, R. Miniero, S. Valentini, F. Russo, M. Vazzoler, E. Testai, E. De Felip, Biomonitoring of perfluorinated compounds in adults exposed to contaminated drinking water in the Veneto Region, Italy, *Environ. Int.* **110** (2017) 149–159, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.026>.
9. S. Valsecchi, M. Rusconi, S. Polesello, Determination of perfluorinated compounds in aquatic organisms: a review, *Anal. Bioanal. Chem.* **405** (2013) 143–157, doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-012-6492-7>.
10. M. Houde, J. W. Martin, R. J. Letcher, K. R. Solomon, D. C. G. Muir, Biological monitoring of polyfluoroalkyl substances: a review, *Environ. Sci. Technol.* **40** (2013) 3463–3473, doi: <https://doi.org/10.1021/es052580b>.
11. *EU, Regulation (EU) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on persistent organic pollutants (Text with EEA relevance.)*, 2019.
12. *EU, Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC*, 2006.