

Perfluorowane związki organiczne PFAS – nowe wyzwanie w przygotowaniu wody do spożycia

PFAS perfluorinated organic compounds
– a new challenge in preparing water for consumption

MARIA WŁODARCZYK-MAKUŁA, IZABELA ZIMOCH

DOI 10.36119/15.2024.1.6

Celem pracy była ogólna charakterystyka organicznych mikrozanieczyszczeń z grupy perfluorowanych surfaktantów (PFAS) w kontekście proponowanych zmian w przepisach prawnych dotyczących wody do spożycia. Zmiany te są konieczne ze względu na wpisanie PFAS w Dyrektywie wodnej na listę związków, których kontrola w wodzie do spożycia będzie wymagana i monitorowana. Do grupy PFAS zalicza się kilka tysięcy związków, w strukturze których fluor jest przyłączony zamiast wodoru do łańcucha (prostego lub rozgałęzionego) alifatycznych węglowodorów. Oznaczanie stężeń tych związków w wodzie będzie wyzwaniem dla przedsiębiorstw wodociągowych i podziemnych, będących źródłem zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia konieczne będzie wprowadzenie ich do bieżącego monitorowania. Jest to istotne dla zdrowia ludności ze względu na potencjalnie toksyczne oddziaływanie tych związków. W artykule opisano właściwości związków perfluorowanych, oddziaływanie na organizmy, dopuszczalne stężenia PFAS w wodzie do spożycia określone w przepisach prawnych w innych krajach oraz metody ich oznaczania.

Słowa kluczowe: PFAS, surfaktanty, woda do spożycia, przepisy prawne, chromatografia

The aim of the article was a general characterization of organic micropollutants from the group of perfluorinated surfactants (PFAS) in the context of proposed changes in legal regulations regarding drinking water. These changes are necessary due to the inclusion of PFAS in the Water Directive on the list of compounds whose control in drinking water will be required and monitored. The PFAS group includes several thousand compounds in the structure of which fluorine is attached instead of hydrogen to a chain (straight or branched) of aliphatic hydrocarbons. Determining the concentrations of these compounds in water will be a challenge for water supply companies due to analytical difficulties. Due to the presence of these compounds in surface and groundwater, which is the source of drinking water for the population, it will be necessary to include them in ongoing monitoring. This is important for the health of the population due to the potentially toxic effects of these compounds. The article describes the properties of perfluorinated compounds, their impact on organisms, the permissible concentrations of PFAS in drinking water specified in legal regulations in other countries, and the analytical methodology of these compounds.

Keywords: PFAS, surfactants, drinking water, legislation, chromatographic method

Wprowadzenie

W 2004 r. przyjęto przez Parlament Europejski i Radę, Konwencję Sztokholmską, w której zdefiniowano trwałe związki organiczne dla środowiska wodnego [1]. Do trwałych zanieczyszczeń organicznych zaliczono wtedy 8 związków chemicznych z grupy polichlorowanych węglowodorów, polichlorowane bifenyle (PCB), polichlorowane dibenzodoksyny (PCDD) i polichlorowane dibenzofurany

(PCDF). Wymienia się 7 kongenerów dioksyn, do furanów zalicza się 10 związków, natomiast spośród PCB najczęściej oznacza się 7 kongenerów. Na bazie tej konwencji powstało Rozporządzenie WE Nr 850/2004 i zmiana Dyrektywy 79/117/EWG [1, 2]. W tym rozporządzeniu, do grupy trwałych zanieczyszczeń zalicza się także wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), liniowe alkilowe benzosulfoniany (LAS), estry kwasu ftalowego (DEHP) i wiele in-

nych połączeń związków organicznych z różnymi podstawnikami. Ze względu na to, że lista TZO opublikowana w Konwencji sztokholmskiej jest otwarta, w 2009 r. do tej grupy zanieczyszczeń włączono kolejne związki, których było jedenaście. Są to: heksabromobifenyl HBB, etery tetra-, heksa-, hepta-, okta- i pentabromodifenylowe, α , β , γ – heksachlorocykloheksany, chlordekon, pentachlorobenzen, kwas perfluorooctanosulfonowy i jego sole oraz fluorek sulfonylu perfluorooctanu [3].

prof. dr hab. inż. Maria Włodarczyk-Makuła <https://orcid.org/0000-0002-3978-2420> – Politechnika Częstochowska, Częstochowa, email: m.wlodarczyk-makula@pcz.pl,

prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch <https://orcid.org/0000-0003-3048-4002> – Politechnika Śląska, Gliwice, email: izabela.zimoch@polsl.pl

W 2020 r. w Komisji europejskiej wydano dokument roboczy komisji dotyczący substancji poli – i perfluoroalkilowych (PFAS) towarzyszący „Strategii chemicznej na rzecz zrównoważonego rozwoju w kierunku środowiska wolnego od toksyn” [4]. W 2021 r. kwas perfluoroheksanowy sulfonowy i jego sole (PFHxS) zostały dodane do listy kandydackiej REACH do wykazu substancji stanowiących bardzo duże zagrożenie jako „substancja bardzo trwała i wykazująca bardzo dużą zdolność do bioakumulacji” [5]. Proponuje się ujednolicenie klasyfikacji związków zaliczanych do PFAS z definicją OECD60. Celem artykułu jest przedstawienie, w oparciu o dostępną literaturę, uwarunkowania prawne dotyczące PFAS w wodzie, właściwości tych związków, oddziaływanie na organizmy, metodykę oznaczania oraz stan zanieczyszczenia wód tymi mikrozanieczyszczeniami.

Uwarunkowania prawne dotyczące PFAS w wodach

W nowej dyrektywie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia, która została przyjęta w 2022 r. uaktualniono wykaz koniecznych do kontroli w wodzie związków, których wpływ na zdrowie ludzkie budzi obawy społeczne lub naukowe. Między innymi planuje się wprowadzenie dopuszczalnych stężeń organicznych związków perfluorowanych. Stanowisko Rady Europejskiej UE nr 14/2020 opublikowane w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej C 410/1 z 27.11.2020 r. dotyczy jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi i w nowym wykazie zawiera perfluorowane surfaktanty [4]. W tym dokumencie stosuje się dwa określenia: „PFAS ogółem” oraz „Suma PFAS”. Wyjaśnienie tych pojęć wskazuje, że „PFAS ogółem” oznacza całkowitą zawartość wszystkich substancji per – i polifluoroalkilowych, natomiast „Suma PFAS” oznacza sumę substancji per – i polifluoroalkilowych, które należą do PFAS, ale zawierają część perfluoroalkilową z co najmniej trzema atomami węgla – CnF2n–, gdzie n ≥ 3 lub część eteru perfluoroalkilowego z co najmniej dwoma atomami węgla –CnF2nOCmF2m–, gdzie n i m ≥ 1. Do tej grupy zalicza się 20 kwasów, takich jak: perfluorobutanowy (PFBA), perfluoropentanowy (PFPA), perfluoroheksanowy (PFHxA), perfluoroheptanowy (PFHpA), perfluorooktanowy (PFOA), perfluorononanowy (PFNA), perfluorodekanowy (PFDA), perfluoroundekanowy (PFUnDA), perfluorododekanowy (PFDoDA), perfluorotridekanowy (PFTrDA), perfluoro-

butanosulfonowy (PFBS), perfluoropentanosulfonowy (PFPS), perfluoroheksanosulfonowy (PFHxS), perfluoroheptanosulfonowy (PFHpS), perfluorooktanosulfonowy (PFOS), perfluoronananosulfonowy (PFNS), perfluorodekanosulfonowy (PFDS), perfluoroundekanosulfonowy, perfluorododekanosulfonowy, oraz perfluorotridekanosulfonowy. Monitorowanie obecności tych związków będzie związane z oceną ryzyka i z zarządzaniem ryzykiem występowania w obszarach zasilania, gdzie mogą być obecne w punktach poboru wody. Proponowana wartość graniczna dla „PFAS ogółem” wynosi 500ng/L, natomiast dla „Sumy PFAS” – 100 ng/L. Państwa członkowskie Unii Europejskiej będą mogły zdecydować i do swoich przepisów prawnych wprowadzić „PFAS ogółem” lub „Sumę PFAS” lub jeden i drugi wskaźnik równocześnie. W dokumencie także wskazuje się, że metoda analizy substancji per – i polifluoroalkilowych określanych jako „PFAS ogółem” i „suma PFAS”, w tym również granice wykrywalności, wartości parametryczne, częstotliwość poboru próbek będą opracowane trzy lata po wejściu w życie dyrektywy. W światowych agencjach regulacyjnych opracowano wytyczne lub zalecenia dotyczące dopuszczalnych poziomów PFAS w wodzie przeznaczonej do spożycia. Ze względu na liczną grupę oraz różnorodną w budowie i właściwościach związków perfluorowych, dane z badań toksykologicznych nie są kompletne i w przepisach wymienia się jedynie kilka lub kilkanaście połączeń. Dlatego w większości przypadków opracowano dopuszczalne stężenia dla wybranych grup. Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska w uwzględniając ryzyko zdrowotne wskazuje, że w sumaryczne stężenie PFOA i PFOS w wodzie przeznaczonej do spożycia nie powinno przekraczać 70 ng/L [6,7]. W różnych stanach Ameryki Północnej dopuszczalne stężenia wynoszą odpowiednio 20 ng/L lub 70 ng/L. W Kanadzie graniczne stężenia zróżnicowano podając: 200ng/L dla sumy PFOA i 600 ng/L – dla sumy PFOS ze względu na wzmożoną toksyczność PFOA i PFOS występujących jednocześnie, a w Australii sumę PFOA i PFOS

objęto limitem 70 ng/L. W tab. 1 przedstawiono wybrane dane dotyczące krajów europejskich.

Ogólna charakterystyka PFAS

Grupa związków określana skrótem PFAS obejmuje syntetyczne związki per – i polifluoroalkilowe (4730 związków). Są to alifatyczne węglowodory, w których przyłączony jest fluor w miejsce atomów wodoru w łańcuchu węglowym (prostym lub rozgałęzionym). Oprócz podstawowych związków perfluorowych występują także takie, które w cząsteczce zawierają atomy siarki, fosforu czy azotu. Do grupy PFAS zaliczane są przede wszystkim:

- kwasy perfluorosulfonowe (np. kwas perfluorooktanosulfonowy – PFOS),
- kwasy perfluorokarboksylowe (np. kwas perfluorooktanowy – PFOA),
- kwas perfluoroalkilowy PFAA,
- pentadekafluorooktanian amonu (APFO),
- kwas perfluorononan-1-owy (PFNA) i jego sole sodowe i amonowe,
- kwas nonadekafluorodekanowy (PFDA) i jego sole sodowe i amonowe oraz
- kwas perfluoroheptanowy [8, 9].

W strukturze tych związków występuje fluorowany hydrofobowy „ogon” alkilowy oraz hydrofilowa „głowa” co sprawia, że wykazują jednocześnie hydrofilowe i hydrofobowe właściwości. Dlatego skutecznie obniżają napięcie powierzchniowe wody czyli mają właściwości powierzchniowo czynne. Właściwości te zależą od długości łańcucha węglowego wprost proporcjonalnie: właściwości surfaktantów są lepsze im dłuższy jest łańcuch węglowy i większa liczba wiązań węgiel–fluor [10].

Z punktu widzenia zdrowia człowieka istotna jest zdolność tych związków do kumulacji w organizmie. Są to związki, które w strukturze zawierają co najmniej sześć perfluorowanych węgli. Nie potwierdzono tych właściwości (bioakumulacji) w odniesieniu do krótkołańcuchowych PFAA u zwierząt, ale wykazano, że mogą się gromadzić w naziemnych tkankach roślin (pędy, liście i owoce). Dlatego uprawy roślin na glebach silnie zanieczyszczonych krótkołańcuchowymi PFAA

Tabela 1. Dopuszczalne stężenia w wodzie do spożycia w krajach europejskich [µg/L] [7]
Table 1. Permissible concentrations in drinking water in European countries [µg/L] [7]

Kraj	Stężenie dopuszczalne	Podstawa opracowania granicznych wartości
Unia Europejska	100 ng/L dla sumy 20 PFAS (C4–C13 PFASs oraz C4–C13 PFCA)s 500 ng/L dla sumy PFAS	aspekt profilaktyczny
Dania	100 ng/L dla C4–C10 PFCA)s, PFBS, PFHxS, PFOS, PFOSA i 6:2 FTS	12 związków o podobnej toksyczności do PFOS
Szwecja	90 ng/L dla C4–C10 PFCA)s, PFBS, PFHxS, PFOS i 6:2 FTS	11 związków o podobnej toksyczności do PFOS

mogą w konsekwencji stanowić zagrożenie dla człowieka. Zdolność do biokumulacji w organizmach wykazują kwas perfluorooktanowy, kwas perfluorooctanowy a także inne związki zawierające fosfor, azot lub siarkę [11, 12]. Ważną cechą charakterystyczną związków zaliczanych do PFAS jest oddziaływanie na organizmy. Perfluorooktanosulfonian (PFOS) oraz kwas perfluorooktanowy (PFOA) zostały zaliczone do grupy endokrynnie aktywnych EDC. Ponadto, wyniki badań toksykologicznych były podstawą do tego, że PFOA został zaklasyfikowany do grupy 2B według Agencji Badań nad Rakiem IARC [13]. Jest to jednoznaczne z tym, że związek ten jest niewątpliwie rakotwórczy dla zwierząt i prawdopodobnie ma takie oddziaływanie dla człowieka. Ze względu na zastosowanie tych związków w wielu produktach używanych w gospodarstwach domowych (powłoki tkanin, dywanów, opakowań do żywności, piany gaśniczej, środków do pielęgnacji podłóg, insektycydy, środki higieniczne i inne) narażenie człowieka na kontakt z nimi jest duże [10, 14].

Oznaczanie PFAS w roztworach wodnych

Perfluorowane związki organiczne najczęściej oznaczane są w żywności, opakowaniach do żywności oraz rzadziej – w wodach. W literaturze znajdują się informacje dotyczące identyfikacji PFAS metodą cieczowej chromatografii z tandemowym detektorem masowym LC/MS/MS. Podstawy oznaczania w wodach znajdują się w opracowanej przez US EPA 537 [15]. Została opracowana w 2009 r, ale zaktualizowana w 2018 i 2020. Dotyczy oznaczania wybranych per – i polifluorowanych substancji alkilowych w wodzie pitnej metodą ekstrakcji do fazy stałej (SPE) i chromatografii cieczowej tandemowej z identyfikacją z wykorzystaniem spektrometrii masowej (LC/MS/MS). Procedurę tą zaleca się stosować do ilościowego oznaczania w wodzie pitnej szesnastu wybranych perfluorowanych kwasów alkilowych (PFAA) oraz kwasu dimeru tlenu heksafluoropropylenu HFPO-DA i soli amonowej fluorowanego kwasu eterowego stosowana jako GenX [16]. Jednak należy podkreślić, że od czasu opracowania metody produkowane i stosowane są także inne związki perfluorowane PFOA/PFOS, które mogą powodować zanieczyszczenie wód, w tym wody do spożycia. Zaleca się zastosowanie wzorca wewnętrznego. Próbkę wzbogaconą wzorcem wewnętrznym kierowane są do

ekstrakcji do fazy stałej SPE na kolumnie C18 z wykorzystaniem polistyrenodivinylobenzenu (SDVB). Elucję analizów prowadzi się metanolem, a zażęzanie – w strumieniu azotu. Nastrzyk ekstraktu o objętości 10 µl wprowadza się do chromatografu cieczowego połączony z detektorami MS/MS. Analizy są rozdzielane i identyfikowane przez porównanie uzyskanych widm masowych i czasów retencji z widmem wzorca identyfikowanym na chromatogramach w odpowiednim czasie retencji.

Występowanie PFAS w środowisku wodnym

Uwzględnienie perfluorowanych związków w aktualizacji przepisów prawnych dotyczących jakości wody oraz zainteresowanie wśród naukowców wynika z szerokiego występowania ich w środowisku. To z kolei jest wynikiem rozwoju cywilizacji, przemysłu oraz urbanizacji ponieważ źródła antropogenne odgrywają najważniejszą rolę w emisji tych ksenobiotyków. Związki te są szeroko stosowane w przemyśle jako środki powierzchniowo czynne, impregnaty, dodatki farb, pestycydów, nawozów sztucznych, w transformatorach oraz w wielu innych środkach stosowanych w gospodarstwach domowych [10, 14, 17]. Dlatego perfluorowane związki organiczne są identyfikowane w środowisku wodnym, wodach podziemnych, powierzchniowych, w tym morskich, w wodach opadowych, a także w ściekach. Źródłem zanieczyszczenia wód są odcieki ze składowisk, spływ powierzchniowy oraz odpływy z oczyszczalni komunalnych i przemysłowych. Dane literaturowe w tym zakresie jednak nie są jednak obszerne i głównie dotyczą wód, ścieków i wody do spożycia poza granicami naszego kraju [11, 16, 18]. Wyniki tych badań są często trudne do porównania ze względu na to, że analizowane są różne związki i w próbkach różnego pochodzenia z zastosowaniem niejednolitej metodyki identyfikacji. Publikowane dane dotyczą stężeń kwasów PFOA i związków sulfonowych PFOS. Przykładowo w wodach powierzchniowych z terenów Szwajcarii stężenie PFOA nie przekraczało 8 ng/L, Francji – 12 ng/L, a w Austrii – 19 ng/L. W wodach z terenów Włoch i Niemiec oznaczone stężenia PFOA były znacznie większe i sięgały wartości odpowiednio 1270 i 3640 ng/L. Stężenia związków sulfonowych, określonych jako PFOS, w wodach powierzchniowych państw europejskich przyjmowały wartości z zakre-

su 4ng/L (Austria) – 2,709 ng/L (Hiszpania). Pośrednie wartości oznaczono w wodach Włoch (25 ng/L), Francji (62 ng/L), Niemiec (193 ng/L). Związki perfluorowane identyfikowane były także w ściekach. Stężenia związków perfluorowanych w ściekach opisane w literaturze, podobnie jak w wodach, również w ściekach były oznaczane w szerokim zakresie. W krajach UE stężenia PFOS w ściekach surowych sięgały 2 101 ng/L, a PFOA – 15900 ng/L [11, 19].

W pionierskich badaniach współautorskich oznaczano perfluorowane węglowodory w wodzie powierzchniowej, podziemnej oraz w ściekach oczyszczonych z wybranego regionu Polski [20]. Zidentyfikowano następujące 23 kwasy należące do grupy PFAS: Perfluorobutanowy, Perfluoropentanowy, Perfluoroheksanowy, Perfluoroheptanowy, Perfluorooktanowy, Perfluorononanowy, Perfluorodecanowy, Perfluoroundecanowy, Perfluorododecanowy, Perfluorotridecanowy, Perfluorobutanasulfonowy, Perfluoropentanasulfonowy, Perfluorohexasulfonowy, Perfluoroheptasulfonowy, Perfluorooktanosulfonowy, Perfluorononanosulfonowy, Perfluorodecanosulfonowy, Perfluoroundecanosulfonowy, Perfluorododecanosulfonowy, Perfluorotridecanosulfonowy, 6:2 Fluorotelomerosulfonowy, 8:2 Fluorotelomerosulfonowy oraz Perfluorooktanosulfamid. Stężenie sumaryczne w/w związków w wodzie powierzchniowej nie przekraczało 10 ng/L, a w wodach podziemnych – 35 ng/L. W ściekach oczyszczonych wprowadzanych do odbiornika powierzchniowego suma stężeń 23 związków perfluorowanych była kilkukrotnie większa [20]. Świadczy to o potencjalnym zagrożeniu zanieczyszczenia środowiska wodnego przez niedostatecznie oczyszczone ścieki. Ze względu na to, że wody powierzchniowe mogą stanowić źródło wody dla celów komunalnych, problem występowania PFAS w środowisku wodnym staje się aktualny i ważny. Potwierdza to potrzebę stałego monitorowania perfluorowanych związków w wodach stanowiących źródło zaopatrzenia dla przedsiębiorstw wodociągowych. Pozwoli to na zaplanowanie dodatkowych procesów ukierunkowanych na zapewnienie usunięcia PFAS podczas przygotowania wody. Ważne jest także monitorowanie PFAS w ściekach oczyszczonych co pozwoli na ocenę potencjalnego zagrożenia zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych tymi związkami. Prawdopodobnie konieczne będzie zastosowanie dodatkowych procesów. Wśród nich wymienia się adsorpcję, separację membranową lub

chemiczne lub fotochemiczne utlenianie [21,22].

Podsumowanie

Na podstawie dokonanego przeglądu można sformułować następujące wnioski:

- Wprowadzenie do nowej Dyrektywy Wodnej dopuszczalnych stężeń organicznych związków perfluorowych powoduje konieczność dostosowania polskich przepisów oraz opracowanie jednolitej procedury analitycznej.
- Monitorowanie stężeń PFAS w wodzie do spożycia, w wodach będących źródłem zaopatrzenia ludności oraz w ściekach odprowadzanych do odbiorników będzie wyzwaniem dla przedsiębiorstw wodociągowych ze względu na ograniczony dostęp do aparatury analitycznej.
- W celu minimalizacji zanieczyszczenia wód konieczne będzie wprowadzenie dodatkowych procesów/ modyfikacja obecnie stosowanych w instalacjach uzdatniania wody i oczyszczania ścieków.

Podziękowania:

Pracę wykonano z uwzględnieniem subwencji statutowej Politechniki Częstochowskiej i Politechniki Śląskiej w Gliwicach

LITERATURA

- [1] Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on persistent organic pollutants and amending Directive 79/117 / EEC
- [2] Rozporządzenie (WE) NR 850/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. dotyczące trwałych zanieczyszczeń organicznych i zmieniające dyrektywę 79/117/EWG Dz.U. L 229 z 29.6.2004
- [3] Włodarczyk – Makuła M., 2013, Wybrane mikrozanieczyszczenia organiczne w wodach i glebach, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 104
- [4] Commission Staff Working Document Poly – and perfluoroalkyl substances (PFAS). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2614f1f2-0f02-11eb-bc07-01aa75ed71a1>
- [5] Rozporządzenie (WE) Nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywę Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EWG i 2000/21/WE
- [6] Włodarczyk-Makuła M., PFAS – Perfluorinated organic compounds in view of the new Water Directive, Civil and Environment Engineering Report CEER, 32, 1, 2022, 191-200, doi: 10.2478/ceer-2022-0011
- [7] <https://www.epa.gov/water-research/epa-drinking-water-research-methods>
- [8] <https://echa.europa.eu/pl/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>
- [9] <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6f691e00-3087-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-pl/format-PDF/source-227318536>
- [10] Książek S., Kida M. Koszelnik P. Występowanie perfluorowanych związków organicznych w środowisku i fizykochemiczne metody usuwania ich z roztworów wodnych Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA 62, 2015, 221-238.
- [11] Xu B., Liu S., Zhou J. L., Zheng C., Chen B., Zhang T., W. Qiu, PFAS and their substitutes in groundwater: Occurrence, transformation and remediation, J. Hazard. Mater., 412, 2021, 125159. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125159>
- [12] Pramanik, B.K. Occurrence of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the water environment and their removal in a water treatment process. Journal of Water Reuse and Desalination 5, 2015, 196–210
- [13] <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono110-01.pdf>, IARC Monograph, 110,
- [14] Kudo, N, Katakura, M, Sato, Y and Kawashima, Y Sex hormoneregulated renal transport of perfluorooctanoic acid. Chemico-Biological Interaction 139, 2002, 301-316
- [15] Method 537.1: Determination of Selected Per – and Polyfluorinated Alkyl Substances in Drinking Water by Solid Phase Extraction (SPE) and Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry (LC/MS/MS).
- [16] Giesy, JP and Kannan, K Perfluorochemical surfactants in the environment. Environmental Science of Technology 36, 2002, 146-152
- [17] Knepper, TP and Lange, FT Ed. Polyfluorinated Chemicals and Transformation Products, The Handbook of Environmental Chemistry, Springer. 2012.
- [18] Kissa, E Fluorinated surfactants and repellents. Marcel Dekker, New York. 2005
- [19] Cousins, IT de Witt, JC, Gl"uge, J, Goldenman, G, Herzke, D, Lohmann, R, Miller, Ng, M, Scheringer, M, Vierkej, L and Wang, Z. Strategies for grouping per – and polyfluoroalkyl substances (PFAS) to protect human and environmental health. Environmental Science Processes & Impacts 22, 2020, 1444
- [20] Włodarczyk-Makuła M., Zimoch I., Natonek J., Kręcichwost S., PFAS per – and polyfluoroalkyl new compounds in the Drinking Water Directive – screening studies of surface and underground water resources, Desalination and Water Treatment, 301, 2023, doi: 10.5004/dwt.2023.29466
- [21] Ian T. Cousins, Jamie C. DeWitt, Juliane Gl"uge, Greta Goldenman, Dorte Herzke, Rainer Lohmann, Mark Miller, Carla A. Ng, i Martin Scheringer, Lena Vierkej and Zhanyun Wang, Strategies for grouping per – and polyfluoroalkyl substances (PFAS) to protect human and environmental health, Environmental Science Processes & Impacts, 22, 2020, 1444
- [22] Kryłów M., Zanieczyszczenie związkami per – i polifluoroalkilowymi (PFAS) wód naturalnych oraz wody przeznaczonej do picia, INSTAL, 10, 2022, 51-56, doi: 10.36119/15.2022.10.7