

DOROTA GAŁKOWSKA, KAMILA KAPUŚNIAK, KAROLINA PYCIA,  
LESŁAW JUSZCZAK

## ZANIECZYSZCZENIA ŻYWNOSCI – CHARAKTERYSTYKA I REGULACJE PRAWNE. CZĘŚĆ II

### Streszczenie

**Wprowadzenie:** Odpowiednio kształtowane prawo żywnościowe oraz polityka bezpieczeństwa żywności prowadzona przez instytucje Unii Europejskiej, obejmujące wszystkie etapy łańcucha żywnościowego, mają gwarantować konsumentom bezpieczną żywności oraz dostęp do odpowiednich informacji związanych z bezpieczeństwem żywności, w tym wycofań produktów niebezpiecznych. Obok zagrożeń mikrobiologicznych kluczowym zagadnieniem są zagrożenia natury chemicznej w postaci m.in. mikotoksyn, toksyn roślinnych, metali ciężkich, trwałych fluorowcowanych zanieczyszczeń organicznych, zanieczyszczeń procesowych oraz pozostałych. Pierwotnym aktem prawnym ustalającym najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych było Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r., które po licznych nowelizacjach zostało uchylone i zastąpione przez Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. W pierwszej części pracy scharakteryzowano toksyny roślinne obejmujące kwas erukowy, alkaloidy tropanowe i pirolizydynowe oraz alkaloidy opium, cyjanowodór i glikozydy cyjanogenne oraz ekwiwalenty delta-9-tetrahydrokannabinolu jako zanieczyszczenia żywności. Celem drugiej części tego opracowania była charakterystyka pozostałych zanieczyszczeń w żywności, których najwyższe dopuszczalne poziomy wprowadzono nowelizacjami rozporządzenia WE 1881/2006 i zawarto je w obowiązującym rozporządzeniu UE 2023/915.

**Wyniki i wnioski:** Liczne nowelizacje rozporządzenia (WE) nr 1881/2006, a w konsekwencji rozporządzenie (UE) 2023/915, obok najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości toksyn roślinnych wprowadziły najwyższe dopuszczalne poziomy dla przetrwalników buławinki czerwonej i alkaloidów sporyszu – w kategorii mikotoksyny, dla arsenu – w kategorii metale i inne pierwiastki, dla substancji perfluoroalkilowych – w grupie trwałe fluorowcowane zanieczyszczenia organiczne, dla sumy 3-monochloropropanodiolu (3-MCPD) i estrów 3-MCPD kwasów tłuszczowych, wyrażonej jako 3-MCPD oraz estrów glicydylowych kwasów tłuszczowych wyrażonych jako glicydol – w kategorii zanieczyszcze-

---

*Dr hab. inż. prof. URK D. Galkowska ORCID: 0000-0001-8917-4610, Katedra Analizy i Oceny Jakości Żywności, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122,30-149 Kraków; dr K. Kapuśniak ORCID: 0000-0002-8360-8446 Katedra Dietetyki i Badań Żywności, Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych, Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie, ul. Waszyngtona 4/8 42-200 Częstochowa; dr inż. K. Pycia ORCID: 0000-0001-7337-0860; Zakład Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Instytut Technologii Żywności i Żywienia, Uniwersytet Rzeszowski; prof. dr hab. inż. L. Juszczyk; ORCID: 0000-0001-7933-1889, Katedra Analizy i Oceny Jakości Żywności, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122,30-149 Kraków; Kontakt e-mail: dorota.galkowska@urk.edu.pl*

nia procesowe oraz dla melaminy oraz nadchloranu, klasyfikowanych jako inne zanieczyszczenia. Lista zagrożeń chemicznych nie jest oczywiście zamknięta i zgodnie z zaleceniami Komisji Europejskiej monitorowaniu w żywności podlegają ślady bromowanych opóźniaczy spalania, obecność niklu, węglowodory olejów mineralnych oraz obecność furanu i alkilofuranów.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo żywności, zanieczyszczenia żywności, zanieczyszczenia procesowe, 3-MCPD

## Wprowadzenie

Bezpieczeństwo zdrowotne żywności definiowane jako ogół warunków, które muszą być spełniane i działań, które muszą być podejmowane na wszystkich etapach produkcji lub obrotu żywnością w celu zapewnienia zdrowia i życia człowieka, jest przedmiotem zainteresowania naukowców, konsumentów oraz organów działających w ramach urzędowej kontroli żywności. Obecność zanieczyszczeń natury chemicznej stanowi istotne kryterium bezpieczeństwa zdrowotnego żywności. Zanieczyszczenia te obejmują naturalne produkty metabolizmu roślin lub drobnoustrojów, substancje zaabsorbowane ze środowiska, w tym pozostałości nawozów i środków ochrony roślin, substancje aktywne stosowane w hodowli i lecznictwie zwierząt oraz w produkcji pasz, substancje wprowadzone do produktów żywnościowych lub powstające w nich wskutek procesów technologicznych – tzw. zanieczyszczenia procesowe – oraz celowo wprowadzane do żywności jako substancje dodatkowe lub mające na celu zafałszowanie środków spożywczych [36, 60, 64].

Wśród zagrożeń chemicznych obecnych w żywności można wyróżnić takie, które powszechnie występują w środowisku (metale ciężkie, pozostałości pestycydów, dioksyny, polichlorowane bifenyle, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne) oraz takie, których obecność w żywności jest możliwa do uniknięcia lub zminimalizowania do akceptowalnego poziomu w wyniku stosowania systemów zapewniających bezpieczeństwo żywności (środki lecznicze, środki ochrony roślin, techniczne środki pomocnicze i konserwujące, substancje powstające w wyniku niewłaściwego przechowywania żywności czy stosowanych technologii przetwórczych) [36, 60, 64]. Całkowite wyeliminowanie tego typu zagrożeń, szczególnie tych środowiskowych, nie jest łatwe, zatem aby ograniczyć ich występowanie, ustawodawstwo żywnościowe wprowadza maksymalne poziomy zanieczyszczeń żywności regulowane Rozporządzeniem Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylającym rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 [45, 52].

W pierwszej części pracy scharakteryzowano toksyny roślinne obejmujące kwas erukowy, alkaloidy tropanowe i pirolizydynowe oraz alkaloidy opium, cyjanowodór i glikozydy cyjanogenne oraz ekwiwalenty delta-9-tetrahydrokannabinolu jako zanie-

czyszczenia żywności [20]. Celem drugiej części tego opracowania była charakterystyka pozostałych zanieczyszczeń w żywności, których najwyższe dopuszczalne poziomy (NDP) wprowadzono nowelizacjami rozporządzenia (WE) nr 1881/2006 i zawarto je w obowiązującym rozporządzeniu (UE) 2023/915 [52]. Zanieczyszczenia te obejmują: przetrwalniki buławinki czerwonej i alkaloidy sporyszu, arsen, substancje perfluoroalkilowe, 3-monochloropropano-1,2-diol (3-MCPD), estry 3-MCPD kwasów tłuszczowych, estry glicydylowe kwasów tłuszczowych, a także melaminę i nadchloran.

#### *Przetrwalniki buławinki czerwonej i alkaloidy sporyszu*

Buławinka czerwona (*Claviceps purpurea*) jest grzybem pasożytnym w kwiatach różnych roślin, szczególnie w okresie ich kwitnienia. Grzyb ten wytwarza przetrwalniki, które zawierają groźne mikotoksyny o nazwie alkaloidy sporyszu [23]. Przetrwalniki te występują również w kłosach zbóż oraz w kwiatostanach traw. Łatwo je rozpoznać, bowiem są łukowato wygięte i przyjmują ciemnobrązową barwę. Mają one maksymalnie 4 cm długości i około 4 mm grubości oraz charakterystyczną nierówną powierzchnię. Wielkość przetrwalników nie jest cechą decydującą o stężeniu alkaloidów. Stężenie to istotnie zależy od rodzaju porażonego zboża lub trawy oraz warunków środowiskowych panujących w okresie wegetacji. Z reguły największe formy przetrwalników spotykane są w kłosach żyta, z kolei najmniejsze z nich porażają kłosa pszenicy, pszenżyta lub jęczmienia. Z wieloletnich obserwacji wynika, że deszczowa pogoda połączona z podwyższoną temperaturą powietrza sprzyja porażaniu upraw tych zbóż buławinką czerwoną [23, 61]. W ostatnich latach ujawniono także występowanie grzybów buławinki czerwonej, a w efekcie alkaloidów sporyszu, w sorgo. Z kolei w przypadku traw źródłem tych zanieczyszczeń jest wysoka kostrzewa (*Festuca arundinacea*). Oprócz grzybów także niektóre rośliny mają zdolność do syntetyzowania alkaloidów sporyszu. Mowa tu o roślinach z rodzaju powojowatych [23]. Do kategorii alkaloidów sporyszu należy aż 80 różnych związków chemicznych, spośród których najważniejszymi są: ergotamina, ergometryna, ergokornina, ergozyna, ergokryptyna, ergokryptyna oraz ich izomery [23, 55, 61]. Pod względem budowy chemicznej alkaloidy sporyszu należą do związków indolowych i tworzą największą kategorię metabolitów grzybów o charakterze azotowym. Alkaloidy sporyszu dzieli się pod względem struktury na trzy kategorie: klawiny, amidy kwasu lizergowego oraz peptydy (ergopeptydy lub ergopeptyny) [55]. Zatrucie alkaloidami sporyszu określane jest mianem ergotyizmu. Halucynogeny charakter działania tych alkaloidów związany jest z oddziaływaniem na ośrodkowy i obwodowy układ nerwowy. W przypadku tego pierwszego udowodniono działanie sympatykolityczne, natomiast w przypadku obwodowego układu nerwowego wykazano działanie na receptory serotoninowe, dopaminergiczne i alfa-adrenergiczne [61]. Objawy zatrucia alkaloidami sporyszu są zróżnicowane i przyjmują postać tzw. zgorzelinową lub konwulsyjną. Postać zgorzelinowa, znana

także pod nazwą „święty ogień”, objawia się silnym zwężeniem naczyń krwionośnych, prowadzącym do niedokrwienia, a w konsekwencji do autoamputacji kończyny. Charakterystycznym objawem tej postaci zatrucia jest silny ból. Z kolei postać konwulsyjna objawia się halucynacjami wywołanymi wpływem omawianych alkaloidów na receptory serotoninowe. Objawom tym towarzyszy także drżenie mięśni oraz sztywność kończyn. Udowodniono, że zatrucie opisywanymi substancjami niesie ze sobą niebezpieczeństwo także dla rozwijającego się płodu [55, 61]. W przeszłości wielokrotnie dochodziło do masowych zatruc alkaloidami sporyszu, a w efekcie do śmierci na skutek spożycia pokarmu porażonego przez sporysz. Jednak wówczas jeszcze nie potrafiono zidentyfikować tego śmiertelniegroźnego zagrożenia. Przełomem w tym zakresie było wykrycie alkaloidów sporyszu w ciastkach, co było sygnałem do wykonania badań przesiewowych w kierunku wykrycia tych zanieczyszczeń w produktach na bazie ziarna zbóż lub mąki. Pokłosiem tych działań było rozpoczęcie prac nad wprowadzeniem do rozporządzenia ustalającego najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych wymagań dotyczących zanieczyszczeń alkaloidami sporyszu. W późniejszym czasie, na zlecenie EFSA, przeprowadzono szeroko zakrojone badania w krajach członkowskich UE, prowadzące do wykrycia alkaloidów sporyszu w żywności na bazie zbóż. Otrzymane wyniki badań były wystarczające do podjęcia wstępnej analizy ryzyka występowania alkaloidów sporyszu w żywności na bazie ziarna zbóż. W rezultacie opublikowano Zalecenie Komisji z dnia 15 marca 2012 r. w sprawie monitorowania występowania alkaloidów sporyszu w paszy i żywności [65]. Zalecono analizy próbek pod kątem występowania takich alkaloidów sporyszu, jak ergokryptyna lub ergokrystynina, ergotamina lub ergotaminina, ergokryptyna lub ergokryptynina, ergometryna lub ergometrynina, ergotyna lub ergozymina, ergokornina lub ergokorninina. Kolejny dokument regulujący kwestię zawartości przetrwalników buławinki czerwonej oraz alkaloidów sporyszu pojawił się w 2015 r. Było to Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1940 [48], które m.in. obligowało do gromadzenia danych dotyczących obecności alkaloidów sporyszu w zbożach i produktach zbożowych w celu ustalenia związku pomiędzy ich obecnością a obecnością przetrwalników buławinki czerwonej oraz w celu umożliwienia określenia odpowiednich i możliwych do osiągnięcia najwyższych dopuszczalnych poziomów alkaloidów sporyszu. Ponadto ustalono kryteria w zakresie przetrwalników buławinki czerwonej dla nieprzetworzonego zboża, z wyjątkiem kukurydzy i ryżu, na poziomie 0,5 g/kg [48]. Kolejny dokument ukazał się w 2021 r. Było to Rozporządzenie Komisji (UE) 2021/1399 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów przetrwalników buławinki czerwonej i alkaloidów sporyszu w niektórych środkach spożywczych [50]. Na mocy tego aktu prawnego wprowadzono zmiany w zakresie najwyższego dopuszczalnego poziomu przetrwalników buławinki czerwonej oraz alkaloidów sporyszu w różnych środkach spożywczych. Ostatnie Rozporządzenie z 2023 r. [52] w kategorii

mikotoksyny, w pkt. 1.8, ustala najwyższe dopuszczalne poziomy przetrwalników buławinki czerwonej dla nieprzetworzonego ziarna zbóż, z wyjątkiem nieprzetworzonego ziarna żyta oraz ziarna ryżu i kukurydzy, na poziomie wynoszącym 0,2 g/kg. W przypadku nieprzetworzonego ziarna żyta najwyższy dopuszczalny poziom omawianych przetrwalników wynosi 0,5 g/kg, natomiast od 1 lipca 2024 r. będzie on obniżony do wartości 0,2 g/kg. W cytowanym rozporządzeniu najwyższe dopuszczalne poziomy alkaloidów sporyszu odnoszą się do dolnych granic sumy stężeń ergokorniny lub ergokorniny, ergokryptyny lub ergokryptyniny, ergokryptyny lub ergokryptyniny (formy  $\alpha$  i  $\beta$ ), ergometryny lub ergometryniny, ergotyny lub ergozyniny oraz ergotaminy lub ergotamininy (Tabela 1).

Tabela 1. Najwyższe dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń środków spożywczych alkaloidami sporyszu [52]

Table 1. Maximum permissible levels of contamination of foodstuffs with ergot alkaloids [52]

Środek spożywczy / Foodstuff	Najwyższy dopuszczalny poziom / Maximum permissible level [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ]
Produkty mielenia jęczmienia, pszenicy, orkisz i owsa (o zawartości popiołu mniejszej niż 900 mg/100 g suchej masy) / Products from the milling of barley, wheat, spelled and oats (with an ash content of less than 900 mg/100 g of dry matter)	100 50 – od 1 lipca 2024 r./as of 1 July 2024
Produkty mielenia jęczmienia, pszenicy, orkisz i owsa (o zawartości popiołu nie mniejszej niż 900 mg/100 g suchej masy), ziarna jęczmienia, pszenicy, orkisz i owsa wprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego / Products from the milling of barley, wheat, spelled and oats (with an ash content of not less than 900 mg/100 g of dry matter), grains of barley, wheat, spelled and oats placed on the market for the final consumer	150
Produkty mielenia żyta, żyto wprowadzane do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego / Rye milling products, rye placed on the market for the final consumer	500 250 – od 1 lipca 2024 r. / as of 1 July 2024
Gluten pszenny / Wheat gluten	400
Przetworzona żywność na bazie zbóż dla niemowląt i małych dzieci / Processed grain-based food for infants and young children	20

### Arsen

Arsen to naturalnie występujący metaloid (wykazuje cechy metali i niemetalu). Atom arsenu występuje na różnych stopniach utlenienia (+V, +III, 0, -III), przy czym forma As(V) jest najbardziej stabilna w warunkach aerobowych. W środowisku występuje wiele różnych związków arsenu, ale najbardziej istotne z punktu widzenia ich wpływu na organizm człowieka są związki nieorganiczne, takie jak: tritlenek diarsenu ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ), czyli pot. arsenik, arsenowodór ( $\text{AsH}_3$ ), kwas arsenowy(III) ( $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ) i kwas

arsenowy(V) ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ) oraz związki organiczne: kwas monometyloarsenowy(III) ( $\text{CH}_3\text{AsO}_2\text{H}_2$ ) i monometyloarsenowy(V) ( $\text{CH}_3\text{AsO}_3\text{H}_2$ ) oraz kwas dimetyloarsenowy(III) ( $(\text{CH}_3)_2\text{AsOH}$ ) [35, 54].

Arsen może występować w powietrzu, glebie, wodzie i pożywieniu, zarówno naturalnie, jak również wskutek zmian antropogenicznych [9, 44]. W wyniku działalności człowieka arsen dostaje się do środowiska m.in. poprzez stosowanie insektycydów, herbicydów i nawozów fosforowych oraz wraz z emisjami z różnych gałęzi przemysłu [44, 57]. Konsekwencją wymienionych procesów jest również zanieczyszczenie wody pitnej i całego łańcucha pokarmowego (roślin i konsumujących je zwierząt), co stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia człowieka i skutkuje największym narażeniem na arsen drogą pokarmową. Istotnym źródłem arsenu są rośliny zbożowe, a rośliną, która może gromadzić większą ilość nieorganicznych związków arsenu niż jakiegokolwiek inne rośliny zbożowe jest ryż. Wysoka zawartość arsenu w środowisku i największe skażenie wody pitnej jest szczególnie niebezpieczne w niektórych obszarach świata, szczególnie w Bangladeszu, w niektórych regionach Wietnamu, w Kambodży, Indiach, Nepalu, Chinach, USA, Argentynie, Peru czy Meksyku [28, 39].

Toksyczność arsenu uzależniona jest od formy, w jakiej występuje i można ją uszeregować następująco: nieorganiczne związki As(III) > organiczne związki As(III) > nieorganiczne związki As(V) > organiczne związki As(V) > As(0) [54]. Arsen i nieorganiczne związki arsenu zostały sklasyfikowane jako kancerogeny grupy I [53]. Objawami ostrego zatrucia arsenem, np. w wyniku jego przypadkowego spożycia, są nudności, silny ból brzucha, wymioty, biegunka, zaburzenia sercowo-naczyniowe, a w ciężkich przypadkach śmierć [31]. W wypadku chronicznego narażenia na arsen jest on metabolizowany, niejednokrotnie do bardziej toksycznych metabolitów [39]. Udokumentowano kancerogenny wpływ arsenu na wiele narządów człowieka oraz szkodliwy wpływ na funkcjonowanie układu nerwowego i sercowo-naczyniowego [21]. Potwierdzono związek pomiędzy narażeniem na arsen a rozwojem nowotworów płuc, okrężnicy, wątroby, pęcherza moczowego, skóry i nerek, a także chorobami układu pokarmowego, endokrynnego, zwiększoną śmiertelnością i obniżoną masą urodzeniową noworodków [1, 28, 44].

W Rozporządzeniu Komisji (WE) nr 1881/2006 z 19 grudnia 2006 r. nie określono dopuszczalnego poziomu arsenu w środkach spożywczych [45]. Z kolei w 2009 r. panel EFSA przyjął opinię dotyczącą arsenu w żywności, w której określił, że dotychczas stosowane tymczasowe tolerowane tygodniowe pobranie (PTWI) na poziomie 15  $\mu\text{g}/\text{kg}$  masy ciała, ustanowione przez Wspólny Komitet Ekspertów FAO/WHO ds. Dodatków do Żywności (JECFA), nie jest już właściwe [10]. Podkreślono, iż narażenie przez skórę i przez drogi oddechowe jest możliwe, jednak głównymi drogami narażenia na arsen są żywność i woda pitna, a narażenie z dietą na arsen nieorganiczny u dzieci poniżej trzeciego roku życia oszacowano na około 2 do 3 razy wyższe niż

u dorosłych. W 2014 r. ukazało się Sprawozdanie naukowe EFSA na temat narażenia z diety na arsen nieorganiczny w populacji europejskiej [13]. Ze względu na ryzyko narażenia z diety, szczególnie dzieci do lat 3 oraz osób konsumujących duże ilości ryżu, na wysokie spożycie arsenu nieorganicznego i wynikające z tego spożycia zagrożenia zdrowotne (nowotwory płuc, skóry i pęcherza oraz uszkodzenia skóry), w 2015 r. wprowadzono Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów nieorganicznego arsenu w środkach spożywczych [47]. Ponadto w 2015 r. Komisja (UE) wydała zalecenie dla państw członkowskich dotyczące monitorowania obecności arsenu w żywności w latach 2016 ÷ 2018 [69]. Skutkiem było opublikowanie w 2021 r. Sprawozdania naukowego EFSA na temat przewlekłego narażenia z diety na arsen nieorganiczny [16]. Podkreślono konieczność ustalenia nowych najwyższych dopuszczalnych poziomów dla towarów przyczyniających się do narażenia konsumentów na arsen oraz obniżenia obecnych najwyższych dopuszczalnych poziomów. Zmiany te nastąpiły wraz z Rozporządzeniem Komisji

Tabela 2. Najwyższe dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń środków spożywczych arsenem [52]

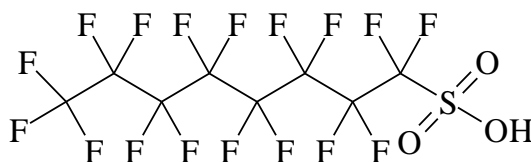
Table 2. Maximum permissible levels of arsenic contamination of foodstuffs [52]

Środek spożywczy / Foodstuff	Najwyższy dopuszczalny poziom / Maximum permissible level [mg/kg]
Arsen nieorganiczny (suma As(III) i As(V))	
Ryż nieparzony bielony (ryż polerowany lub biały) / Uncooked milled rice (polished or white rice)	0,15
Ryż parzony i ryż łuskany / Parboiled rice and husked rice	0,25
Mąka ryżowa / Rice flour	0,25
Wafle ryżowe, papier ryżowy, krakersy ryżowe, ciastka ryżowe, płatki ryżowe i prażony ryż śniadaniowy / Rice cakes, rice paper, rice crackers, rice cakes, rice flakes and puffed breakfast rice	0,30
Ryż przeznaczony do produkcji żywności dla niemowląt i małych dzieci / Rice intended for the production of food for infants and young children	0,10
Bezalkoholowe napoje na bazie ryżu / Non-alcoholic rice-based drinks	0,03
Preparaty do początkowego i dalszego żywienia niemowląt, żywność specjalnego przeznaczenia medycznego dla niemowląt i małych dzieci, preparaty do żywienia małych dzieci / Preparations for initial and further infant feeding, food for special medical purposes for infants and young children, preparations for feeding young children	0,02 (proszek) 0,01 (płyn)
Żywność dla dzieci / Baby food	0,02
Soki owocowe, koncentraty soków owocowych po odtworzeniu oraz nektary owocowe / Fruit juices, reconstituted fruit juice concentrates and fruit nectars	0,02
Arsen całkowity / Total arsenic	
Sól / Salt	0,50

(UE) 2023/465. Wprowadzono również dopuszczalny poziom arsenu całkowitego w soli. Zmiany te podtrzymano w ostatnim Rozporządzeniu Komisji (UE) 2023/915 [52] w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności uchylającym rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 (Tabela 2).

### Substancje perfluoroalkilowe

Związki perfluoroalkilowe oraz związki polifluoroalkilowe (ang. *per- and poly-fluoroalkyl substances*, PFASs) należą do syntetycznych związków fluoroorganicznych, w których cząsteczkach występuje wiele atomów fluoru przyłączonych do łańcucha alkilowego oraz co najmniej jedna grupa perfluoroalkilowa  $C_nF_{2n}$ . Liczba obecnie znanych związków z tej grupy wynosi ponad cztery tysiące [8, 76]. Głównymi przedstawicielami tej grupy związków są kwasy: perfluorooktanosulfonowy (PFOS) (Ryc. 1), perfluorooktanowy (PFOA), perfluorononanowy (PFNA) oraz perfluorohexanosulfonowy (PFHxS) [52].



Rycina 1. Struktura chemiczna kwasu perfluorooktanosulfonowego (PFOS) [18]

Figure 1. Chemical structure of perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) [18]

Ze względu na zdolność do obniżania napięcia powierzchniowego związki perfluoroalkilowe znalazły szerokie wykorzystanie w wielu rozwiązaniach przemysłowych, głównie jako substancje powierzchniowo czynne do impregnacji powierzchni papieru, tektur, tkanin, wykładzin, dywanów, tapicerki, skór oraz odzieży ochronnej, jako dodatki do farb, lakierów, past oraz powłok, w produkcji papierowych naczyń stołowych jednorazowego użytku, torebek, papieru opakowaniowego oraz tekturowych pojemników, kartonów czy kontenerów przeznaczonych do kontaktu z żywnością lub paszą [8, 76]. Inne rodzaje zastosowań PFASs obejmują wykorzystanie tych związków jako substancji powierzchniowo czynnych w środkach gaśniczych, jako substancji powlekających w procesie galwanizacji, do produkcji półprzewodników, płynów hydraulicznych, jako substancji czyszczących, polerujących, odplamiaczy, dodatków do szamponów, powłok ochronnych, preparatów użytkowych pestycydów, katalizatorów chemicznych, smarów, wosków, klejów, płynnych wymienników ciepła, nawozów sztucznych, czynników nawilżających oraz spieniających [18, 76].

Związki perfluoroalkilowe stanowią istotne zanieczyszczenie środowiska oraz żywności i wody pitnej, będące wynikiem bioakumulacji. Ponieważ związki te zawierają silne wiązanie węgiel-fluor, bardzo trudno ulegają degradacji w warunkach śro-

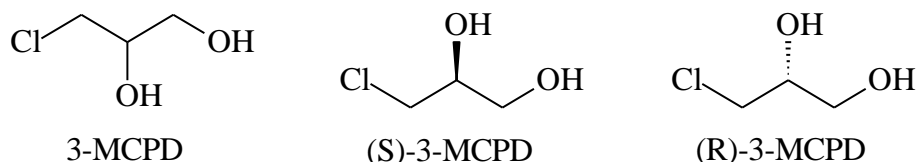


dowiskowych. Ze względu na ich trwałość w środowisku i bioakumulację niektóre kongenery PFASs nazywane są „wiecznymi chemikaliami” [18, 76]. Głównym źródłem narażenia organizmu człowieka na PFASs jest zanieczyszczenie środków spożywczych, które może również wynikać z migracji tych substancji do żywności z opakowań lub innych materiałów mających bezpośredni kontakt z żywnością [8, 76]. Substancje te mogą mieć niekorzystny wpływ na poziom cholesterolu w surowicy, powodować choroby tarczycy i wątroby oraz układu odpornościowego, a także nowotwory jąder i nerek [15].

Ze względu na zagrożenia wynikające z występowania związków perfluoroalkilowych w żywności, w 2012 r. Komisja UE wydała zalecenie w sprawie monitorowania ich obecności w środkach spożywczych [66]. W 2020 r. EFSA przyjął opinię dotyczącą ryzyka dla zdrowia ludzi związanego z obecnością substancji perfluoroalkilowych w żywności, w której stwierdził, że substancje te (PFOS, PFOA, PFNA i PFHxS) mogą powodować zaburzenia rozwojowe i mogą mieć niekorzystny wpływ na poziom cholesterolu w surowicy, na wątrobę i układ odpornościowy oraz na masę urodzeniową niemowląt [15]. Ponadto wpływ omawianych związków na układ odpornościowy został przez EFSA uznany za najbardziej krytyczny, w związku z czym ustalona została grupowa wartość tolerowanego pobrania tygodniowego (TWI) na poziomie 4,4 ng/kg m.c. EFSA stwierdził także, że narażenie części populacji europejskiej na te substancje przekracza TWI, dlatego Komisja postanowiła ustalić najwyższe dopuszczalne poziomy tych substancji w żywności. Kolejne zalecenie w sprawie monitorowania obecności substancji perfluoroalkilowych w żywności zostało wydane w 2022 r. [73]. Wynikiem tych działań była publikacja Rozporządzenia Komisji (UE) 2022/2388 z dnia 7 grudnia 2022 r. w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów substancji perfluoroalkilowych w niektórych środkach spożywczych [51]. Poziomy te zostały podtrzymane w najnowszym Rozporządzeniu Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r., w sekcji 4 „Trwałe fluorowcowane zanieczyszczenia organiczne” [52]. Limity dotyczące poszczególnych substancji perfluoroalkilowych oraz ich sumy określone zostały m.in. dla jaj (suma PFOS, PFOA, PFNA i PFHxS: 1,7 µg/kg), produktów rybołówstwa i małży (suma 2,0-45 µg/kg), a także dla mięsa i podrobów jadalnych (suma 1,3-50 µg/kg).

*3-Monochloropropano-1,2-diol (3-MCPD), estry 3-MCPD kwasów tłuszczowych, estry glicydylowe kwasów tłuszczowych*

3-monochloropropano-1,2-diol (wg IUPAC: 3-chloropropano-1,2-diol) (3-MCPD) jest chiralną cząsteczką występującą w naturze jako racemiczna mieszanina enancjomerów (R) i (S) (Ryc. 2) zaliczanych do chloropropanoli [19].



Rycina 2. Struktura chemiczna 3-monochloropropano-1,2-diolu [19]

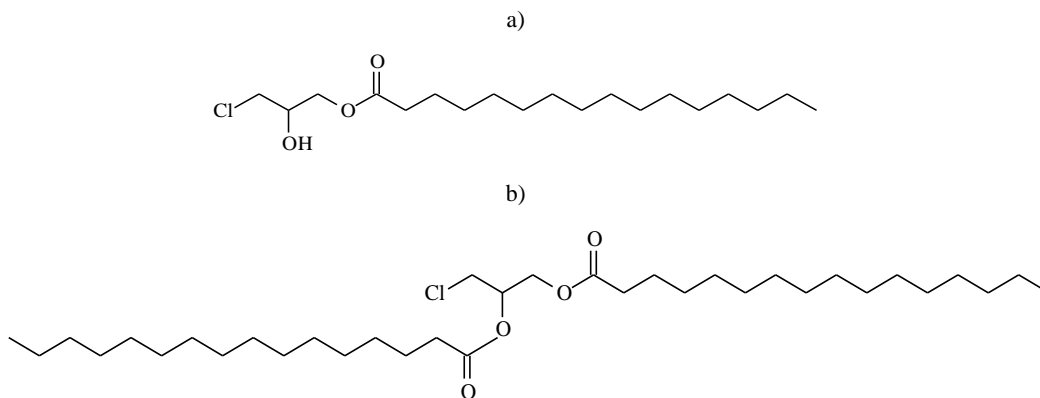
Figure 2. Chemical structure of 3-chloro-1,2-propanediol [19]

Chloropropanole to grupa pięciu głównych związków, obejmująca: 3-chloropropano-1,2-diol (3-MCPD), 3-chloropropan-1-ol (3-MCP), 2-chloropropano-1,3-diol (2-MCPD), 2,3-dichloropropano-1-ol (2,3-DCP) oraz 1,3-dichloropropano-2-ol (1,3-DCP) [59]. Pod względem właściwości fizycznych 3-MCPD jest higroskopijną, bezbarwną cieczą, która w temperaturze pokojowej ma tendencję do przekształcania się w oleistą żółtawą ciecz o wyraźnym przyjemnym zapachu. 3-MCPD, ze względu na wysoką polarność, jest dobrze rozpuszczalny w rozpuszczalnikach polarnych, takich jak octan etylu, metanol, etanol, chloroform i aceton [59].

Chloropropanodiole stanowią toksyczne zanieczyszczenia chemiczne tłuszczów jadalnych oraz żywności zawierającej lipidy. Powstają w wyniku przetwarzania lub podczas przechowywania ww. żywności, w wyniku reakcji fosfolipidów, triacylogliceroli lub gliceryny z kwasem chlorowodorowym [59]. W 1978 r. po raz pierwszy stwierdzono obecność 3-MCPD w sosie sojowym otrzymywanym hydrolytycznie z użyciem kwasu solnego w podwyższonej temperaturze, co stało się podstawą do stwierdzenia, że 3-MCPD tworzy się jako produkt uboczny przy wytwarzaniu hydrolizowanych białek roślinnych (ang. HVP – *hydrolysed vegetable proteins*) [19, 22, 59]. Wykazano, że prekursorami 3-MCPD i 1,3-DCP powstającymi w HVP i w sosach sojowych jest kwas solny i lipidy resztkowe zawarte w użytych surowcach [24]. W późniejszych latach dowiedziono, że 3-MCPD jest najczęściej występującym związkiem zanieczyszczającym w rafinowanych olejach jadalnych [19, 59]. Tworzy się on bowiem podczas wysokotemperaturowej obróbki oleju, szczególnie na etapie dezodoryzacji, w obecności chlorowanych substancji chemicznych [59]. Co istotne, 3-MCPD występuje zarówno w postaci wolnej, jak i zestryfikowanej z kwasami tłuszczowymi (3-MCPDE) (Ryc. 3), przy czym estry 3-MCPD występują znacznie częściej niż wolny 3-MCPD [20]. W obecności jonów chlorkowych może również zachodzić dwukierunkowa konwersja 3-MCPD do glicydotu (Ryc. 4), a następnie do 2-MCPD. Analogiczne reakcje mogą przebiegać z udziałem zestryfikowanych form ww. związków [59].

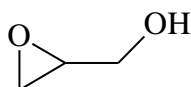
Szybkość powstawania i zawartość omawianych zanieczyszczeń w produkcie zależą od czasu i temperatury procesu rafinacji oraz od składu chemicznego surowego

oleju [19]. Szczegółowe mechanizmy tworzenia się 3-MCPD oraz estrów chloropropanodiolu zostały objaśnione w pracy Hamlet i wsp. [24].



Rycina 3. Struktura chemiczna 3-monochloropropano-1-monopalmitynianu (a) oraz 3-monochloropropanodipalmitynianu (b) [19]

Figure 3. Chemical structure of 3-chloro-1,2-propanediol 1-monopalmitate (a) and 3-chloro-1,2-propanediol dipalmitate (b) [19]



Rycina 4. Struktura chemiczna glicydołu [59]

Figure 4. Chemical structure of glycidol [59]

3-MCPD i jego estry mogą występować nie tylko w rafinowanych olejach roślinnych czy w hydrolizatach białkowych, ale także w innych produktach spożywczych, a zwłaszcza w tych, w których frakcją lipidową stanowią rafinowane tłuszcze. Omawiane związki zostały zidentyfikowane m.in. w przetworach mięsnych, produktach rybnych, margarynie, produktach zbożowych, ciemnym słodzie, a nawet w odżywkach dla niemowląt [24, 59]. Jak podają Syed Putra i wsp. [59] 3-MCPD może powstawać nie tylko w żywności przetwarzanej przemysłowo, ale także w tej poddawanej domowej obróbce kulinarnej. W pracy przeglądowej [19] podsumowującej wyniki prowadzonych na zwierzętach doświadczalnych badań toksykologicznych dotyczących 3-MCDP wskazano, iż powoduje on zaburzenia funkcjonowania nerek oraz układów rozrodczego, neurologicznego i odpornościowego. Stwierdzono, że za nefrotoksyczność i działanie toksyczne ww. związków na jądra gryzoni najprawdopodobniej odpowiadają niektóre metabolity chloropropanolu, w tym aldehyd  $\beta$ -chloromlekowy i kwas

szczawiowy, które przyczyniają się do hamowania glikolizy, a w konsekwencji do braku równowagi w metabolizmie energetycznym [19, 59]. Z kolei, na podstawie wyników badań *in vivo*, uznano, iż ani 3-MCDP, ani jego metabolity nie wykazują działania genotoksycznego u gryzoni, natomiast działanie takie przypisuje się glicydolowi [19]. Powyższe obserwacje sugerują zatem, iż glicydol nie powstaje w znaczących ilościach na szlaku metabolicznym 3-MCDP [19]. Jak podano w raporcie Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (IARC), wyniki doświadczeń prowadzonych na zwierzętach doświadczalnych dostarczyły wystarczających dowodów na rakotwórczość 3-MCDP. W związku z powyższym oraz z brakiem danych dotyczących kancerogennego oddziaływania 3-MCDP na organy człowieka, IARC sklasyfikowała 3-MCPD jako „potencjalnie rakotwórczy dla ludzi” (grupa 2B) [26]. Z kolei w 2018 r. Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) ustalił wielkość tolerowanego dziennego pobrania (ang. TDI) na poziomie 2 µg/kg masy ciała [35].

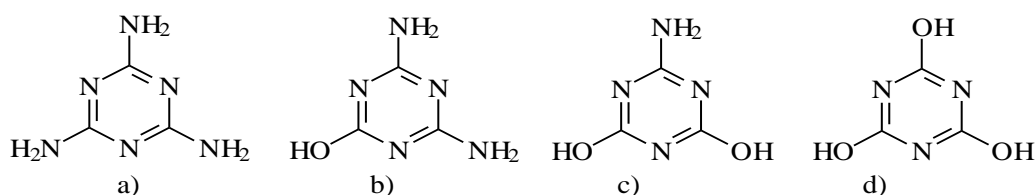
Obawy dotyczące toksyczności estrów 3-monochloropropano-1,2-diolu (zarówno mono-, jak i diestrów) wynikają z możliwości hydrolizy enzymatycznej tych związków podczas trawienia żywności zawierającej 3-MCPDE. Uwolniony z nich 3-MCDP może być wchłaniany z nabłonka jelitowego do naczyń limfatycznych i działać toksycznie na organizm [19, 59].

W nowym rozporządzeniu określającym najwyższe dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń w żywności, przyjętym przez Komisję Europejską w 2023 r. [52], w sekcji 5 „Zanieczyszczenia procesowe”, wartości NDP 3-monochloropropano-1,2-diolu (3-MCPD) ustalono dla hydrolizowanych białek roślinnych i sosu sojowego – wynoszą one w obu przypadkach 50 µg/kg suchej masy produktu. NDP zawartości sumy 3-MCDP i estrów 3-MCPD kwasów tłuszczowych, wyrażonej jako 3-MCDP, został określony dla następujących kategorii artykułów wprowadzanych do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego lub stosowania jako składnik żywności: (a) olejów i tłuszczów z orzechów kokosowych, kukurydzy, rzepaku, słonecznika, soi, nasion palmowych i oliwy z oliwek (składającej się z rafinowanej oliwy z oliwek oraz oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia) oraz mieszaniny olejów i tłuszczów z olejami i tłuszczami wyłącznie z tej kategorii, z wyjątkiem oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia – 1250 µg/kg; (b) innych olejów roślinnych (w tym oliwy z wyciśniętej z oliwek), olejów z ryb i olejów z innych organizmów morskich oraz mieszanin olejów i tłuszczów z olejami i tłuszczami wyłącznie z tej kategorii – 2500 µg/kg. Ponadto, oleje i tłuszcze z ww. kategorii wykorzystywane jako składnik mieszaniny muszą być zgodne z NDP ustalonym dla oleju i tłuszczu, w związku z czym poziom sumy 3-MCDP i estrów 3-MCPD w mieszaninie nie może przekraczać poziomu obliczonego z uwzględnieniem proporcji składników w produkcie, a gdy skład ilościowy nie jest znany – nie może przekraczać 2500 µg/kg. W przypadku olejów i tłuszczów roślinnych, olejów z ryb i olejów z innych organizmów morskich, przeznaczonych do produkcji żywności dla

dzieci i przetworzonej żywności na bazie zbóż dla niemowląt i małych dzieci, NDP zawartości sumy omawianych związków wynosi 750  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , natomiast NDP dotyczący estrów glicydylowych kwasów tłuszczowych wyrażonych jako glicydol – 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Z kolei w preparatach do początkowego żywienia niemowląt, preparatach do dalszego żywienia niemowląt oraz żywności specjalnego przeznaczenia medycznego przeznaczonej dla niemowląt i małych dzieci i w preparatach do żywienia małych dzieci NDP sumy 3-MCDP i estrów 3-MCPD oraz NDP estrów glicydylowych kwasów tłuszczowych wyrażonych jako glicydol wynoszą, odpowiednio, 125  $\mu\text{g}/\text{kg}$  oraz 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , gdy wymienione produkty wprowadzane są do obrotu jako proszek lub 15  $\mu\text{g}/\text{kg}$  oraz 6,0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , gdy produkty te wprowadzane są do obrotu w postaci płynnej. Zgodnie z cytowanym rozporządzeniem, NDP estrów glicydylowych kwasów tłuszczowych wyrażonych jako glicydol w olejach i tłuszczach roślinnych (z wyjątkiem oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia), w olejach z ryb i olejach z innych organizmów morskich wprowadzanych do obrotu z przeznaczeniem dla konsumenta końcowego lub do stosowania jako składnik w żywności, z wyjątkiem tych produktów przeznaczonych do produkcji żywności dla dzieci i przetworzonej żywności na bazie zbóż dla niemowląt i małych dzieci, przyjmuje wartość 1000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

### Melamina

Melamina (2,4,6-triamino-1,3,5-triazyna) to aromatyczny związek heterocykliczny z grupy amin, trimer cyjanamidu. Charakteryzuje się wysoką (ok. 66 %) zawartością azotu ze względu na obecność aż sześciu atomów azotu w swojej cząsteczce (Ryc. 5). Melamina stosowana jest do wyrobu żywic melaminowych, laminatów, farb, lakierów, tworzyw sztucznych, środków czyszczących i nawozów [43, 76]. Analogi melaminy – kwas cyjanurowy, ammelina i ammelid – mają podobne zastosowania jak melamina i charakteryzują się podobną do niej toksycznością.



Rycina 5. Struktura chemiczna melaminy oraz jej analogów: ameliny, ammelidu i kwasu cyjanurowego [43]

Figure 5. Chemical structure of melamine and its analogues: ammeline, ammelide and cyanuric acid [43]

Obecność melaminy w żywności stanowi albo celowe zafałszowanie, albo niezamierzone skażenie [8]. Ze względu na wysoką zawartość azotu melamina była stosowana

wana do celowego fałszowania żywności [37]. Jej dodatek pozwala na pozorne zawyżenie zawartości białka w produkcie, jako że jedną z podstawowych metod oznaczania zawartości białka jest metoda Kjeldahla, która opiera się na obliczeniu zawartości białka w oparciu o oznaczoną zawartość azotu. W 2007 r. w USA stwierdzono wiele zgonów zwierząt domowych, tj. psów i kotów, co okazało się następstwem obecności w karmie mąki pszennej pochodzącej z Chin, skażonej melaminą i jej analogami [42]. W 2008 r. w Chinach doszło do ok. 300 000 zachorowań i co najmniej kilku zgonów spowodowanych zanieczyszczeniem melaminą preparatów mleka modyfikowanego [2]. Niestety, okazało się, że problem zanieczyszczenia melaminą był dużo bardziej wszechobecny niż początkowo się wydawało i dotyczył wielu innych produktów, poza mlekiem modyfikowanym i karmą dla zwierząt [27]. Melamina może się dostać do żywności również w sposób nieumyślny – skutek migracji z naczyń kuchennych lub zastawy stołowej [3, 56].

Melamina nie jest metabolizowana przez ssaki i zostaje wydalona z moczem [42]. Podejrzewa się, że główne problemy zdrowotne związane z jej spożyciem wywołane są tworzeniem się nierozpuszczalnych kryształów melaminy i jej metabolitu – kwasu cyjanurowego – w drogach moczowych [43]. Kryształy te mogą powodować uszkodzenia kanalików proksymalnych i dystalnych, co z kolei może być odpowiedzialne za wystąpienie ostrej niewydolności nerek, a w niektórych przypadkach (np. przy niewielkiej średnicy kanalików u niemowląt) może prowadzić nawet do zgonów [38]. Wykazano różnorodne skutki toksyczne melaminy, w tym zachorowania na kamicy nerkową, przewlekłe zapalenie nerek, raka pęcherza moczowego, działanie neurotoksyczne, pogorszenie stanu wątroby, męską i żeńską toksyczność reprodukcyjną [2, 8, 37]. Co istotne, wykazano również, że aktywność drobnoustrojów jelitowych może wpływać na metabolizm i toksyczność melaminy [74].

W Rozporządzeniu Komisji (WE) nr 1881/2006 nie określono dopuszczalnego poziomu melaminy w środkach spożywczych [45]. W dniu 18 marca 2010 r. EFSA przyjął opinię naukową dotyczącą melaminy w żywności i paszy, w której omówiono problemy zdrowotne wynikające z fałszowania paszy i preparatów dla niemowląt poprzez dodawanie melaminy [11]. W ślad za tym w lipcu 2010 r. Komisja Codex Alimentarius ustaliła najwyższe dopuszczalne poziomy dla melaminy w paszy i żywności [17], co z kolei spowodowało, że zaistniała potrzeba wprowadzenia zmian w obowiązującym Rozporządzeniu Komisji ustalającym najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. W 2012 r. Rozporządzeniem Komisji (UE) nr 594/2012 do załącznika Rozporządzenia z 1881/2006 dodano sekcję 7 „Melamina i jej analogi strukturalne” [46]. W sekcji tej ujęto: (1) preparaty do początkowego żywienia niemowląt, preparaty do dalszego żywienia niemowląt i preparaty do żywienia małych dzieci w proszku oraz (2) pozostałe produkty, dla których przyjęto wyższy dopuszczalny poziom (2,5 mg/kg). W kolejnych latach Komisja Europejska

zgodziła się zaakceptować przyjęty przez Kodeks Żywnościowy najwyższy dopuszczalny poziom nie tylko w odniesieniu do preparatów do początkowego żywienia niemowląt w proszku (1,0 mg/kg), ale także do preparatów płynnych (0,15 mg/kg). Zmiany takie wprowadzono obowiązującym Rozporządzeniem z 2023 r. [52]. Dodatkowo w Rozporządzeniach z 2012 r. i 2023 r. dla grupy pozostałych produktów określono, iż „najwyższy dopuszczalny poziom nie ma zastosowania do żywności, w odniesieniu do której można udowodnić, że poziom melaminy wyższy niż 2,5 mg/kg jest wynikiem dopuszczonego stosowania cyromazyny jako insektycydu”.

### *Nadchloran*

Nadchlorany (chlorany(VII)) to nieorganiczne, rozpuszczalne w wodzie sole kwasu nadchlorowego (chlorowego(VII)) z kationami sodu, potasu, amonu, litu czy magnezu. Chlor na maksymalnym stopniu utlenienia zapewnia silnie utleniające właściwości nadchloranu [34]. Anion nadchloranowy ze względu na swoją budowę wykazuje dużą stabilność w środowisku wodnym [5, 30]. Nadchloran w środowisku występuje w glebie, wodzie i żywności, zarówno naturalnie, jak i wskutek działalności człowieka [30, 34]. Nadchlorany ze względu na swoje właściwości są szeroko stosowane m.in. do produkcji fajerwerków, materiałów wybuchowych, zapalek, flar bezpieczeństwa oraz w operacjach wojskowych, a powszechnie wykorzystanie tych materiałów w konsekwencji przyczynia się do antropogenicznego skażenia środowiska [6, 63]. Co więcej, na skutek, nie w pełni poznanych, naturalnych mechanizmów nadchloran powstaje w atmosferze, skąd również przedostaje się do gleby i wód gruntowych [14]. Obecność nadchloranów w glebie może wpłynąć dodatkowo na przyspieszenie rozpuszczania minerałów, zwiększając w ten sposób ilość potencjalnie toksycznych metali ciężkich i/lub śladowych przedostających się do gleby i wód gruntowych [34]. Z gleby, wody stosowanej do nawadniania oraz z nawozów zanieczyszczeniu ulegają różne rośliny, a w konsekwencji owoce i warzywa [6]. Bioakumulacja nadchloranów jest największa w roślinach liściastych, takich jak szpinak czy sałata [62]. Większość naturalnych nadchloranów w glebie występuje na Ziemi wyłącznie w suchych i półsuchych środowiskach, np. na pustyniach, jak również na terenach z pokrywą śnieżną i lodową (np. na Antarktydzie, w Kanadzie, na Alasce) [6, 29]. Ponadto nadchlorany wykryto w wodach powierzchniowych i gruntowych wykorzystywanych do dostarczania wody pitnej [30, 63], w wodzie morskiej [25] czy w Wielkich Jeziorach w USA [41].

Narażenie ludzi oraz zwierząt wodnych i lądowych na nadchlorany występuje głównie w wyniku spożycia wody i żywności skażonej nadchloranami [58]. Ponadto spożycie roślin nawadnianych wodą zanieczyszczoną nadchloranami stanowi kolejną drogę narażenia na te substancje [34]. Dodatkowo transfer troficzny można uznać za pośrednią drogę narażenia organizmów na nadchlorany [4]. Wykazano, że nadchlorany przede wszystkim zaburzają pracę tarczycy, gdyż jon nadchloranowy zakłóca wychwytywanie jodu przez tarczycę.

jonów jodu przez tarczycę [12]. Wychwyty jonów nadchloranowych w miejsce jodkowych wywołuje zmniejszone wydzielanie hormonów tarczycy [34]. Odpowiednie spożycie jodu jest szczególnie ważne dla organizmu człowieka ze względu na jego udział w syntezie hormonów tarczycy, a w konsekwencji w regulacji wzrostu, rozwoju mózgu i aktywności metabolicznej, zwłaszcza u rozwijających się płodów, u niemowląt i dzieci [38]. Niestety poza wspomnianymi wcześniej drogami narażenia, nadchlorany występują we wszystkich płynach ustrojowych człowieka, w tym w mleku matki [32]. Uwzględniając zawartość nadchloranów w mlekach modyfikowanych stanowi to zwiększone ryzyko dla noworodków i niemowląt [40].

W Rozporządzeniu Komisji (WE) nr 1881/2006 z 19 grudnia 2006 r. nie określono dopuszczalnego poziomu nadchloranu w środkach spożywczych [45], natomiast w 2014 r. panel CONTAM przyjął opinię naukową w sprawie zagrożeń dla zdrowia publicznego związanych z obecnością nadchloranu w żywności, szczególnie w owocach i warzywach [12]. W kolejnym roku wydane zostało zalecenie Komisji (UE) 2015/682 w sprawie monitorowania obecności nadchloranu w żywności [68]. W zaleceniu tym wskazano grupy produktów do monitorowania oraz najbardziej wiarygodną metodę oznaczania nadchloranu w żywności. Następnie w 2017 r. Urząd opublikował sprawozdanie dotyczące oceny narażenia na nadchloran z dietą w Europie, które następnie, wraz z podobnymi wnioskami końcowymi, zostało przeanalizowane przez panel CONTAM [14]. Konsekwencją tych działań było wydanie w 2020 r. Rozporządzenia Komisji (UE) nr 2020/685, które do obowiązującego rozporządzenia (WE) nr

Tabela 3. Najwyższe dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń środków spożywczych nadchloranem [52]  
Table 3. The maximum permissible levels of contamination of foodstuffs with perchlorate [52]

Środek spożywczy / Foodstuff	Najwyższy dopuszczalny poziom / Maximum permissible level [mg/kg]
Owoce i warzywa, z wyjątkiem wymienionych / Fruit and vegetables, except for those mentioned	0,05
<i>Cucurbitaceae</i> i jarmuż / <i>Cucurbitaceae</i> and kale	0,10
Warzywa liściaste i zioła / Leafy vegetables and herbs	0,50
Herbata ( <i>Camellia sinensis</i> ), herbatki ziołowe i owocowe, składniki stosowane do herbatek ziołowych i owocowych (produkty suszone) / Tea ( <i>Camellia sinensis</i> ), herbal and fruit teas, ingredients for herbal and fruit teas (dried products)	0,75
Preparaty do początkowego i dalszego żywienia niemowląt, żywność specjalnego przeznaczenia medycznego dla niemowląt i małych dzieci, preparaty do żywienia małych dzieci / Preparations for initial and further infant feeding, food for special medical purposes for infants and young children, preparations for feeding young children	0,01
Żywność dla dzieci / Baby food	0,02
Przetworzona żywność na bazie zbóż / Processed grain-based food	0,01



1881/2006 dodało sekcję 9 „Nadchlorań” [49]. W Rozporządzeniu tym uwzględniono najwyższe dopuszczalne poziomy dla takich produktów, jak warzywa i owoce, herbaty i produkty przeznaczone do żywienia niemowląt i małych dzieci. Zmiany te podtrzymano w obowiązującym najnowszym Rozporządzeniu Komisji (UE) 2023/915 (Tabela 3) [52].

## Podsumowanie

Dzięki postępowi w wielu dziedzinach nauki poszerzeniu ulega również wiedza na temat bezpieczeństwa żywności, substancji zanieczyszczających środki spożywcze i ich negatywnego wpływu na organizm człowieka. Wiedza ta znajduje odzwierciedlenie w regulacjach prawnych ograniczających występowanie niebezpiecznych substancji w żywności. Lista zagrożeń natury chemicznej jest cały czas otwarta i uzupełniana, a działania dotyczące oceny kolejnych substancji potencjalnie niebezpiecznych, a mogących znajdować się w żywności, są inicjowane przez odpowiednie instytucje sprawujące nadzór na bezpieczeństwem żywności. Odzwierciedleniem tych działań są zalecenia Komisji UE w sprawie monitorowania poziomów zanieczyszczeń żywności. Obecnie monitorowaniu w żywności podlega obecność śladów bromowanych opóźniaczy spalania [67], niklu [70], furanów i alkilofuranów [72], a także olejów mineralnych w żywności oraz w materiałach i wyrobach przeznaczonych do kontaktu z żywnością [71].

## Literatura

- [1] Ahmed S.M., Noble B.N., Joya S.A., Hasan M.O.S.I., Lin P.-I., Rahman M.L., Mostofa G., Quamruzzaman Q., Rahman M., Christiani D.C., Kile M.L.: A Prospective Cohort Study Examining the Associations of Maternal Arsenic Exposure With Fetal Loss and Neonatal Mortality. *Am. J. Epidemiol.*, 2019, 188(2), 347-354.
- [2] An L., Sun W.: A Brief Review of Neurotoxicity Induced by Melamine. *Neurotox. Res.*, 2017, 32(2), 301-309.
- [3] Arce M.M., Sanllorente S., Ortiz M.C.: Kinetic models of migration of melamine and formaldehyde from melamine kitchenware with data of liquid chromatography. *J. Chromatogr. A*, 2019, 1599, 115-124.
- [4] Bansal R., Deobald L., Crawford R., Paszczyński A.: Proteomic detection of proteins involved in perchlorate and chlorate metabolism. *Biodegradation*, 2009, 20, 603-620.
- [5] Buzid A., Boertjes J., Gilchrist E.S., Glennon J.D., Luong J.H.T.: Analysis and electroanalysis of perchlorate in water and food samples: a critical review. *Anal. Methods*, 2023, 15, #3382.
- [6] Calderón R., Godoy F., Escudey M., Palma P.: A review of perchlorate (ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>) occurrence in fruits and vegetables. *Environ Monit Assess.*, 2017, 189, #82.
- [7] Carnero A.R., Lestido-Cardama A., Loureiro P.V., Barbosa-Pereira L., Bernaldo de Quirós A.R., Sendón R. Presence of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food Contact Materials (FCM) and Its Migration to Food. *Foods* 2021, 10, #1443.

- [8] Chu C.Y., Wang C.C.: Toxicity of Melamine: The Public Health Concern. *J. Environ. Sci. Health, Part C*, 31, 4, 342-386.
- [9] Chung J.Y., Yu S.D., Hong Y.S.: Environmental Source of Arsenic Exposure. *J. Prev. Med. Pub. Health.*, 2014, 47(5), 253-257.
- [10] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM): Scientific Opinion on Arsenic in Food. *EFSA Journal*, 2009, 7(10), 1351.
- [11] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) and EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids (CEF): Scientific Opinion on Melamine in Food and Feed. *EFSA Journal*, 2010, 8(4), 1573.
- [12] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM): Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of perchlorate in food, in particular fruits and vegetables. *EFSA Journal*, 2014, 12(10), 3869.
- [13] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM): Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. *EFSA Journal*, 2014, 12(3), 3597.
- [14] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM): Scientific opinion on the dietary exposure assessment to perchlorate in the European population. *EFSA Journal*, 2017, 15(10), 5043.
- [15] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM): Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*, 2020, 18(9), 6223.
- [16] EFSA, Arcella D., Cascio C., Gómez Ruiz J.A.: Scientific report on the chronic dietary exposure to inorganic arsenic. *EFSA Journal*, 2021, 19(1), 6380.
- [17] FAO/WHO Sprawozdanie z 33. sesji Wspólnego programu FAO i WHO dotyczącego standardów żywieniowych, Komisja Codex Alimentarius, Genewa, Szwajcaria, 5-9 lipca 2010 r. (ALINORM 10/33/REP).
- [18] Falandysz J., Taniyasu S., Yamashita N., Jêcek L., Rostkowski P., Gulkowska A., Mostrąg A., Walczykiewicz B., Zegarowski L., Falandysz J., Zalewski K.: Związki perfluorowane w środowisku przyrodniczym, żywności i organizmie człowieka. *Roczniki PZH*, 2006, 57(2), 113-124.
- [19] Fattore E., Lanno A., Danieli A., Stefano S., Passoni A., Roncaglioni A., Bagnati R., Davoli E.: Toxicology of 3-monochloropropane-1,2-diol and its esters: a narrative review. *Archiv. Toxicol.*, 2023, 97(5), 1247-1265.
- [20] Gałkowska D., Pycia K., Kapuśniak K., Juszczyk L.: Zanieczyszczenia żywności – charakterystyka i regulacje prawne. Część I – toksyny roślinne. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2023, 4(137), 245-263.
- [21] Ganie S.Y., Javaid D., Hajam Y.A., Reshi M.S.: Arsenic toxicity: sources, pathophysiology and mechanism. *Toxicol. Res.*, 2024, 13, 1, #111.
- [22] Gawarska H., Sawilska-Rautenstrauch D., Starski A., Karłowski, K.: Występowanie 3 monochloropropano-1,2-diolu (3-MCPD) w produktach spożywczych. *Roczniki PZH*, 2009, 60(3), 213-216.
- [23] Grelik A., Kwiatek K.: Alkaloidy sporyszu – substancje niepożądane w paszach i materiałach paszowych. *Wiadomości Zootechniczne*, 2017, 3, 149-154.
- [24] Hamlet C.G., Sadd P.A., Crews C., Velíšek J., Baxter D.E.: Occurrence of 3-chloro-propane-1,2-diol (3-MCPD) and related compounds in foods: A review. *Food Additiv. Contam.*, 2002, 19(7), 619-631.
- [25] Her N., Jeong H., Kim J., Yoon Y.: Occurrence of perchlorate in drinking water and seawater in South Korea. *Arch. Environ. Con. Tox.*, 2011, 61, 166-172.
- [26] IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 3-Monochloro-1,2-propanediol. In *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans / World Health Organization. International Agency for Research on Cancer*, 2013, 101, 9-549.

- [27] Ingelfinger J.R.: Melamine and the global implications of food contamination. *N. Engl. J. Med.*, 2008, 359(26), 2745-2748.
- [28] Issanov A., Adewusi B., Saint-Jacques N., Dummer T.J.B.: Arsenic in drinking water and lung cancer: A systematic review of 35 years of evidence. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 2024, 483, #116808.
- [29] Jiang S., Li Y.-S., Sun B.: Determination of trace level of perchlorate in Antarctic snow and ice by ion chromatography coupled with tandem mass spectrometry using an automated sample on-line preconcentration method. *Chin. Chem. Lett.*, 2013, 24, 311-314.
- [30] Kannan K., Praamsma M.L., Oldi J.F., Kunisue T., Sinha R.K.: Occurrence of perchlorate in drinking water, groundwater, surface water and human saliva from India. *Chemosphere*, 2009, 76(1), 22-26.
- [31] Kaur R., Garkal A., Sarode L., Bangar P., Mehta T., Singh D.P., Rawal R.: Understanding arsenic toxicity: Implications for environmental exposure and human health. *J. Hazard. Mater. Lett.*, 2024, 5, #100090.
- [32] Kirk A.B., Kroll M., Dyke J.V., Ohira S., Dias R.A., Dasgupta P.K.: Perchlorate, iodine supplements, iodized salt and breast milk iodine content. *Sci. Total Environ.*, 2012, 420, 73-78.
- [33] Knutsen H.K., Alexander J., Barregård L., Bignami M., Brüschweiler B., Ceccatelli S., Cottrill B., Dinovi M., Edler L., Grasl-Kraupp B., Hoogenboom L., Nebbia C.S., Oswald I.P., Petersen A., Rose M., Roudot A.C., Schwerdtle T., Vleminckx C., Vollmer G., Wallace H., Lampen A., Morris I., Piersma A., Schrenk D., Binaglia M., Levorato S., Hogstrand C.: Scientific Opinion on the update of the risk assessment on 3-monochloropropane diol and its fatty acid esters. *EFSA Journal*, 2018, 16(1): 5083, 48.
- [34] Kumarathilaka P., Oze Ch, Indraratne S.P., Vithanage M.: Perchlorate as an emerging contaminant in soil, water and food. *Chemosphere*, 2016, 150, 667-677.
- [35] Le X.Ch., Lu X., Li X.-F.: Arsenic Speciation. *Anal. Chem.*, 2004, 76, 1, 26 A-33A.
- [36] Lebelo K., Malebo N., Mochane M.J., Masinde M.: Chemical Contamination Pathways and the Food Safety Implications along the Various Stages of Food Production: A Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, #5795.
- [37] Li Q., Song P., Wen J.: Melamine and food safety: a 10-year review. *Curr. Opin. Food Sci.*, 2019, 30, 79-84.
- [38] Maffini M.V., Trasande L., Neltner T.G.: Perchlorate and Diet: Human Exposures, Risks, and Mitigation Strategies. *Curr. Envir. Health Rpt.*, 2016, 3, 107-117.
- [39] Nurchi V.M., Buha Djordjevic A., Crisponi G., Alexander J., Bjørklund G., Aaseth J.: Arsenic Toxicity: Molecular Targets and Therapeutic Agents. *Biomolecules*, 2020, 10(2), 235.
- [40] Panseri S., Nobile M., Arioli F., Biolatti C., Pavlovic R., Chiesa L.M.: Occurrence of perchlorate, chlorate and polar herbicides in different baby food commodities. *Food Chem.*, 2020, 330, #127205.
- [41] Poghosyan A., Sturchio N.C., Morrison C.G., Beloso A.D., Guan Y., Eiler J.M., Jackson W.A., Hatzinger P.B.: Perchlorate in the Great Lakes: isotopic composition and origin. *Environ. Sci. Technol.*, 2014, 48, 11146-11153.
- [42] Puschner B., Reimschuessel R.: Toxicosis Caused by Melamine and Cyanuric Acid in Dogs and Cats: Uncovering the Mystery and Subsequent Global Implications. *Clin. Lab. Med.*, 2011, 31(1), 181-199.
- [43] Rajpoot M., Bhattacharya R., Sharma S., Gupta S., Sharma V., Sharma A.K.: Melamine contamination and associated health risks: Gut microbiota does make a difference. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2021, 68, 1271-1280.
- [44] Rehman M.U., Khan R., Khan A., Qamar W., Arifah A., Ahmad A., Ahmad A., Akhter R., Rinklebe J., Ahmad P.: Fate of arsenic in living systems: Implications for sustainable and safe food chains. *J. Hazard Mater.*, 2021, 417, #126050.

- [45] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. Dz.U. L364/5, 20.12.2006.
- [46] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 594/2012 z dnia 5 lipca 2012 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych zanieczyszczeń ochratoksyną A, polichlorowanymi bifenylami o działaniu niepodobnym do dioksyn i melaminą w środkach spożywczych. Dz.U. L176/43, 6.7.2012.
- [47] Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1006 z dnia 25 czerwca 2015 r. zmieniające Rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów nieorganicznego arsenu w środkach spożywczych. Dz.U. L161/14, 26.6.2015.
- [48] Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1940 z dnia 28 października 2015 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów przetrwalników buławinki czerwonej w niektórych nieprzetworzonych zbożach oraz w odniesieniu do przepisów dotyczących monitorowania i sprawozdawczości. Dz.U. L283/3, 29.10.2015.
- [49] Rozporządzenie Komisji (UE) 2020/685 z dnia 20 maja 2020 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów nadchloranu w niektórych środkach spożywczych (Dz.U. L160/3, 25.5.2020).
- [50] Rozporządzenie Komisji (UE) 2021/1399 z dnia 24 sierpnia 2021 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów przetrwalników buławinki czerwonej i alkaloidów sporyszu w niektórych środkach spożywczych. Dz.U. L301/1, 25.8.2021.
- [51] Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/2388 z dnia 7 grudnia 2022 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów substancji perfluoroalkilowych w niektórych środkach spożywczych. Dz.U. L316/38, 8.12.2022.
- [52] Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006. Dz.U. L119/103, 5.5.2023.
- [53] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 24 lipca 2012 r. w sprawie substancji chemicznych, ich mieszanin, czynników lub procesów technologicznych o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy (Dz.U. 2012 poz. 890).
- [54] Sabbagh, S.: Arsenic contamination in rice, radiation and chemical methods of measurement, and implications for food safety. *J. Food Sci. Technol.*, 2023, 60, 1870-1887.
- [55] Schiff P.L.: Ergot and Its Alkaloids. *Am. J. Pharma. Edu.*, 2006, 15, 70(5), 98.
- [56] Shi X., Dong R., Chen J., Yuan Y., Long Q., Guo J., Li S., Chen B.: An assessment of melamine exposure in Shanghai adults and its association with food consumption. *Environ. Int.*, 2020, 135, #105363.
- [57] Singh R., Singh S., Parihar P., Singh V.P., Prasad S.M.: Arsenic contamination, consequences and remediation techniques: A review. *Ecotox. Environ. Saf.*, 2015, 112, 247-270.
- [58] Smith P.N., Severt S.A., Jackson W.A., Anderson T.A.: Thyroid function and reproductive success in rodents exposed to perchlorate via food and water. *Environ. Toxicol. Chem.*, 2006, 25, 1050-1059.
- [59] Syed Putra, S.S., Basirun W.J., Elgharbawy A.A.M., Hayyan M., Al Abdulmonem W., Aljohani A.S.M., Hayyan A.: 3-Monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD): a review on properties, occurrence, mechanism of formation, toxicity, analytical approach and mitigation strategy. *J. Food Measur. Character.*, 2023, 17(4), 3592-3615.
- [60] Thompson L.A., Darwish W.S.: Environmental Chemical Contaminants in Food: Review of a Global Problem. *J. Toxicol.*, 2019, #2345283.
- [61] Walczak M., Kwiatek K.: Sporysz jako źródło niebezpiecznych alkaloidów w zbożowych materiałach żywnościowych i paszowych. *Życie Weterynaryjne*, 2015, 90(4), 242-243.

- [62] Wan Y., Wu Q., Abualnaja K.O., Asimakopoulos A.G., Covaci A., Gevao B., Johnson-Restrepo B., Kumosani T.A., Malarvannan G., Moon H.-B., Nakata H., Sinha R.K., Minh T.B., Kannan K.: Occurrence of perchlorate in indoor dust from the United States and eleven other countries: Implications for human exposure. *Environ. Int.*, 2015, 75, 166-171.
- [63] Ye L., You H., Yao J., Kang X., Tang L.: Seasonal variation and factors influencing perchlorate in water, snow, soil and corns in Northeastern China. *Chemosphere*, 2013, 90(10), 2493-2498.
- [64] Zachara A., Gałkowska D., Juszcak L.: Contamination of Tea and Tea Infusion with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, 15, #45.
- [65] Zalecenie Komisji z dnia 15 marca 2012 r. w sprawie monitorowania występowania alkaloidów sporyszu w paszy i żywności. *Dz.U. L 77/20*, 16.3.2012.
- [66] Zalecenie Komisji z dnia 15 marca 2012 r. w sprawie monitorowania substancji perfluoroalkilowych w żywności. *Dz.U. L 68/21*, 18.3.2010.
- [67] Zalecenie Komisji (UE) z dnia 3 marca 2014 r. w sprawie monitorowania śladów bromowanych opóźniaczy spalania w żywności. *Dz.U. L 65/39*, 5.3.2014.
- [68] Zalecenie Komisji (UE) 2015/682 z dnia 29 kwietnia 2015 r. w sprawie monitorowania obecności nadchloranu w żywności. *Dz.U. L 111/32*, 30.4.2015.
- [69] Zalecenie Komisji (UE) 2015/1381 z dnia 10 sierpnia 2015 r. w sprawie monitorowania występowania arsenu w żywności. *Dz.U. L 213/9*, 12.8.2015.
- [70] Zalecenie Komisji (UE) 2024/907 z dnia 22 marca 2024 r. w sprawie monitorowania obecności niklu w żywności. *Dz.U. L 2024.907*, 26.3.2024.
- [71] Zalecenie Komisji (UE) 2017/84 z dnia 16 stycznia 2017r. w sprawie monitorowania węglowodórów olejów mineralnych w żywności oraz w materiałach i wyrobach przeznaczonych do kontaktu z żywnością. *Dz.U. L 12/95*, 17.1.2017.
- [72] Zalecenie Komisji (UE) 2022/495 z dnia z dnia 25 marca 2022 r. w sprawie monitorowania obecności furanu i alkilofuranów w żywności *Dz.U. L 100/60*, 28.3.2022.
- [73] Zalecenie Komisji (UE) 2022/1431 z dnia 24 sierpnia 2022 r. w sprawie monitorowania substancji perfluoroalkilowych w żywności. *Dz.U. L 221/105*, 26.8.2022.
- [74] Zheng X., Zhao A., Xie G., Chi Y., Zhao L., Li H., Wang C., Bao Y., Jia W., Luther M., Su M., Nicholson J.K., Jia W.: Melamine-induced renal toxicity is mediated by the gut microbiota. *Sci. Transl. Med.*, 2013, 5, 172ra22.
- [75] Zhou Y., Zhou Z., Lian Y., Sun X., Wu Y., Qiao L., Wang M.: Source, transportation, bioaccumulation, distribution and food risk assessment of perfluorinated alkyl substances in vegetables: A review. *Food Chem.*, 2021, 349, #129137.
- [76] Zhu H., Kannan K.: Melamine and cyanuric acid in foodstuffs from the United States and their implications for human exposure, *Environ. Int.*, 2019, 130, #104950.

## FOOD CONTAMINATION – CHARACTERISTICS AND LEGAL REGULATIONS.

### PART II

#### S u m m a r y

**Background:** Appropriately shaped food law and food safety policy pursued by European Union institutions, covering all stages of the food chain, are intended to guarantee consumers safe food and access to appropriate information related to food safety, including withdrawals of dangerous products. In addition to microbiological threats, chemical threats are a key issue, including: mycotoxins, plant toxins, heavy metals, persistent halogenated organic pollutants, process pollutants and others. The original legal act estab-

lishing maximum levels of certain contaminants in foodstuffs was Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006, which, after numerous amendments, was repealed and replaced by Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023. The first part of the work characterized plant toxins including erucic acid, tropane and pyrrolizidine alkaloids and opium alkaloids, hydrogen cyanide and cyanogenic glycosides, and delta-9-tetrahydrocannabinol equivalents as food contaminants. The aim of the second part of this study was to characterize other food contaminants, the maximum permissible levels of which were introduced by amendments to Regulation EC 1881/2006 and included in the current EU Regulation 2023/915.

**Results and conclusions:** Numerous amendments to Regulation 1881/2006 and, consequently, Regulation 2023/915, in addition to the maximum permissible levels of plant toxin residues, have introduced the highest permissible levels for red valgus spores and ergot alkaloids – in the category of mycotoxins, for arsenic – in the category of metals and other elements, for perfluoroalkyl substances – in the group of persistent halogenated organic pollutants, for the sum of 3-monochloropropanediol (3-MCPD) and 3-MCPD fatty acid esters, expressed as 3-MCPD and glycidyl fatty acid esters, expressed as glycidol – in the process pollutant category and for melamine and perchlorate, classified as other pollutants. The list of chemical hazards is, of course, not exhaustive and, in accordance with the recommendations of the European Commission, the traces of brominated flame retardants, the presence of nickel, hydrocarbons of mineral oils and the presence of furan and alkylfurans in food are subject to monitoring.

**Keywords:** food safety, food contamination, process contamination, 3-MCPD ☒