

Oznaczanie wybranych pierwiastków o potencjalnie toksycznych i prozdrowotnych właściwościach w próbkach żywności

1. Wstęp

Pierwiastki chemiczne są obecne w produktach żywności. Spożywanie jedzenie jest jednym z głównych źródeł dostarczania pierwiastków do organizmu. Pierwiastki mogą wykazywać potencjalnie niebezpieczne jak również prozdrowotne właściwości dla organizmu. Stąd, spożywanie pokarmu przez ludzi może prowadzić do dostarczania pierwiastków niezbędnych i korzystnych dla zdrowia jak również potencjalnie niebezpiecznych.

Wyselekcjonowano zbiór pierwiastków o potencjalnie udowodnionych właściwościach prozdrowotnych i niebezpiecznych takich jak: glinu, arsenu, kadmu, chromu, miedzi, żelaza, manganu, niklu, ołowiu, seleniu i cynku i dokonano oznaczenia ich zawartości w dostarczonych produktach żywności.

Źródłem glinu (Al) w żywności jest naturalne występowanie tego pierwiastka w produktach, jego obecność na skutek dodawania substancji obcych do produktów żywności jak również wmywanie tego pierwiastka z materiałów zawierających glin i mających kontakt z żywnością takich jak garnki, folia itp. Największe zawartości glinu zwykle odnotowuje się w produktach zbożowych, owocach i warzywach. Opinia EFSA (Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności) wskazuje, że tolerowana tygodniowa dawka glinu wynosi 1 mg na kg masy ciała ("Safety of Aluminium from Dietary Intake - Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC)," 2008).

Arsen (As) może być toksyczny dla zdrowia w każdej dawce w zależności od jego formy specjacyjnej. Agencja FDA z tego względu zaleca monitorowanie i reguluje dopuszczalne limity zawartości dla tego pierwiastka w produktach żywności, suplementach diety i kosmetykach. Arsen jest szczególnie niebezpieczny dla populacji dzieci i niemowląt ze względu na względnie wysokie spożycie masy pokarmów w przeliczeniu na jednostkę masy ciała jak również ze względu na to, że ten pierwiastek często bywa obecny w produktach, które stanowią główne składniki produktów przeznaczonych do spożycia dla niemowląt czyli przede wszystkim produktów zbożowych, ryżu, rybach i produktach pochodnych. W zależności od typu produktu dopuszczalna zawartość arsenu w produktach mieści się w przedziale kilku $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Commission Regulation (EU) 2023/465, 2023).

Kadm (Cd) jest jednym z najbardziej toksycznych pierwiastków dla organizmu. Może być obecny w praktycznie wszystkich typach produktów ze względu na fakt, że jest szeroko rozpowszechniony w środowisku szczególnie lądowym i odnotowuje się go często w produktach warzyw, owoców itp. ze względu na to, że pobierany jest z gleby przez rośliny. Również dla kadmu ustanowiono dopuszczalne normy w produktach i w zależności od kategorii wynoszą one kilka $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Commission Regulation (EU) 2023/915, 2023).

Chrom jest pierwiastkiem o udowodnionych zarówno potencjalnie prozdrowotnych jak również niebezpiecznych właściwościach w zależności od zawartości (dawki) jak również formy

specjacyjnej i wynikającej z niej właściwości biologicznych i fizykochemicznych. Jest wykrywany w żywności szczególnie często w produktach mięsa, warzyw, owoców, zbóż i wielu innych a średnie i typowe zawartości chromu w produktach żywności wahają się między 0,1-7,5 µg na porcję (Anderson et al., 1992).

Miedź (Cu) jest jednym z niezbędnych pierwiastków występujących naturalnie w niektórych produktach żywności. Jest kofaktorem wielu enzymów z rodziny miedzioenzymów. Jednym z głównych produktów dzięki którym można dostarczyć organizmowi zalecanej dawki miedzi są produkty pochodzenia zwierzęcego i roślinnego. Szacuje się, że najbogatszymi źródłami miedzi są produkty rybne, nasion i orzechów, mięso, otręby zbożowe, produkty pełnoziarniste i czekolada (Prohaska, 2012).

Żelazo (Fe) jest naturalnie występującym pierwiastkiem w wielu typach produktów żywności i niezbędnym pierwiastkiem do poprawnego funkcjonowania organizmu. Dla żywności wyróżnia się dwa typy żelaza: hemowa i niehemowa. Rośliny i produkty wzbogacane (orzechy, fasola, warzywa i zboża) w żelazo zawierają postać niehemową z kolei produkty mięsne, owoców morza zawierają ten pierwiastek w obu postaciach (Aggett, 2012).

Mangan (Mn) jest pierwiastkiem niezbędnym dla organizmu i jego funkcje wykraczają poza występowanie jako kofaktor enzymów z rodzin takich jak dysmutazy, araginazy i karboksylazy. Mangan obecny jest w produktach: pełnoziarnistych, mały, ostrygi, omułki, orzechów, soi i innych roślin strączkowych, ryżu, warzyw liściastych, kawie, herbacie i wielu przyprawach, takich jak czarny pieprz (Aschner & Aschner, 2005).

Wraz z początkiem czerwca 2025, Komisja Europejska wprowadziła regulacje określającą dopuszczalne limity zawartości niklu (Ni) w żywności zalecając przeprowadzenie szerokiego monitoringu zawartości niklu w produktach żywności (THE EUROPEAN COMMISSION, 2024). Nikiel wykazuje potencjalnie negatywne właściwości dla organizmu. Obecność niklu w żywności jest częściowo naturalna. Nikiel w żywności i wodzie pitnej może również pochodzić z różnych źródeł przemysłowych i technologicznych.

Ołów (Pb) jest jednym z najczęstszych substancji skażających środowisko i wykazuje potencjalnie toksyczne właściwości. Ołów występuje najczęściej i w znaczących zawartościach w produktach takich jak: zboża i warzywa (szczególnie ziemniaki i warzywa liściaste) ("Scientific Opinion on Lead in Food," 2010). Ustanowiono dopuszczalne limity zawartości ołowiu w zależności od typu produktu (Commission Regulation (EU) 2023/915, 2023).

Selen (Se) jest pierwiastkiem niezbędnym, składnikiem wielu białek i wykazuje wiele innych funkcji. Właściwości selenu dla organizmu są ściśle uzależnione od formy specjacyjnej w produkcie. Jednakże, właściwości selenu wykazują zależność od dawki i formy specjacyjnej i przy wysokim narażeniu selen może wykazywać negatywne skutki dla organizmu. Występowanie wysokich zawartości selenu koreluje zwykle z wysoką zawartością białka w produktach i głównymi źródłami tego pierwiastka są: orzechy brazylijskie, owoce morza, mięso, produkty zbożowe i mleczne i jajka (Lei et al., 2022).

Cynk (Zn) jest pierwiastkiem niezbędnym naturalnie występującym w wielu produktach takich jak: mięso, ryby, i owoce morza, ostrygi, jak również jaka, produkty zbożowe i mleczarskie (Holt et al., 2012).

2. Cel

Celem pracy było wyznaczenie zawartości wyżej wymienionych pierwiastków w dostarczonych produktach żywności.

3. Metody

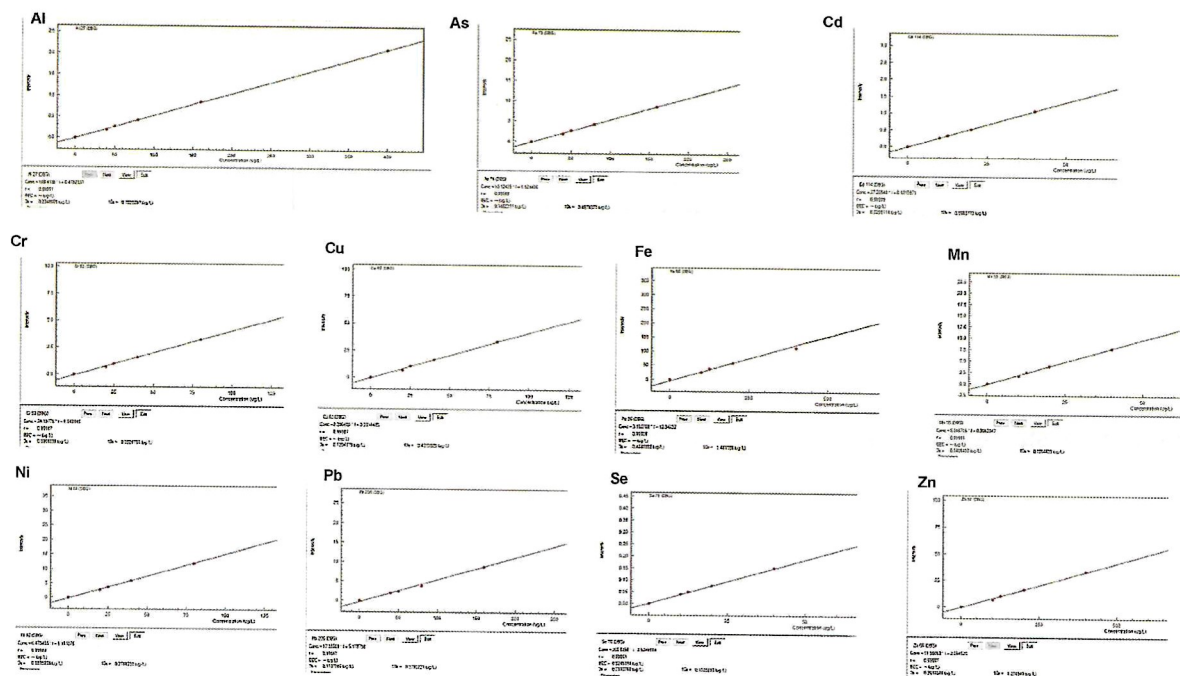
- homogenizacja próbek
- mineralizacja próbek rozpuszczalnikiem wraz z mineralizacją wspomaganą mikrofalami
- oznaczenie stężenia pierwiastków techniką spektrometrii mas z indukcyjnie sprzężoną plazmą

4. Przebieg analiz

Próbki homogenizowano. Odważono na wadze analitycznej naważkę bezpośrednio do naczyń do mineralizacji. Próbki rozpuszczono w stężonym kwasie azotowym (V). Wykorzystano technikę mineralizacji wspomaganą mikrofalami w celu szybkiej, efektywnej i ograniczenia ryzyka zanieczyszczenia środowiskowego próbek. Klarowny roztwór rozcieńczono adekwatnie do zakresu analitycznego metody. Oznaczono zawartości pierwiastków stosując technikę spektrometrii mas z indukcyjnie sprzężoną plazmą (ICPMS 2030, Shimadzu). Wykorzystano metodę krzywej kalibracyjnej do wzorcowania oraz metodę wzorca wewnętrznego.

5. Wyniki

Poniżej, na rysunku 1, przedstawiono przykładowe krzywe kalibracyjne dla poszczególnych pierwiastków.



Rysunek 1. Zbiór przykładowych krzywych kalibracyjnych oznaczanych pierwiastków.

Granice oznaczalności (wartości LOQ) były poniżej 1 µg/L dla wszystkich pierwiastków oprócz żelaza i cynku. Współczynniki korelacji zależności liniowej (R) były wyższe niż 0,999.

Wartości zawartości (Z) dla poszczególnych pierwiastków w próbkach przedstawiono w Tabelach (2-12) wyrażoną w jednostce mg/kg mokrej masy. Wartości zmienności szacuje się na ±15 % uwzględniając niepewność złożoną. W Tabeli 1 przedstawiono objaśnienia dotyczące analizowanych próbek.

Tabela 1. Kody próbek i objaśnienia.

Numer próbki	Nazwa (skład surowcowy)	Surowiec (mięso przed procesem)	Próbka przed procesem sterylizacji	Próbka po procesie sterylizacji	Próbki po terminie przydatności do spożycia
1	kurczak, ryż, jajko	x	A	B	C
2	wieprzowina, batat	x	A	B	C
3	kurczak, pomidory, soczewica, kasza jaglana			B	C
4	kurczak, brokuł, soczewica, ziemniaki			B	C
5	wątróbka z wieprzowiną	x	A	B	C
6	dorsz, brokuł, ziemniaki			B	C

5.1. Glin

Tabela 2. Zawartości glinu.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	0,78	1B 1	0,69	1 C 1	0,47	1S	0,71
1A 2	0,78	1B 2	0,64	1 C 2	0,50	2S	0,63
1A 3	0,71	1B 3	0,63	3 C 1	0,50	5S	0,47
1A 4	0,73	2 B 1	0,50	3 C 2	1,03		
2A 1	0,70	2 B 2	0,50	4 C 1	0,50		
2A 2	0,65	3B 1	0,50	4 C 2	0,50		
2A 3	0,79	3B 2	0,50	5 C 1	0,50		
2A 4	0,60	4B 1	0,50	5 C 2	1,37		
5A 1	0,82	4B 2	0,50	6 C 1	0,63		
5A 2	0,89	5B 1	0,68	6 C 2	0,99		
5A 3	1,12	5B 2	0,40				
5A 4	0,89	5B 3	0,62				

Zawartości glinu przedstawiono w Tabeli 2. Zawartości glinu przed procesem sterylizacji (A) dla próbek były poniżej 1 mg/kg z wyjątkiem jednej próbki zawierającej wątróbkę z wieprzowiną. Po procesie sterylizacji zawartości były niższe co może sugerować procesy wymywania mobilnej frakcji glinu w/po procesie sterylizacji. Próbki po terminie przydatności do spożycia miały zawartość Al w zakresie od 0,47 do 1,37 mg/kg. Najwyższą zawartością glinu była w surowcu kurczaka.

5.2. Zawartości arsenu

Tabela 3. Zawartości arsenu.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	0,33	1B 1	0,29	1 C 1	0,28	1S	0,82
1A 2	0,31	1B 2	0,26	1 C 2	0,02	2S	0,69
1A 3	0,29	1B 3	0,28	3 C 1	Nie wykryto	5S	0,60
1A 4	0,33	2 B 1	0,01	3 C 2	0,01		
2A 1	0,29	2 B 2	0,01	4 C 1	Nie wykryto		
2A 2	0,29	3B 1	Nie wykryto	4 C 2	Nie wykryto		
2A 3	0,30	3B 2	Nie wykryto	5 C 1	Nie wykryto		
2A 4	0,28	4B 1	Nie wykryto	5 C 2	0,01		
5A 1	0,29	4B 2	Nie wykryto	6 C 1	0,08		
5A 2	0,30	5B 1	0,01	6 C 2	0,13		
5A 3	0,27	5B 2	0,01				
5A 4	0,28	5B 3	0,01				

Zawartości arsenu przedstawiono w Tabeli 3. W próbach przed procesem sterylizacji odnotowano zawartości arsenu w zakresie od 0,27 do 0,33 mg/kg. Po procesie sterylizacji zawartości w próbkach były niższe, a w niektórych przypadkach próbek wynosiły poniżej granicy oznaczalności. Może to sugerować procesy wymywania tego pierwiastka w czasie lub po procesie sterylizacji. W próbkach surowca odnotowano porównywalnie najwyższe zawartości arsenu, gdzie w kurczaku były najwyższe. próbki przetworzone zawierały niższe zawartości arsenu niż surowiec.

5.3. Zawartości kadmu

Tabela 4. Zawartości kadmu.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	0,0052	1B 1	0,0044	1 C 1	0,0044	1S	Nie wykryto
1A 2	0,0053	1B 2	0,0050	1 C 2	0,0096	2S	Nie wykryto
1A 3	0,0050	1B 3	0,0042	3 C 1	0,0110	5S	0,008
1A 4	0,0049	2 B 1	0,0054	3 C 2	0,0209		
2A 1	0,0036	2 B 2	0,0070	4 C 1	0,0060		
2A 2	0,0028	3B 1	0,0269	4 C 2	0,0084		
2A 3	0,0032	3B 2	0,0293	5 C 1	0,0168		
2A 4	0,0030	4B 1	0,0118	5 C 2	0,0209		
5A 1	0,0117	4B 2	0,0154	6 C 1	0,0139		
5A 2	0,0121	5B 1	0,0168	6 C 2	0,0223		
5A 3	0,0119	5B 2	0,0144				
5A 4	0,0122	5B 3	0,0200				

Zawartości kadmu przedstawiono w Tabeli 4. Przed procesem sterylizacji, najwyższe zawartości kadmu odnotowano dla próbek wątróbki z wieprzowiną. Pozostałe próbki zawierały porównywalne zawartości i niższe niż te odnotowane dla próbki wątróbki z wieprzowiną. Po procesie sterylizacji zawartości kadmu utrzymały się, a wręcz zwiększyły się dla tego rodzaju próbki co może wynikać z zmniejszenia zawartości wody w próbkach poddanych sterylizacji. W produktach surowca: kurczaku, wieprzowinie zawartość kadmu była poniżej granicy oznaczalności z kolei dla wątróbki odnotowano śladową zawartość kadmu.

5.4. Zawartości chromu

Tabela 5. Zawartości chromu.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	0,18	1B 1	0,16	1 C 1	0,15	1S	0,65
1A 2	0,17	1B 2	0,14	1 C 2	0,01	2S	0,42
1A 3	0,16	1B 3	0,15	3 C 1	0,01	5S	0,31
1A 4	0,18	2 B 1	0,01	3 C 2	0,01		
2A 1	0,16	2 B 2	0,01	4 C 1	0,01		
2A 2	0,16	3B 1	0,02	4 C 2	0,33		
2A 3	0,18	3B 2	0,03	5 C 1	0,01		
2A 4	0,15	4B 1	0,02	5 C 2	0,01		
5A 1	0,16	4B 2	0,03	6 C 1	0,02		
5A 2	0,17	5B 1	0,01	6 C 2	0,02		
5A 3	0,15	5B 2	0,01				
5A 4	0,15	5B 3	0,01				

Zawartości chromu przedstawiono w Tabeli 5. Przed procesem sterylizacji zawartości chromu były porównywalne dla wszystkich grup próbek. Po procesie sterylizacji zmniejszyła się ona dla większości grup próbek z wyjątkiem próbki złożonej z kurczaka, ryżu i jajka. Może to sugerować, że kadm nie ulegał wymywaniu w czasie procesu sterylizacji. Próbki po terminie przydatności do spożycia zawierały śladowe zawartości kadmu przy czym odnotowano jeden odbiegający wynik dla próbki 4C (kurczak, brokuł, soczewica, ziemniaki) jednakże na podstawie przeprowadzonych analiz trudno określić przyczynę dla tego wyniku odbiegającego od ogólnego trendu. Zawartości chromu w surowcach były najwyższe w całej populacji próbek co potwierdza, że surowiec jest jednym z źródeł chromu w produkcji.

5.5. Zawartości miedzi

Tabela 6. Zawartości miedzi.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	0,73	1B 1	0,53	1 C 1	0,43	1S	0,71
1A 2	0,70	1B 2	0,49	1 C 2	0,55	2S	0,66
1A 3	0,65	1B 3	0,50	3 C 1	0,30	5S	1,70
1A 4	0,65	2 B 1	0,74	3 C 2	0,46		
2A 1	0,73	2 B 2	0,73	4 C 1	0,49		
2A 2	0,66	3B 1	0,40	4 C 2	0,37		
2A 3	0,71	3B 2	0,37	5 C 1	0,59		
2A 4	0,70	4B 1	0,62	5 C 2	1,17		
5A 1	0,83	4B 2	0,60	6 C 1	0,54		
5A 2	0,87	5B 1	1,06	6 C 2	0,88		
5A 3	0,78	5B 2	0,73				
5A 4	0,85	5B 3	1,29				

Zawartości miedzi przedstawiono w Tabeli 6. W produktach przed procesem sterylizacji odnotowano porównywalne zawartości miedzi we wszystkich próbkach przy czym najwyższe były dla wątróbki z wieprzowiną. Próbki po procesie sterylizacji zawierały wyższe zawartości kadmu dla próbki wątróbki z wieprzowiną z kolei dla pozostałych produktów zawartości miedzi były porównywalne. Próbki po terminie przydatności do spożycia również zawierały miedz

przy czym ponownie najwyższe zawartości odnotowano dla produktu wątróbki z wieprzowiną. W surowcach, najwyższą zawartość odnotowano dla wątróbki.

5.6. Zawartości żelaza

Tabela 7. Zawartości żelaza.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	6,75	1B 1	5,38	1 C 1	4,36	1S	4,63
1A 2	6,84	1B 2	5,13	1 C 2	5,54	2S	4,90
1A 3	6,41	1B 3	5,12	3 C 1	4,93	5S	73,04
1A 4	6,25	2 B 1	7,06	3 C 2	23,47		
2A 1	6,42	2 B 2	7,63	4 C 1	6,14		
2A 2	5,74	3B 1	5,35	4 C 2	5,90		
2A 3	6,29	3B 2	4,85	5 C 1	17,56		
2A 4	5,88	4B 1	7,69	5 C 2	23,47		
5A 1	27,47	4B 2	7,07	6 C 1	6,38		
5A 2	25,00	5B 1	35,33	6 C 2	10,44		
5A 3	28,53	5B 2	25,94				
5A 4	30,82	5B 3	37,98				

Zawartości żelaza przedstawiono w Tabeli 7. Najwyższe zawartości żelaza odnotowano dla produktu wątróbki z wieprzowiną w całej populacji próbek. Pozostałe produkty przed procesem sterylizacji zawierały niższe zawartości tego pierwiastka. Po procesie sterylizacji, dla produktu wątróbki z wieprzowiną odnotowano wzrost zawartości – co można tłumaczyć zmianą (spadkowi) zawartości wody w produkcie – z kolei dla pozostałych typach próbek zawartości utrzymywały się na podobnym poziomie co dla produktów przed procesem. Próbki po terminie przydatności do spożycia zawierały zawartości żelaza w zakresie od ponad 4 do ponad 23 mg/kg. Najwyższą zawartość żelaza odnotowano dla surowca wątróbki.

5.7. Zawartości manganu

Tabela 8. Zawartości manganu.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	1,08	1B 1	1,18	1 C 1	0,78	1S	0,24
1A 2	1,30	1B 2	1,10	1 C 2	0,98	2S	0,20
1A 3	1,15	1B 3	1,14	3 C 1	0,71	5S	1,22
1A 4	1,18	2 B 1	1,01	3 C 2	0,82		
2A 1	1,03	2 B 2	1,07	4 C 1	1,24		
2A 2	0,88	3B 1	1,35	4 C 2	1,05		
2A 3	0,70	3B 2	1,32	5 C 1	1,20		
2A 4	0,78	4B 1	2,10	5 C 2	1,93		
5A 1	1,38	4B 2	2,02	6 C 1	1,40		
5A 2	1,44	5B 1	1,48	6 C 2	2,11		
5A 3	1,42	5B 2	1,27				
5A 4	1,50	5B 3	1,66				

Zawartości manganu przedstawiono w Tabeli 8. Odnotowano porównywalne zawartości manganu we wszystkich produktach przed procesem, po procesie i próbek po terminie przydatności do spożycia i surowcu.

5.8. Zawartości niklu

Tabela 9. Zawartości niklu.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	0,32	1B 1	0,26	1 C 1	0,23	1S	0,49
1A 2	0,30	1B 2	0,24	1 C 2	0,17	2S	0,41
1A 3	0,28	1B 3	0,25	3 C 1	0,04	5S	0,35
1A 4	0,30	2 B 1	0,14	3 C 2	0,05		
2A 1	0,24	2 B 2	0,14	4 C 1	0,15		
2A 2	0,24	3B 1	0,10	4 C 2	0,12		
2A 3	0,25	3B 2	0,09	5 C 1	0,04		
2A 4	0,23	4B 1	0,19	5 C 2	0,08		
5A 1	0,19	4B 2	0,21	6 C 1	0,14		
5A 2	0,21	5B 1	0,07	6 C 2	0,24		
5A 3	0,19	5B 2	0,04				
5A 4	0,19	5B 3	0,07				

Zawartości niklu przedstawiono w Tabeli 9. Odnotowano porównywalne zawartości niklu we wszystkich produktach przed procesem, po procesie i próbek po terminie przydatności do spożycia i surowcu – przy czym dla surowca były one liczbowo najwyższe.

5.9. Zawartości ołowiu

Tabela 10. Zawartości ołowiu.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	0,009	1B 1	0,005	1 C 1	0,005	1S	0,013
1A 2	0,008	1B 2	0,005	1 C 2	0,024	2S	0,009
1A 3	0,007	1B 3	0,005	3 C 1	0,016	5S	0,007
1A 4	0,008	2 B 1	0,016	3 C 2	0,012		
2A 1	0,005	2 B 2	0,016	4 C 1	0,019		
2A 2	0,004	3B 1	0,020	4 C 2	0,018		
2A 3	0,005	3B 2	0,019	5 C 1	0,017		
2A 4	0,005	4B 1	0,015	5 C 2	0,005		
5A 1	0,005	4B 2	0,021	6 C 1	0,000		
5A 2	0,005	5B 1	0,003	6 C 2	0,004		
5A 3	0,004	5B 2	0,010				
5A 4	0,005	5B 3	0,006				

Zawartości ołowiu przedstawiono w Tabeli 10. Odnotowano porównywalne zawartości ołowiu we wszystkich produktach przed procesem, po procesie i próbek po terminie przydatności do spożycia i surowcu.

5.10. Zawartości selenu

Tabela 11. Zawartości selenu.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	0,005	1B 1	0,004	1 C 1	0,004	1S	Nie wykryto
1A 2	0,007	1B 2	0,004	1 C 2	0,009	2S	Nie wykryto
1A 3	0,006	1B 3	0,004	3 C 1	0,005	5S	0,033
1A 4	0,006	2 B 1	0,005	3 C 2	0,004		
2A 1	0,004	2 B 2	0,005	4 C 1	0,006		
2A 2	0,003	3B 1	0,006	4 C 2	0,007		
2A 3	0,003	3B 2	0,006	5 C 1	0,018		
2A 4	0,003	4B 1	0,008	5 C 2	0,012		
5A 1	0,019	4B 2	0,007	6 C 1	0,005		
5A 2	0,018	5B 1	0,015	6 C 2	0,009		
5A 3	0,020	5B 2	0,017				
5A 4	0,020	5B 3	0,016				

Zawartości selenu przedstawiono w Tabeli 11. Odnotowano porównywalne zawartości selenu we wszystkich produktach przed procesem, po procesie i próbek po terminie przydatności do spożycia i surowcu. Przy czym, produkty zawierające wątróbkę zawierały najwyższe zawartości selenu w produktach.

5.11. Zawartości cynku

Tabela 12. Zawartości cynku.

Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z	Próbka	Z
1A 1	4,73	1B 1	3,92	1 C 1	3,18	1S	4,88
1A 2	4,75	1B 2	3,66	1 C 2	3,91	2S	9,03
1A 3	4,44	1B 3	3,74	3 C 1	3,35	5S	16,40
1A 4	4,41	2 B 1	7,39	3 C 2	4,39		
2A 1	5,87	2 B 2	7,38	4 C 1	3,81		
2A 2	5,53	3B 1	3,66	4 C 2	3,24		
2A 3	5,92	3B 2	3,44	5 C 1	11,46		
2A 4	5,79	4B 1	4,23	5 C 2	15,98		
5A 1	10,07	4B 2	4,05	6 C 1	3,83		
5A 2	10,16	5B 1	13,78	6 C 2	5,76		
5A 3	10,05	5B 2	10,02				
5A 4	10,40	5B 3	16,90				

Zawartości cynku przedstawiono w Tabeli 12. Odnotowano najwyższe zawartości cynku dla produktu wątróbki z wieprzowiną, która również była najwyższa w populacji próbek po procesie sterylizacji i produktu po terminie przydatności do spożycia. Również najwyższą zawartość odnotowano w surowcu wątróbki.

6. Podsumowanie i rekomendacje do przyszłych badań

Wykonano analizę wielopierwiastkową w produktach żywności. Najwyższe zawartości dla wielu pierwiastków odnotowano dla produktu zawierającego wątróbkę i kurczak a wątróbka była najbogatszym źródłem wielu pierwiastków. Odnotowano zmiany w zawartości niektórych pierwiastków po procesie sterylizacji co może sugerować procesy wymywania tych

pierwiastków na etapie sterylizacji z masy produktu. Próbkę zawierały stosunkowo stabilny skład pierwiastkowy wraz z przechowywaniem produktu po rekomendowanym czasie do spożycia dla wielu typów próbek.

Odnotowane różnice w zawartościach niektórych pierwiastków po procesie sterylizacji mogą wynikać z procesów wymywania pierwiastków z produktu co z kolei może sugerować odmienne formy specyjalne pierwiastków w różnych grupach produktów. Dlatego, rekomenduje się rozszerzenie badań o wyznaczenie form specyjalnych pierwiastków: Al., As i innych w celu wyjaśnienia tych zmian. Dodatkowo, wyznaczenie form specyjalnych pierwiastków takich jak żelazo, cynk, selen przybliżyłoby wyznaczenie biodostępności tych pierwiastków z produktów i dalej idące właściwości prozdrowotne produktów żywności.

Bibliografia

Wojew

- Aggett, P. J. (2012). Iron. In *Present Knowledge in Nutrition* (pp. 506–520). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119946045.ch33>
- Anderson, R. A., Bryden, N. A., & Polansky, M. M. (1992). Dietary chromium intake. *Biological Trace Element Research*, 32(1–3), 117–121. <https://doi.org/10.1007/BF02784595>
- Aschner, J. L., & Aschner, M. (2005). Nutritional aspects of manganese homeostasis. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(4–5), 353–362.
<https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.003>
- Commission Regulation (EU) 2023/465 (2023).
- Commission Regulation (EU) 2023/915 (2023).
- Holt, R. R., Uriu-Adams, J. Y., & Keen, C. L. (2012). Zinc. In *Present Knowledge in Nutrition* (pp. 521–539). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119946045.ch34>
- Lei, X. G., Combs, G. F., Sunde, R. A., Caton, J. S., Arthington, J. D., & Vatamaniuk, M. Z. (2022). Dietary Selenium Across Species. *Annual Review of Nutrition*, 42(1), 337–375.
<https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-062320-121834>
- Prohaska, J. R. (2012). Copper. In *Present Knowledge in Nutrition* (pp. 540–553). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119946045.ch35>
- Safety of aluminium from dietary intake - Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC). (2008). *EFSA Journal*, 6(7). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.754>
- Scientific Opinion on Lead in Food. (2010). *EFSA Journal*, 8(4).
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1570>
- THE EUROPEAN COMMISSION. (2024). *COMMISSION REGULATION (EU) 2024/1987*.

PREZES ZARZĄDU

Kujawsko-Pomorskie Centrum
Naukowo-Technologiczne
im. prof. Jana Czochralskiego Sp. z o.o.
ul. Krasińskiego 4, 87-100 Toruń
NIP 8792735335
REGON 520386675
KRS 0000930917

prof. dr hab. Bogusław Buszewski