



Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie

Instytut Nauk o Żywieniu Człowieka

Błażej Zbigniew Błaszak

**Wpływ skrobi ziemniaczanej i hydrokoloidów
roślinnych na jakość przetworów mięsnych
oraz redukcję sodu w prewencji
chorób dietozależnych**

The effect of potato starch and plant-based hydrocolloids on the
quality of meat products and sodium reduction in the prevention
of diet-related diseases

Rozprawa doktorska

Doctoral thesis

Rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem

dr hab. inż. Anny Długosz, prof. PBŚ

Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Promotor pomocniczy:

dr inż. Grażyna Gozdecka, prof. PBŚ

Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Warszawa 2025

Oświadczenie promotora rozprawy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza rozprawa została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora.

Data 14.10.2025 r.

Czytelny podpis promotora Anna Biegańska

Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

Świadom odpowiedzialności prawnej, w tym odpowiedzialności karnej za złożenie fałszywego oświadczenia, oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami prawa, w szczególności z ustawą z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (tj. z dnia 28 października 2022 r., Dz.U. z 2022 r. poz. 2509 ze zm.)

Oświadczam, że przedstawiona rozprawa nie była wcześniej podstawą żadnej procedury związanej z uzyskaniem stopnia naukowego doktora.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja rozprawy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Przyjmuję do wiadomości, że rozprawa doktorska poddana zostanie procedurze antyplagiatowej.

Data 14.10.2025 r.

Czytelny podpis autora rozprawy Maxim Mored

Spis treści

Wstęp	9
1. Przegląd piśmiennictwa	10
1.1. Charakterystyka, budowa i właściwości skrobi natywnych	10
1.1.1. Charakterystyka ogólna	10
1.1.2. Rodzaje i budowa skrobi	10
1.1.3. Właściwości fizyczne i chemiczne skrobi	17
1.2. Wybrane hydrokoloidy roślinne	22
1.2.1. Guma guar - charakterystyka, budowa i właściwości	22
1.2.2. Guma konjac - charakterystyka, budowa i właściwości	25
1.2.3. Guma tara - charakterystyka, budowa i właściwości	27
1.3. Metody poprawy właściwości skrobi	30
1.3.1. Modyfikacje skrobi	30
1.3.2. Mieszaniny skrobi z hydrokoloidami roślinnymi	32
1.4. Zastosowanie skrobi w przemyśle mięsnym	37
1.5. Aspekty zdrowotne ograniczania soli w przetworach mięsnych	44
1.5.1. Wpływ spożycia soli na zdrowie publiczne	44
1.5.2. Choroby dietozależne związane z nadmiernym spożyciem soli	48
2. Cel, zakres pracy i hipotezy badawcze	54
2.1. Cel pracy	55
2.2. Zakres pracy	55
2.3. Hipotezy badawcze	56
3. Materiały i metody	57
3.1. Materiał badawczy i układy doświadczalne	57
3.2. Metody analityczne	63
3.2.1. Oznaczenia podstawowego składu chemicznego	63
3.2.2. Badanie właściwości fizykochemicznych kleików	64
3.2.3. Badanie właściwości modelowych przetworów mięsnych	68
3.2.4. Analiza statystyczna wyników	73
4. Wyniki i dyskusja	74
4.1. Etap I – Wpływ dodatków teksturotwórczych na właściwości kleików skrobiowych	74
4.1.1. Charakterystyka surowców (skrobia ziemniaczana natywna, guma guar, guma tara, guma konjac)	74
4.1.2. Właściwości kleików skrobiowych i ich mieszanin z hydrokoloidami	76
4.1.2.1. Wartości pH kleików	76
4.1.2.2. Charakterystyka termodynamiczna kleikowania	77
4.1.2.3. Synereza	78
4.1.2.4. Właściwości reologiczne	84
4.2. Etap II – Wpływ mieszanin polisacharydów na właściwości modelowych przetworów mięsnych	101
4.2.1. Właściwości fizykochemiczne	101
4.2.2. Barwa	105
4.2.3. Tekstura	112
4.2.4. Ocena organoleptyczna	115
4.3. Etap III – Wpływ mieszaniny skrobi ziemniaczanej natywnej i gumy tara na przetwory mięsne o obniżonej zawartości sodu	121
4.3.1. Właściwości fizykochemiczne	121
4.3.2. Barwa	128
4.3.3. Tekstura	135

4.3.4. Ocena organoleptyczna.....	139
5. Podsumowanie wyników badań	144
6. Wnioski końcowe.....	146
7. Bibliografia	147
8. Aneks	176
8.1. Spis rysunków	176
8.2. Spis tabel	178
8.3. Załącznik 1 – Wyniki pomiaru barwy modelowych przetworów mięsnych po naświetlaniu.....	181
8.4. Załącznik 2 – Wyniki pomiaru barwy modelowych przetworów mięsnych o obniżonej zawartości chlorku sodu po naświetlaniu	185
8.5. Załącznik 3 – Ankieta oceny organoleptycznej dla II etapu pracy.....	189
8.6. Załącznik 4 – Ankieta oceny organoleptycznej dla III etapu pracy	191

Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu mieszanin natywnej skrobi ziemniaczanej z wybranymi hydrokoloidami roślinnymi (gumą guar, gumą tara i gumą konjac) na jakość modelowych przetworów mięsnych oraz możliwość redukcji zawartości chlorku sodu, co może stanowić element działań zmierzających do ograniczenia ryzyka chorób dietozależnych.

Badania zrealizowano w trzech etapach. W pierwszym etapie oceniono wpływ wybranych hydrokoloidów na właściwości reologiczne, zdolność do kleikowania oraz wiązania wody przez kleiki skrobi ziemniaczanej natywnej. W etapie drugim przeprowadzono produkcję i analizę właściwości technologicznych oraz sensorycznych modelowych przetworów mięsnych z dodatkiem mieszanin skrobi i hydrokoloidów ocenianych w pierwszej części badań. Na podstawie uzyskanych wyników do dalszych analiz wybrano mieszaninę skrobi ziemniaczanej z gumą tara. Trzeci etap obejmował produkcję i ocenę modelowych przetworów mięsnych o obniżonej zawartości soli z dodatkiem wskazanej mieszaniny, ze szczególnym uwzględnieniem właściwości fizykochemicznych, stabilności przechowalniczej oraz akceptacji sensorycznej.

Stwierdzono, że dodatek hydrokoloidów poprawiał właściwości funkcjonalne kleików skrobiowych, w szczególności ograniczał zjawisko synerczy. Włączenie mieszanin skrobi z polisacharydami do receptury przetworów mięsnych wpłynęło korzystnie na ich stabilność przechowalniczą, nie obniżając przy tym jakości sensorycznej. Najlepsze właściwości funkcjonalne wykazała mieszanina skrobi ziemniaczanej natywnej z gumą tara. Jej zastosowanie umożliwiło redukcję zawartości chlorku sodu do poziomu 1,71% oraz 1,14%, bez istotnego pogorszenia parametrów jakościowych przetworów mięsnych, w tym ich stabilności podczas przechowywania.

Słowa kluczowe: skrobia ziemniaczana natywna, hydrokoloidy roślinne, redukcja sodu, przetwory mięsne, choroby dietozależne

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of mixtures of native potato starch with selected plant hydrocolloids (guar gum, tara gum, and konjac gum) on the quality of model meat products and the possibility of reducing sodium chloride content, which may contribute to efforts aimed at lowering the risk of diet-related diseases.

The research was carried out in three stages. In the first stage, the effect of selected hydrocolloids on the rheological properties, gelatinisation ability, and water-binding capacity of native potato starch pastes was assessed. The second stage involved the production and analysis of the technological and sensory properties of model meat products with the addition of starch-hydrocolloid mixtures tested in the first stage. Based on the obtained results, the mixture of potato starch and tara gum was selected for further research. The third stage included the production and evaluation of model meat products with reduced salt content and the selected mixture, with particular emphasis on physicochemical properties, storage stability, and sensory acceptance.

It was found that the addition of hydrocolloids improved the functional properties of starch pastes, particularly by limiting syneresis. Incorporating starch-polysaccharide mixtures into the formulation of meat products had a beneficial effect on their storage stability without reducing their sensory quality. The mixture of native potato starch with tara gum exhibited the most favorable functional properties. Its application allowed for a reduction of sodium chloride content to 1,71% and 1,14% without significant deterioration of the quality parameters of the meat products, including their stability during storage.

Keywords: native potato starch, plant hydrocolloids, sodium reduction, meat products, diet-related diseases

Wstęp

Zgodnie z danymi Światowej Organizacji Zdrowia spożycie soli w Polsce przekracza 11 g/dobę, co niemal dwukrotnie przewyższa krajowe zalecenia żywieniowe. Nadmierna podaż sodu z dietą jest czynnikiem ryzyka wielu chorób dietozależnych, dlatego instytucje zajmujące się zdrowiem publicznym wskazują na konieczność jego ograniczenia w populacji ogólnej. Jednym z podejść jest reformulacja produktów spożywczych, szczególnie tych, do których duże ilości soli są dodawane na etapie przetwarzania. Do takich produktów należą mięso i jego przetwory, które w Polsce stanowią jedno z głównych źródeł sodu w diecie. Ograniczenie zawartości chlorku sodu w recepturach mięsnych wiąże się jednak z wyzwaniami technologicznymi. Ograniczenie ilości soli prowadzi do pogorszenia jakości sensorycznej, obniżenia wydajności produkcji oraz zmian cech teksturalnych, co jest związane m.in. z większymi ubytkami wody.

W związku z tym poszukuje się dodatków funkcjonalnych, które mogłyby kompensować negatywne skutki redukcji sodu. Skrobie natywne, mimo naturalnego pochodzenia, charakteryzują się ograniczoną funkcjonalnością technologiczną (spowodowaną m.in. retrogradacją i synerezą). Jednym ze sposobów jej poprawy, obok modyfikacji fizycznych i chemicznych, jest stosowanie synergicznych połączeń skrobi z hydrokoloidami roślinnymi. Badania wskazują, że takie mieszaniny mogą poprawić właściwości kleików, jednak ich zastosowanie w przetworach mięsnych o obniżonej zawartości sodu jest nadal niewystarczająco poznane. Celem niniejszej pracy była ocena wpływu mieszanin natywnej skrobi ziemniaczanej z wybranymi hydrokoloidami roślinnymi (gumą guar, gumą tara i gumą konjac) na jakość oraz możliwość redukcji zawartości chlorku sodu w modelowych przetworach mięsnych.

1. Przegląd piśmiennictwa

1.1. Charakterystyka, budowa i właściwości skrobi natywnych

1.1.1. Charakterystyka ogólna

Skrobia jest jednym z najważniejszych polisacharydów pochodzenia roślinnego. W warunkach naturalnych pełni rolę materiału zapasowego, stanowiąc główne źródło węgla oraz energii, wykorzystywane w różnych fazach rozwoju rośliny (Geigenberger, 2011; Qu i in., 2018). W zależności od jej funkcji w organizmie rośliny, skrobię można podzielić na dwa typy: skrobię przejściową i magazynowaną (Apriyanto, Compart, Fettke, 2022).

Skrobia przejściowa jest syntetyzowana oraz gromadzona głównie w chloroplastach podczas fotoperiodu dziennego, a w nocy podlega transportowi i degradacji, w celu dostarczenia energii oraz składników niezbędnych do podtrzymania funkcji życiowych i wzrostu rośliny. Skrobia magazynowana występuje natomiast w organach roślin, które nie prowadzą procesu fotosyntezy. Jest syntetyzowana i przechowywana w amyloplastach, a jej wykorzystanie następuje w okresie zwiększonego zapotrzebowania energetycznego, np. podczas kiełkowania nasion, bulw lub dojrzewania owoców (MacNeill i in., 2017; Qu i in., 2018).

Skrobia obecna jest w wielu organach roślin, takich jak liście, kwiaty, owoce, nasiona, łodygi, bulwy czy korzenie. Jednak największe jej ilości występują w częściach roślin, które wykazują największe zapotrzebowanie energetyczne (Geigenberger, 2011). Zawartość i rodzaj skrobi różnią się między gatunkami roślin. Kształt, wielkość, struktura oraz skład chemiczny skrobi są cechami specyficznymi dla danego gatunku. Nawet w obrębie tego samego typu botanicznego mogą występować istotne różnice w tych parametrach, jak również w zawartości samej skrobi (Wang, Copeland, 2013; Zakaria, Muhammad, Abdullah, 2017). Na różnice te wpływają przede wszystkim czynniki genetyczne oraz warunki uprawy, takie jak dostępność wody, światła, składników mineralnych, a także wiek rośliny i czas trwania niekorzystnych warunków środowiskowych. Największe ilości skrobi występują w zbożach (40-90%), roślinach bulwiastych (65-85%), roślinach korzeniowych (30-70%), roślinach strączkowych (25-50%) oraz w niektórych niedojrzałych owocach, takich jak banany czy mango, gdzie skrobia może stanowić aż 70% suchej masy (Alcázar-Alay, Meireles, 2015).

1.1.2. Rodzaje i budowa skrobi

Skrobię, ze względu na właściwości, można podzielić na trzy główne typy: skrobię natywną, skrobię oporną oraz skrobię modyfikowaną. Każda z tych kategorii charakteryzuje się specyficznymi cechami, które determinują ich zastosowanie w przemyśle.

Skrobia natywna to naturalna postać skrobi pozyskiwana bezpośrednio z roślin. Jest podatna na działanie enzymów amylolitycznych oraz na różnego rodzaju modyfikacje. Skrobie modyfikowane stanowią szeroką grupę polisacharydów, powstają w wyniku zabiegów fizycznych, chemicznych lub enzymatycznych, którym poddawana jest skrobia natywna.

Skrobia oporna wyróżnia się odpornością na działanie enzymów amylolitycznych, co oznacza, że nie jest trawiona przez organizm człowieka. Skrobię oporną klasyfikuje się na pięć typów (Ashwar, Gani, Shah, Wani, Masoodi, 2016; Raigond, Ezekiel, Raigond, 2015; Walsh, Lucey, Walter, Zannini, Arendt, 2022; Dupuis, Liu, 2019).

RS1 (skrobia oporna typu pierwszego) – znajduje się w nienaruszonych komórkach rośliny, co sprawia, że enzymy amylolityczne nie mają do niej dostępu.

RS2 (skrobia oporna typu drugiego) – obejmuje nieskleikowane lub tylko częściowo skleikowane ziarna skrobi, występuje w niektórych roślinach.

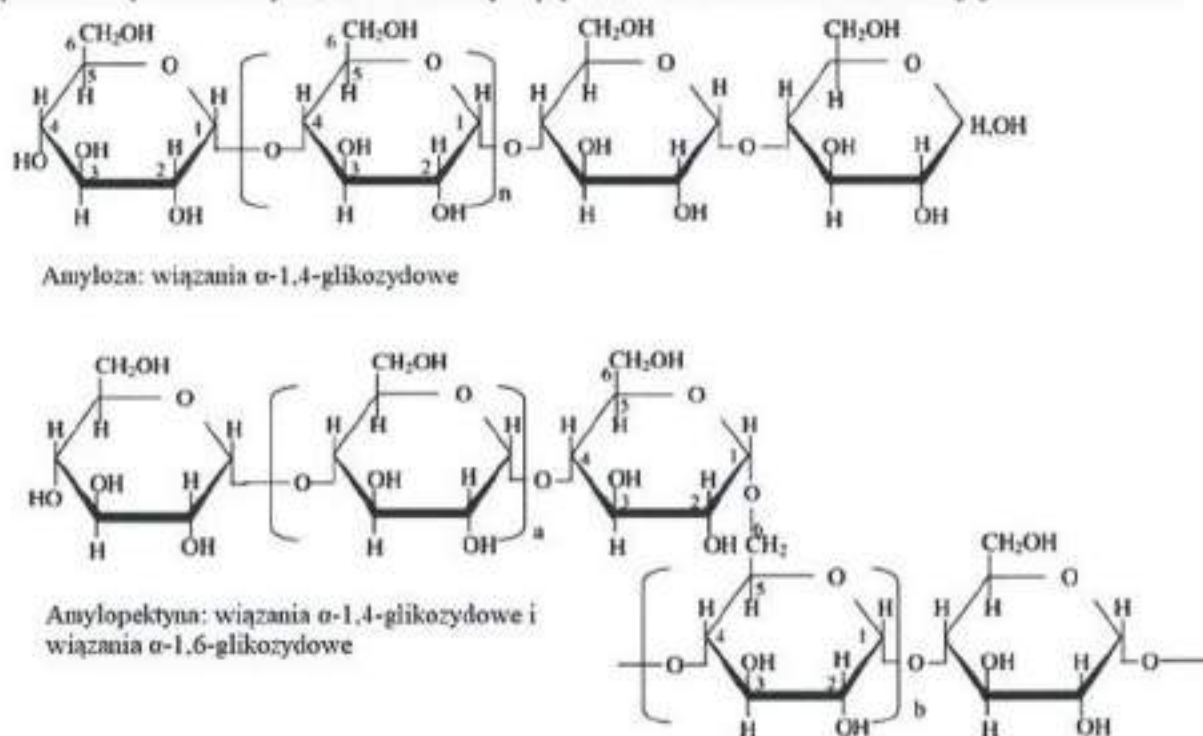
RS3 (skrobia oporna typu trzeciego) – powstaje w wyniku procesu retrogradacji, podczas którego skrzystalizowane produkty wykazują oporność na trawienie.

RS4 (skrobia oporna typu czwartego) – nie występuje w naturze, lecz jest otrzymywana poprzez chemiczną i/lub fizyczną modyfikację skrobi natywnej, co nadaje jej odporność na rozkład enzymatyczny.

RS5 (skrobia oporna typu piątego) – stanowi kompleksy skrobiowo-lipidowe, które, dzięki obecności lipidów, zwiększają oporność skrobi na działanie enzymów (Ashwar i in., 2016; Raigond i in., 2015; Dupuis, Liu, 2019). Do RS5 zaliczane są także kompleksy inkluzyjne, w których łańcuchy amylozy tworzą struktury helikalne zamykające cząsteczki lipidów, co dodatkowo zwiększa odporność skrobi na trawienie (Giuberti, Rocchetti, Lucini, 2020).

Podstawowymi jednostkami budującymi skrobię są mery α -D-glukozopiranozy (α -D-glukozy) (Le Corre, Bras, Dufresne, 2010). Biosynteza skrobi to proces niezwykle złożony, w którym uczestniczy wiele enzymów i białek (Apriyanto i in., 2022). W trakcie wydłużania łańcucha polimeru, pierścienie glukozy łączą się za pomocą atomu tlenu przy węglu C1 jednej reszty glukozowej i przy węglu C4 drugiej reszty glukozowej, co prowadzi do tworzenia polimeru liniowego. Jednak w strukturze wielocukrów skrobi występują także rozgałęzienia, które powstają w wyniku tworzenia wiązań glikozydowych (mostków tlenowych) między węglem C1 jednej reszty glukozowej a węglem C6 drugiej reszty (Le Corre i in., 2010). Na podstawie lokalizacji tych wiązań, skrobia dzieli się na dwie frakcje będące jej głównymi elementami: amylozę i amylopektynę (Rys. 1) (Wang, Copeland, 2013; Zakaria i in., 2017). Amyloza jest liniowym polimerem, w którym dominują wiązania α -1,4-glikozydowe. Jest zbudowana z 500 do 2000 jednostek glukozy, a jej masa cząsteczkowa wynosi od 10^5 do 10^6

Da (Kim, Kim, Baik, 2012). Chociaż przyjmuje się, że amyloza posiada strukturę liniową, to może ona zawierać nieliczne rozgałęzienia występujące co 170-500 jednostek glukozy, spowodowane obecnością wiązań α -1,6-glikozydowych. Z kolei amylopektyna to mocno rozgałęziony polimer o krótszych łańcuchach, który może zawierać ponad 1 000 000 jednostek glukozy połączonych zarówno wiązaniami α -1,4-glikozydowymi, jak i α -1,6-glikozydowymi (Le Corre i in., 2010). W amylopektynie, wiązania odpowiedzialne za rozgałęzienia występują znacznie częściej niż w amylozie i stanowią około 5% cząsteczki polimeru (Bertoft, 2017; Walsh i in., 2022). Ma to istotny wpływ na masę cząsteczkową amylopektyny, która wynosi od 10^7 do 10^9 Da (Apriyanto i in., 2022; Kim i in., 2012). W zależności od rodzaju skrobi proporcje składających się na nią amylozy i amylopektyny mogą zasadniczo się różnić (Zakaria i in., 2017). W skrobiach natywnych występuje około 70 - 85% amylopektyny i 15 - 30% amylozy. Wartości te mogą się zmieniać w zależności od źródła botanicznego. Znane są także rośliny, których skrobia składa się niemal wyłącznie z amylopektyny (tzw. skrobia woskowa) oraz rośliny, których skrobia zawiera ponad 30% amylozy (skrobia wysokoamylozowa) (Tab. 1). Zawartość amylozy i amylopektyny w skrobi może być również modyfikowana podczas procesów przetwórczych, co ma istotny wpływ na właściwości skrobi oraz jej zastosowanie.



Rysunek 1. Struktura chemiczna amylozy i amylopektyny (Kim i in., 2012)

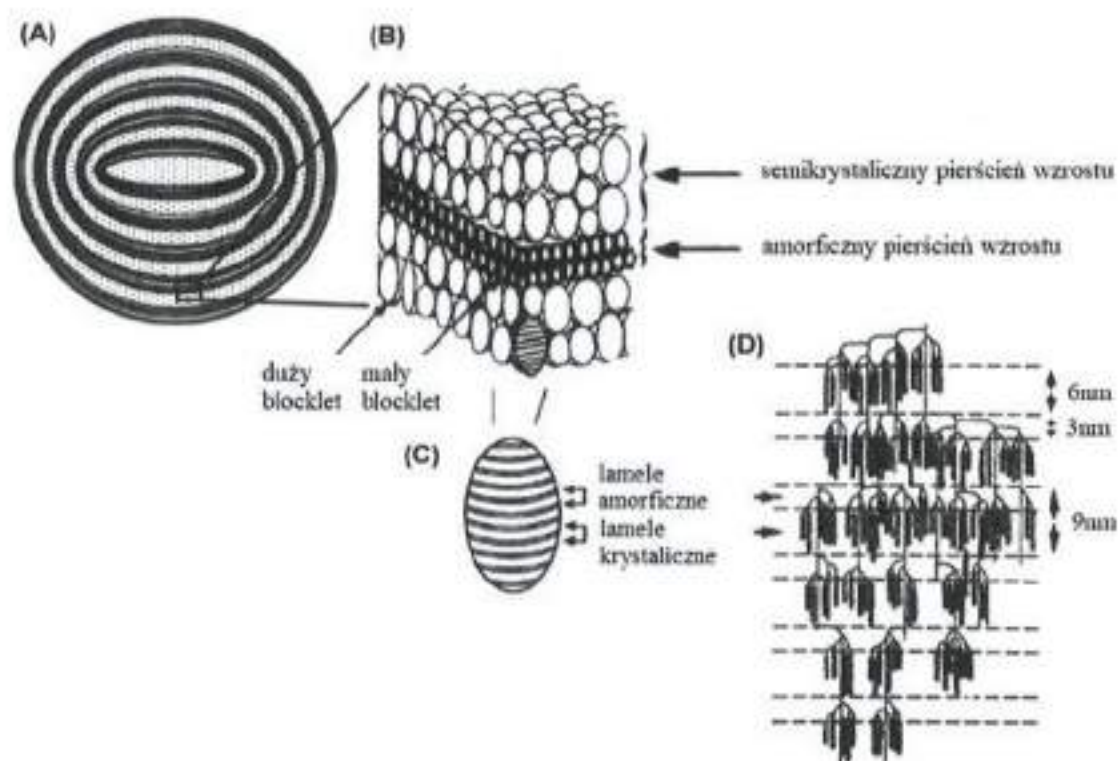
Tabela 1. Zawartość amylozy i amylopektyny w skrobiach różnego pochodzenia (Zakaria i in., 2017)

Źródło skrobi	Amyloza [%]	Amylopektyna [%]
Banany	17-24	76-83
Kukurydza	17-25	75-83
Kukurydza wysoko-amylozowa	55-70	30-45
Ziemniaki	17-24	76-83
Ryż	15-35	65-85
Sorgo	25	75
Maniok	19-22	28-81
Pszenica	20-25	75-80
Kukurydza woskowa	<1	>99
Pochrzym	9-15	85-91

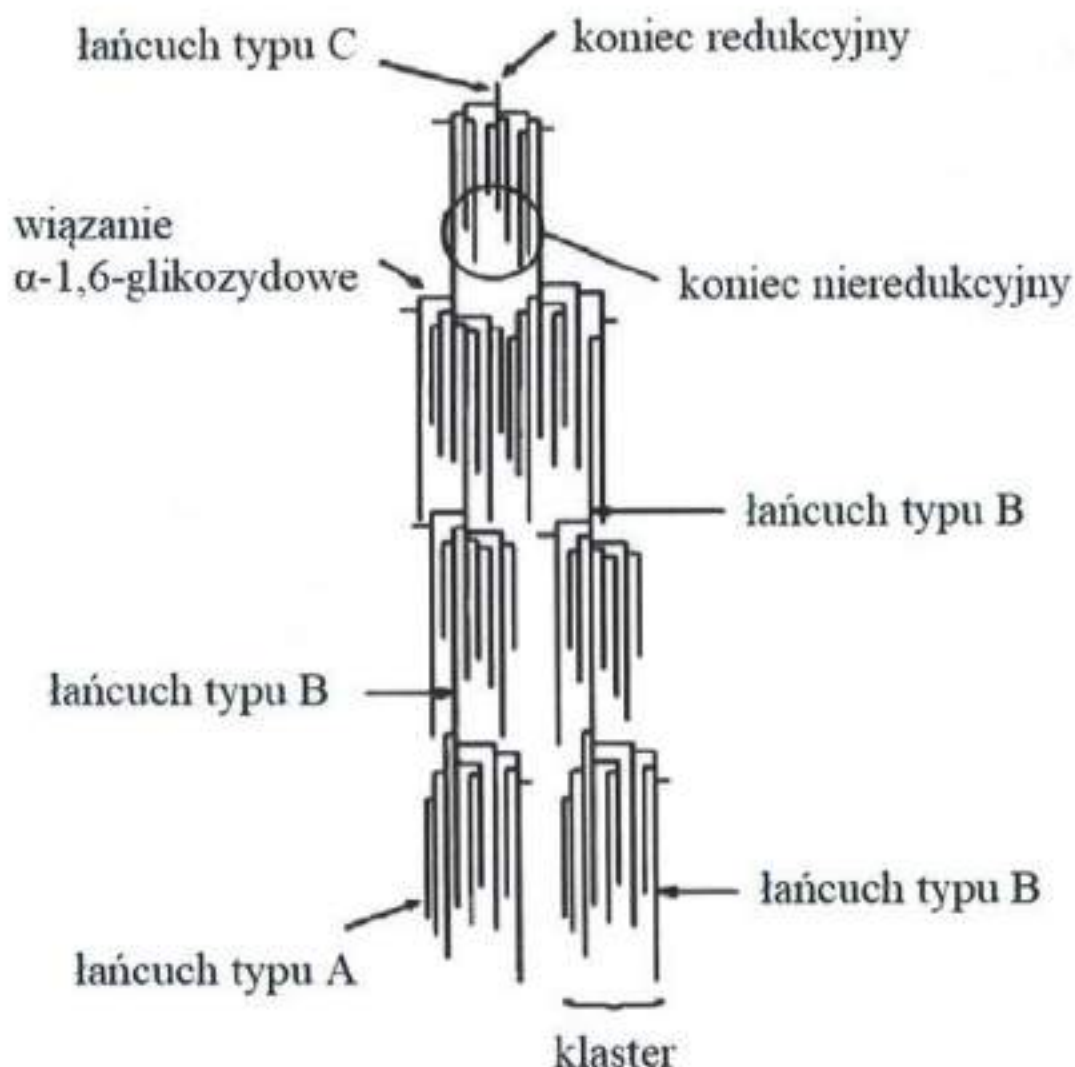
Oprócz głównych składników, jakimi są polisacharydy, w strukturze skrobi występują także związki niepolisacharydowe (Le Corre i in., 2010; Bertoft, 2017). Należą do nich niewielkie ilości tłuszczów (do ok. 1,2%) białek (do ok. 0,6%), składników mineralnych (mniej niż 0,4%) oraz woda (Kim i in., 2012). Zawartość tych związków zależy od źródła botanicznego skrobi oraz warunków uprawy. Lipidy obecne w skrobi obejmują izofosfolipidy oraz wolne kwasy tłuszczowe. W strukturze skrobi tłuszcze są powiązane z amylozą, a ich cząsteczki lokalizują się wewnątrz helis utworzonych przez łańcuchy amylozy (Kim i in., 2012). Nie wszystkie cząsteczki amylozy są związane z lipidami – udział lipidów w skrobi może wynosić od 13 do 43%, w zależności od źródła botanicznego. Białka występują zarówno na powierzchni, jak i wewnątrz ziaren skrobiowych (Kim i in., 2012). Zarówno ich ilość i lokalizacja różnią się w zależności od pochodzenia botanicznego skrobi, głównie stanowią enzymy biosyntezy. Białka na powierzchni występują w postaci agregatów, z kolei białka wewnątrz ziaren skrobiowych jako osobne monomery (Naguleswaran, Li, Vasanthan, Bressler, 2011). Jednym z najważniejszych składników mineralnych obecnych w skrobi są związki fosforu, które występują w trzech formach: fosfor nieorganiczny, estry monofosforanowe oraz fosfolipidy (Kim i in., 2012). Fosforany są przede wszystkim związane z cząsteczkami amylopektyny (Bertoft, 2017). Wszystkie te związki znacząco wpływają na właściwości przetwórcze skrobi.

Amyloza i amylopektyna to związki zorganizowane w strukturze skrobi, które nie występują pojedynczo, lecz w formie swoistych agregatów nazywanych ziarnami skrobiowymi (Raigond i in., 2015). Ziarna skrobiowe różnią się wielkością (od 0,1 do 100 μm średnicy) oraz kształtem (sferyczny, elipsoidalny, poligonalny, soczewkowy, nieregularny itp.), w zależności od pochodzenia (Vamadevan, Bertoft, 2015). Cechuje je budowa semikrystaliczna, ze stopniem krystaliczności wynoszącym od 14% do 45%, co jest głównie związane z zawartością

amylopektyny (Dome, Podgorbunskikh, Bychkov, Lomovsky, 2020; Kim i in., 2012). Semikrystaliczna budowa oznacza, że ziarna skrobiowe zawierają naprzemiennie ułożone obszary krystaliczne i amorficzne. (Rys. 2) Te obszary tworzą semikrystaliczne i amorficzne pierścienie wzrostu, których początek stanowi hilum, czyli punkt wzrostu ziarna skrobiowego, przyjmujący w świetle spolaryzowanym postać krzyża maltańskiego (Le Corre i in., 2010). Każdy z tych pierścieni składa się z drobnych struktur nazywanych blockletami (Wang, Li, Copeland, Niu, Wang, 2015). Struktura blockletów obejmuje naprzemiennie ułożone lamele krystaliczne i lamele amorficzne, które składają się z powiązanych łańcuchów amylozy i amylopektyny, z dodatkiem związków mineralnych (Le Corre i in., 2010). Lamele amorficzne, o grubości około 3-4 nm, zbudowane są głównie z punktów rozgałęzień łańcuchów amylopektyny oraz niewielkich ilości amylozy. Lamele semikrystaliczne, o grubości około 5-6 nm, zawierają liczne rozgałęzione łańcuchy amylopektyny oraz niewielką ilość amylozy (Wang, Copeland, 2013; Dome i in., 2020). Oba typy lameli łącznie tworzą klaster o grubości około 9 nm (Vamadevan, Bertoft, 2015, Kim i in., 2012). Silnie rozgałęziona struktura amylopektyny prowadzi do tworzenia łańcuchów bocznych, które dzieli się na trzy główne typy: typ A, typ B i typ C (Rys. 3) (Le Corre i in., 2010). Łańcuchy typu A to końcowe rozgałęzienia, w których jeden koniec jest połączony z resztą polimeru poprzez wiązanie α -1,6-glikozydowe, a drugi stanowi zakończenie nieredukujące. Łańcuchy typu B to łańcuchy pośrednie, do których końców mogą być przyłączone inne łańcuchy (typu A i/lub B) (Vamadevan, Bertoft, 2015). Typ B dzieli się na podtypy: B1, B2, B3 i B4, które różnią się liczbą jednostek glukozy. Typ B1 ma stopień polimeryzacji wynoszący 15-25 jednostek glukozy, B2 - 40-50 jednostek, a typy B3 i B4 charakteryzują się najwyższym stopniem polimeryzacji, przekraczającym 50 jednostek glukozy. Każda makromolekuła amylopektyny zawiera także łańcuch typu C, o stopniu polimeryzacji wynoszącym 38-43 jednostek glukozy. Łańcuch ten stanowi początek całej struktury rozgałęzień i zawiera jedyny redukujący koniec makromolekuły (Vamadevan, Bertoft, 2015; Kim i in., 2012; Bertoft, 2017).



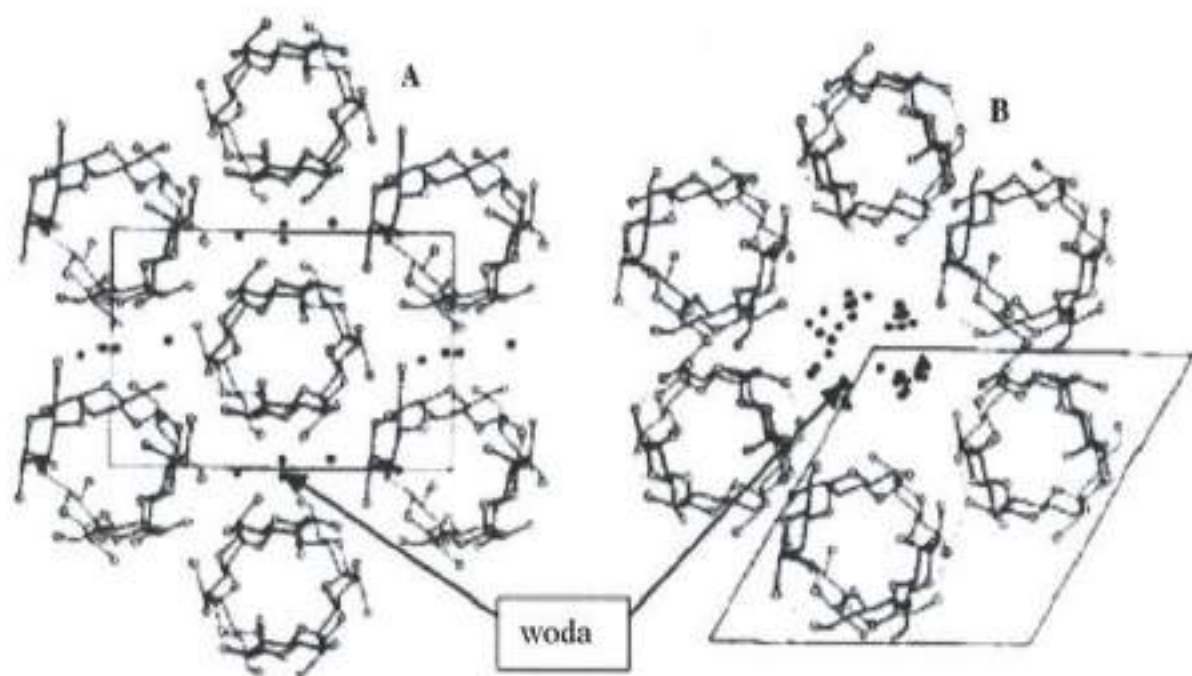
Rysunek 2. Schemat budowy ziarna skrobiowego: (A) semikrystaliczne i amorficzne pierścienie wzrostu wewnątrz ziarna skrobiowego, (B) blok małych i dużych blocklets, (C) lamelle krystaliczne i amorficzne wewnątrz blocklet'u, (D) układ podwójnych helis (zawierający boczne łańcuchy amylopektyny) wewnątrz lameli krystalicznych i punkty rozgałęzień amylopektyny wewnątrz lameli amorficznych (Kim i in., 2012)



Rysunek 3. Rozkład łańcuchów amylopektyny (Kim i in., 2012)

Ze względu na ułożenie amylopektyny w klastrach, wyróżnia się trzy typy krystaliczne skrobi, podobnie jak łańcuchy amylopektyny również oznaczone jako: typ A, typ B i typ C (Rys. 4) (Apriyanto i in., 2022; Raigond i in., 2015; Wang, Copeland, 2013; Le Corre i in., 2010). Typ A charakteryzuje się gęstym upakowaniem podwójnych helis amylopektyny, pomiędzy którymi znajduje się niewielka ilość cząsteczek wody. Występowanie tego typu krystalicznego wiąże się głównie ze skrobiami magazynowanymi. Amylopektyna w tym układzie wykazuje niski stopień polimeryzacji (6-15 jednostek), co skutkuje krótkimi rozgałęzieniami łańcucha. Typ A dominuje w skrobiami zbożowych, takich jak skrobia kukurydziana, pszenna czy ryżowa (Kim i in., 2012). Typ B w porównaniu do typu A charakteryzuje się luźniejszym ułożeniem podwójnych helis amylopektyny, które tworzą kolumnową strukturę, większą liczbą cząsteczek wody oraz wyższym stopniem polimeryzacji

i rozgałęzienia łańcuchów. Typ B występuje w skrobiach zbożowych o wysokiej zawartości amylozy oraz w skrobiach pozyskiwanych z bulw i korzeni. Typ C stanowi mieszaną formę struktur krystalicznych typów A i B. W jego układzie krystalicznym struktura typu B otoczona jest dodatkową warstwą charakterystyczną dla typu A. Typ C występuje głównie w skrobiach pochodzących z roślin strączkowych (Dome i in., 2020; Raigond i in., 2015.; MacNeill i in., 2017).



Rysunek 4. Typy krystaliczne skrobi: (A) typ krystaliczny A, (B) typ krystaliczny B (Kim i in., 2012)

1.1.3. Właściwości fizyczne i chemiczne skrobi

Właściwości fizykochemiczne skrobi zależą od wielu czynników, m.in.: pochodzenia botanicznego, uwarunkowań genetycznych oraz warunków uprawy. Czynniki te znacząco wpływają na skład chemiczny, budowę i strukturę ziaren skrobiowych.

Dzięki obecności struktury krystalicznej skrobia wykazuje zdolność do dwójłomności, czyli podwójnego załamania światła spolaryzowanego (Bertoft, 2017). Zjawisko to umożliwia określenie promienistego układu amylopektyny pod kątem 90° względem hilum, czyli centrum ziarna skrobiowego. Analiza dwójłomności pozwala również na identyfikację dezorganizacji w strukturze krystalicznej skrobi, będącej wynikiem jej modyfikacji (Alcázar-Alay, Meireles, 2015).

Skrobia natywna to polisacharyd nierozpuszczalny w zimnej wodzie oraz w większości rozpuszczalników organicznych, co wynika w dużej mierze z obecności amylozy. Jednak w składzie skrobi można wyróżnić również cząsteczki wody, co świadczy o specyficznej zdolności ziaren skrobiowych do ich absorpcji (Vamadevan, Bertoft, 2015). W wyniku pochłaniania wody ziarna skrobiowe pęcznieją, zwiększając swoją objętość nawet o 30%. Podczas tego procesu dochodzi do zmniejszenia stopnia krystaliczności, a amyloza zostaje uwolniona do zewnętrznych warstw ziaren (Wang i in., 2015). Pęcznienie skrobi jest ściśle związane z zawartością frakcji polisacharydowych (amylozy i amylopektyny) w jej strukturze (Vamadevan, Bertoft, 2015). Obecność kompleksów amylozo-lipidowych ogranicza pęcznienie, zmniejsza ilość uwalniania amylozy do fazy wodnej oraz podnosi temperaturę, kleikowania skrobi (Wang, Copeland, 2013; Wang i in., 2020a). Do tego momentu proces pęcznienia jest odwracalny, jednak po poddaniu skrobi działaniu wysokiej temperatury dochodzi do zniszczenia jej struktury semikrystalicznej. Cząsteczki wody zaczynają wówczas tworzyć wiązania wodorowe z grupami hydroksylowymi amylozy i amylopektyny (Wang, Copeland, 2013). Zjawisko to określa się mianem kleikowania skrobi, a temperaturę, przy której proces się rozpoczyna, nazywa się temperaturą kleikowania (Wang, Copeland, 2013). Kleikowanie zaczyna się od hilum, a następnie rozprzestrzenia się na resztę ziarna, przy czym szybciej zachodzi w obszarach amorficznych, gdzie wiązania wodorowe są słabsze (Wang, Copeland, 2013). Jest to proces nieodwracalny, który powoduje wzrost lepkości kleiku oraz zwiększa jego podatność na modyfikacje i działanie enzymów (Vamadevan, Bertoft, 2015).

Pomimo że proces kleikowania jest zjawiskiem nieodwracalnym, czasami może dochodzić do jego częściowego odwrócenia, znanego jako retrogradacja. Zarówno amyloza, jak i amylopektyna ulegają retrogradacji (Wang i in., 2015). Podczas tego procesu polimer liniowy (amyloza) formuje podwójne helisy, łącząc swoje cząsteczki z innymi jednostkami glukozy. Wiązania wodorowe pomiędzy amylozą a cząsteczkami wody są rozrywane, a woda zostaje usunięta z nowo powstałej struktury. Amylopektyna retrograduje w wyniku ponownego tworzenia się wiązań pomiędzy jej rozgałęzieniami, przy czym także następuje usuwanie cząsteczek wody oraz rozrywanie wiązań wodorowych. W wyniku retrogradacji powstają nierozpuszczalne agregaty, a uwolnienie cząsteczek wody prowadzi do synerезy i zmniejszenia lepkości kleiku. Amyloza jest bardziej podatna na retrogradację niż amylopektyna, a proces rozpoczyna się natychmiast po kleikowaniu, w momencie obniżenia temperatury kleiku. Ten typ retrogradacji określany jest jako retrogradacja krótkoterminowa. Amylopektyna retrograduje wolniej, głównie w wyniku długotrwałego przechowywania kleiku (retrogradacja długoterminowa), przy czym dłuższe łańcuchy amylopektyny retrograduują szybciej (Wang,

Copeland, 2013; Vamadevan, Bertoft, 2015). Tempo retrogradacji zwiększa się pod wpływem wysokiej temperatury (powyżej 100°C), niskiej temperatury (poniżej 0°C), wahań temperatury spowodowanych zamrażaniem i rozmrażaniem skleikowanej skrobi oraz zabiegów mechanicznych, którym kleik skrobiowy może być poddawany w trakcie dalszego przetwarzania (Wang i in., 2015). Stężenie kleiku skrobiowego również wpływa na tempo retrogradacji - im wyższe stężenie, tym wolniej przebiega proces. Zmniejszenie tempa retrogradacji można osiągnąć na kilka sposobów. Tworzenie kompleksów skrobi z białkami lub lipidami spowalnia ten proces (Wang i in., 2020a). Ponadto wprowadzenie lipidów, soli, polifenoli czy polisacharydów nieskrobiowych, jak również modyfikacje skrobi, wpływają na ograniczenie retrogradacji (Wang i in., 2015). Przyjmuje się, że retrogradacja jest procesem nieodwracalnym. Trudności w ponownym rozpuszczeniu wytrąconych agregatów amylozy i amylopektyny wynikają z wysokiej temperatury topnienia ich skryzalizowanych form, która dla amylozy przekracza 100°C, uniemożliwiając jej ponowne skleikowanie w naturalnych warunkach. Mimo że retrogradacja może przynosić korzystne efekty zdrowotne, takie jak spowolnienie trawienia skrobi, jej występowanie jest niepożądane w przypadku wielu produktów spożywczych (Wang i in., 2015). Wytrącanie się agregatów polimerowych oraz synergeza wpływają negatywnie na jakość wyrobu, co może zniechęcać konsumentów do zakupu danego artykułu spożywczego (Alcázar-Alay, Meireles, 2015).

Powstałe w procesie kleikowania kleiki skrobiowe mogą zawierać w swojej strukturze nieskleikowane ziarna skrobiowe, częściowo skleikowane ziarna, agregaty skleikowanych ziaren oraz produkty retrogradacji (Wang, Copeland, 2013). Skład kleiku ma istotny wpływ na jego klarowność. W niektórych gałęziach przemysłu spożywczego klarowność kleiku stanowi cechę krytyczną, ograniczającą jego zastosowanie. Obecność kompleksów amylozo-lipidowych oraz nieskleikowanych ziaren skrobiowych wpływa negatywnie na ten parametr (Alcázar-Alay, Meireles, 2015).

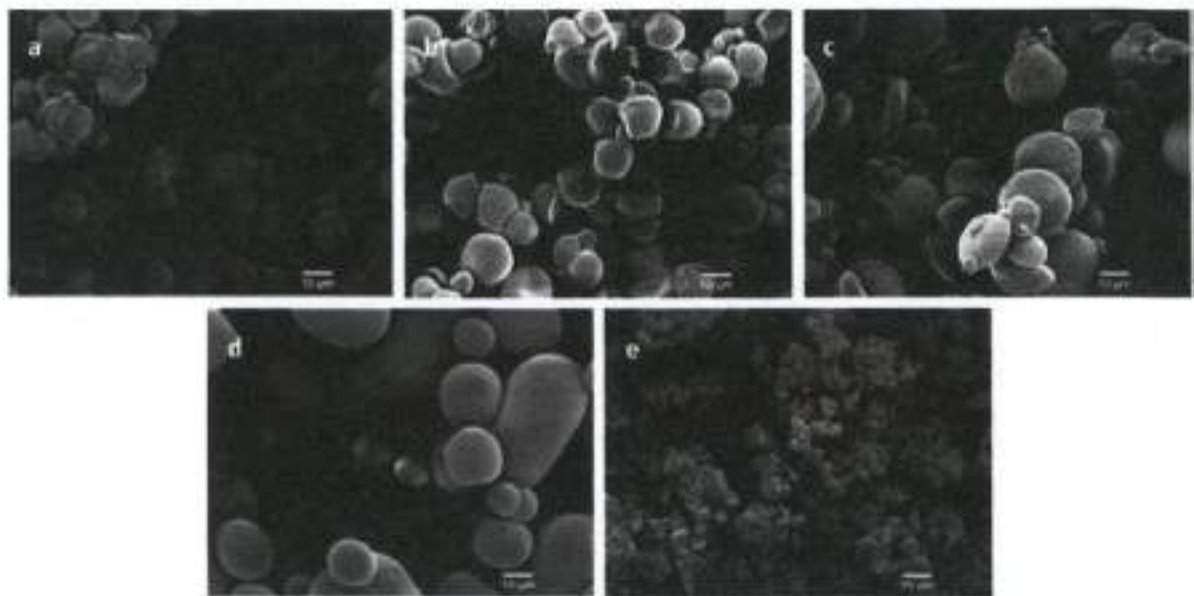
Charakterystyczną cechą skrobi, a w szczególności amylozy, leżącą na pograniczu właściwości fizycznych i chemicznych, jest jej zdolność do tworzenia kompleksów inkluzyjnych z różnymi ligandami (Alcázar-Alay, Meireles, 2015). Najbardziej rozpoznawalnym kompleksem jest kompleks z jonami jodkowymi, które wnikają do wnętrza helisy amylozy, tworząc strukturę przypominającą metal o granatowym zabarwieniu (Pesek, Silaghi-Dumitrescu, 2024). W przypadku denaturacji łańcuchów amylozy zabarwienie to zanika. Natomiast w wyniku mniejszego powinowactwa jodu do amylopektyny powstający kompleks przyjmuje barwę czerwono-fioletową (Pesek, Silaghi-Dumitrescu, 2024). Kompleksy inkluzyjne powstają również w wyniku oddziaływania skrobi ze związkami

fenolowymi. Tworzenie kompleksów zależy od rodzaju skrobi i związku fenolowego, a także od wielkości jego cząsteczek. Ich powstawanie wpływa na przydatność technologiczną skrobi oraz ma wpływ na aspekt żywieniowy, wynikający ze zwiększonej odporności powstałych kompleksów na hydrolizę enzymatyczną, co prowadzi do wzrostu ilości skrobi wolno trawionej i/lub skrobi opornej typu 5 (Giuberti i in., 2020; Wang, Jiang, Guo, Zheng, Zhang, 2021; Jiang, Wang, Ou, Zheng, 2021).

Właściwości chemiczne skrobi zależą przede wszystkim od jej reaktywności, wynikającej z obecności grup hydroksylowych w cząsteczkach glukozy. Grupy hydroksylowe przy atomach węgla C2, C3 i C6 są wolne od wiązań glikozydowych (z wyjątkiem niektórych atomów C6). Grupa hydroksylowa przy węglu C6 wykazuje właściwości charakterystyczne dla alkoholi pierwszorzędowych, natomiast grupy przy węglach C2 i C3 – dla alkoholi drugorzędowych. Skrobia charakteryzuje się stosunkowo niską reaktywnością, którą można zwiększyć podczas procesu kleikowania. Proces ten zwiększa dostępność jednostek glukozy w polimerach oraz aktywuje atomy wodoru w wyniku zmiany odczynu środowiska na kwasowy lub zasadowy (Egharevba, 2019; Bertoft, 2017).

Jedną z szeroko dostępnych w Polsce skrobi jest skrobia ziemniaczana. Jej popularność wynika z krajowej produkcji i dostępności surowca, jakim są ziemniaki. Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego produkcja skrobi ziemniaczanej w Polsce w 2023 roku wyniosła 131 tys. ton, utrzymując wartość z roku 2022, co stanowi spadek o około 75 tys. ton w porównaniu z rokiem 2020. Jest to jednocześnie znaczny wzrost w stosunku do roku 2010, kiedy produkcja wynosiła 76,9 tys. ton (Główny Urząd Statystyczny (GUS), 2024). Skrobia ziemniaczana zawiera 0,1% lipidów, 0,1% białek, 0,2-0,3% popiołu oraz 0,06-0,09% fosforu (Waterschoot, Gomand, Fierens, Delcour, 2014). Niska zawartość frakcji tłuszczowej w skrobi ziemniaczanej wynika z relatywnie małej ilości amylozy w ziarnach skrobiowych (Waterschoot i in., 2014; Dupuis, Liu, 2019). Sprzyja to procesowi kleikowania, ponieważ niewielka ilość lipidów ogranicza powstawanie kompleksów amylozo-lipidowych, które mogłyby utrudniać wnikanie wody do wnętrza ziaren skrobi. W efekcie ułatwione zostaje pęcznienie skrobi oraz uwalnianie frakcji polisacharydowych podczas obróbki termicznej. Relatywnie duża ilość fosforu w skrobi ziemniaczanej pochodzi głównie z monoestrów fosforanowych, kowalencyjnie związanych z amylopektyną, z czego 61% jest związane z atomem węgla w pozycji C6, 38% z węglem C3, a 1% z węglem C2. Ujemnie naładowane grupy fosforanowe powodują wzajemne elektrostatyczne odpychanie się łańcuchów amylopektyny, co przyspiesza uwalnianie i wymywanie frakcji skrobiowych z ziaren (Waterschoot i in., 2014). Okrągłe lub owalne ziarna skrobi ziemniaczanej wyróżniają się na tle innych rodzajów skrobi swoją

wielkością i jej znacznym zróżnicowaniem w zakresie od 10 do 100 μm oraz heterogenicznością (Rys. 5) (Waterschoot i in., 2014; Dupuis, Liu, 2019). Ziarna skrobi ziemniaczanej są znacznie większe w porównaniu do ziaren skrobi kukurydzianej (5-20 μm), maniokowej (3-32 μm), pszennej (do 35 μm) czy ryżowej (3-8 μm). (Waterschoot i in., 2014)



Rysunek 5. Zdjęcia elektronowego mikroskopu skaningowego skrobi z kukurydzy (a), manioku jadalnego (b), pszenicy (c), ziemniaków (d), ryżu (e). Słupek odpowiada 10 μm (Waterschoot i in., 2014)

Dla pełnego zrozumienia właściwości skrobi konieczne jest omówienie właściwości kleików skrobiowych. Ich charakterystyka wymaga uwzględnienia zachowania podczas procesów technologicznych, co z kolei umożliwia badanie właściwości reologicznych. Parametry reologiczne opisują zachowanie materiału pod wpływem sił ścinających i deformacji. Głównym parametrem reologicznym kleików skrobiowych jest lepkość, której wartość zależy od szybkości ścinania, temperatury oraz stężenia kleiku. Analiza lepkości w funkcji sił ścinających, temperatury i czasu pozwala na zrozumienie zachowania kleików skrobiowych w różnych warunkach przetwarzania i użytkowych. Wyznaczenie dodatkowych parametrów reologicznych pozwala ocenić zdolność kleiku do odtwarzania swojej struktury po ustaniu działania sił ścinających. Do takich parametrów należą: moduł sprężystości G' (energia tymczasowo zaabsorbowana i możliwa do odzyskania), moduł stratności G'' (energia niezbędna do zainicjowania przepływu) oraz twardość żelu, odzwierciedlająca jego odporność na działanie sił mechanicznych (Alcázar-Alay, Meireles, 2015).

1.2. Wybrane hydrokoloidy roślinne

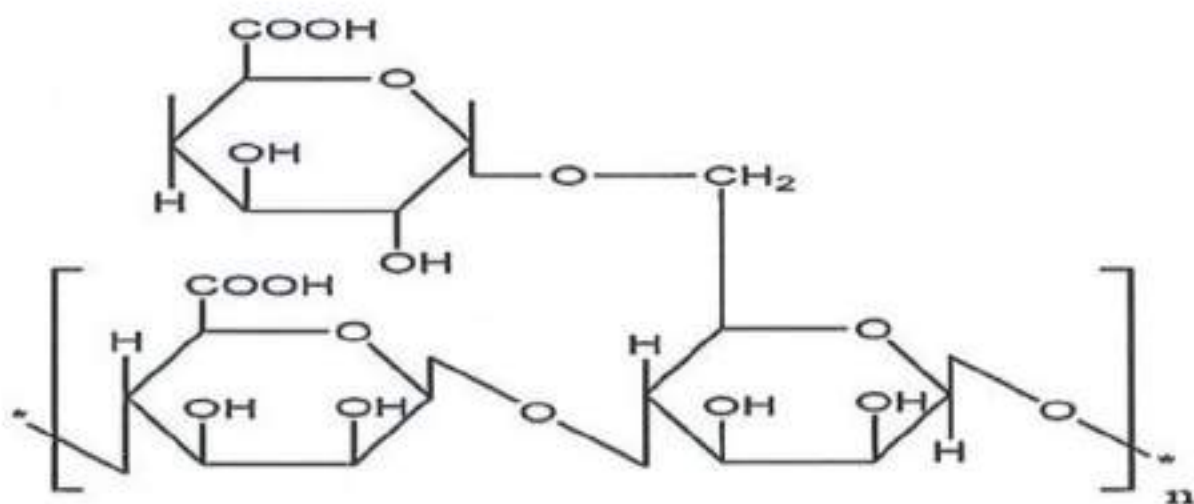
Wśród polisacharydów roślinnych można wyróżnić szereg związków o właściwościach i zastosowaniach podobnych do tych, którymi charakteryzuje się skrobia, są to m.in. guma guar, guma tara, guma konjac, guma arabska, guma karaya, guma tragakanta, mączka chleba świętojańskiego, karagen oraz celuloza. Klasyfikowane jako hydrokoloidy pochodzenia roślinnego, znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym oraz kosmetycznym. W produkcji żywności stosowane są m.in. jako związki zagęszczające, stabilizujące czy emulgujące. Dostępność, prostota zastosowania i właściwości niektórych polisacharydów, określanych również jako gummy przyczyniły się do ich szerokiego zastosowania w różnych produktach spożywczych, zapewniając jednocześnie utrzymanie odpowiedniej jakości i bezpieczeństwa żywności (Thombare, Jha, Mishra, Siddiqui, 2016).

Gummy spożywcze można podzielić ze względu na ich pochodzenie: pozyskiwane z wydzielin roślinnych, nasion, roślin morskich i oceanicznych oraz syntetyzowane przez mikroorganizmy (Sharma i in., 2018; Thombare i in., 2016). Właściwości tych wielocukrów zależą przede wszystkim od budowy cząsteczki polimeru, a zatem od rodzaju głównego meru stanowiącego szkielet polisacharydu, od występowania łańcuchów bocznych i rodzaju cukrów przyłączających się do szkieletu. Kolejnymi kluczowymi cechami są stopień polimeryzacji łańcucha i ilość występujących rozgałęzień, czystość gumy, źródło jej pochodzenia, a także zawartość białek, lipidów i minerałów. Wpływają one na hydrofilowość lub hydrofobowość, a także na ich potencjał do wykorzystania na cele spożywcze, przy którym należy uwzględnić m.in. kwasowość żywności, warunki mieszania z surowcami, temperaturę obróbki termicznej oraz warunki przechowywania gotowego wyrobu (Tripathy, Das, 2013). Ze względu na właściwości oraz specyficzne wymagania co do możliwości zastosowania, nie wszystkie z nich znajdują zastosowanie w każdej gałęzi przemysłu spożywczego. Dlatego opracowanie receptur z wykorzystaniem hydrokoloidów wymaga znajomości cech fizykochemicznych zarówno produktu finalnego, jak i dodatku.

1.2.1. Guma guar - charakterystyka, budowa i właściwości

Jednym z polisacharydów pochodzenia roślinnego, który ze względu na swoje właściwości i dostępność jest szeroko stosowany w przemyśle spożywczym jest guma guar (Thombare i in., 2016). Polisacharyd ten pozyskiwany jest poprzez mielenie endospermu roślin strączkowych *Cyamopsis tetragonolobus* lub *C. psoraloides*, pochodzących głównie z regionów Indii (stanowiących do 80% produkcji rocznej) oraz Pakistanu (Tripathy, Das, 2013; Singh, Singh, Arya, 2018). Ze względu na swoją strukturę guma guar klasyfikowana jest jako

galaktomannan, czyli polisacharyd liniowy zbudowany ze szkieletu D-mannozy z cząsteczkami D-galaktozy przyłączonymi do łańcucha głównego jako odgałęzienia boczne (Rys. 6). Monomery D-mannozy są połączone wiązaniami β -1,4-glikozydowymi, natomiast odgałęzienia tworzone są przez wiązania α -1,6-glikozydowe (Sharma i in., 2018; Mudgil, Barak, Khatkar, 2014; Tripathy, Das, 2013; Prajapati i in., 2013). Rozgałęzienia z pojedynczą resztą galaktozową zazwyczaj występują co drugą cząsteczkę mannozy, co powoduje, że stosunek mannozy do galaktozy wynosi około 2:1 (Mudgil i in., 2014; Tripathy, Das, 2013; Prajapati i in., 2013). Sproszkowana guma guar zawiera około 75-86% rozpuszczalnych w wodzie galaktomannanów, 8-14% wody, 5-6% białka, 2-3% błonnika i 0,5-1% popiołu (Thombare i in., 2016). Obecność wolnych grup hydroksylowych w strukturze gumy umożliwia tworzenie wiązań wodorowych zarówno z uwodnionymi minerałami, jak i powierzchniami organicznymi. Dzięki temu guma guar może być stosowana jako koagulant w środowiskach nieorganicznych oraz jako dyspersant w środowiskach organicznych (zawierających grupy hydroksylowe lub karboksylowe) (Sharma i in., 2018). Guma guar jest jednym z niejonowych polisacharydów rozpuszczalnych w wodzie, charakteryzującym się wysoką masą molową.



Rysunek 6. Struktura chemiczna gumy guar (Prajapati i in., 2013)

Właściwości gumy guar w dużej mierze zależą od środowiska, do którego jest wprowadzana. W rozpuszczalnikach polarnych wykazuje ona dobrą rozpuszczalność i tworzy silne wiązania wodorowe. Natomiast w rozpuszczalnikach niepolarnych tworzy jedynie słabe wiązania wodorowe. Szybkość żelowania gumy guar oraz jej lepkość rosną wraz ze zmniejszającą się wielkością cząsteczek, zmianą odczynu środowiska oraz wzrostem temperatury (Mudgil i in., 2014; Singh i in., 2018). Obecność innych związków może wpływać

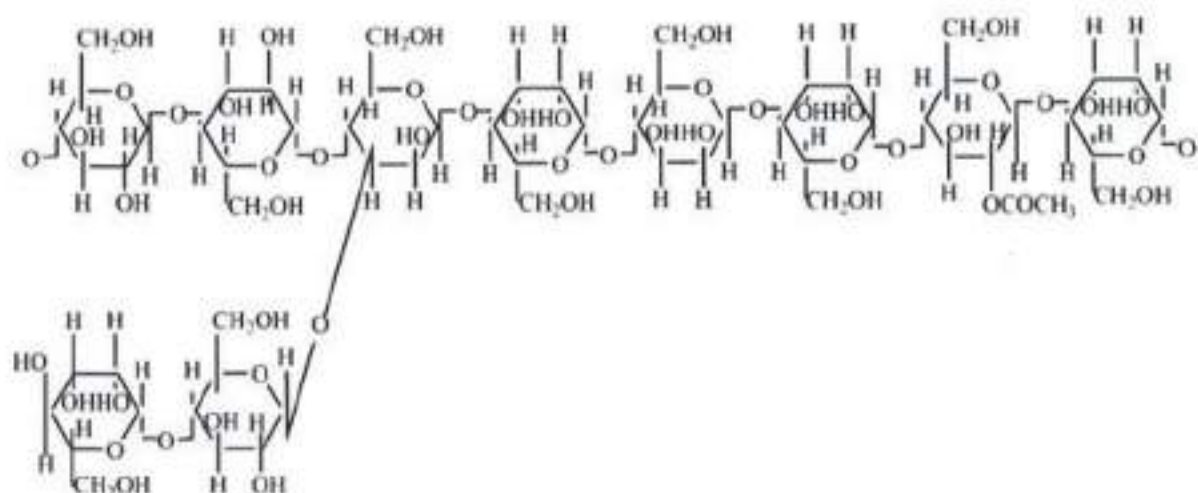
na właściwości żelu. Na przykład, w środowisku zawierającym sacharozę hydratacja gumy guar jest ograniczona, co wynika z konkurencji pomiędzy cząsteczkami cukru a gumą o cząsteczki wody (Singh i in., 2018). W efekcie zmniejsza się lepkość końcowa żelu. Natomiast obecność soli w roztworze powoduje zwiększenie lepkości poprzez intensyfikację interakcji międzycząsteczkowych (Sharma i in., 2018). Dodatkowo właściwości reologiczne żelu z gumy guar zależą również od jej stężenia. Żele wykazują zachowanie cieczy pseudoplastycznych rozrzedzanych ścinaniem, przy czym efekt rozrzedzania ścinaniem jest silniejszy przy wyższym stężeniu gumy oraz większej masie cząsteczkowej (Tripathy, Das, 2013). Obecność grup hydroksylowych umożliwia dodatkowo modyfikację polimeru, co zwiększa zakres jego zastosowania (Thombare i in., 2016).

Ze względu na właściwości gumy guar zbliżone do właściwości błonnika pokarmowego jej spożywanie może mieć zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki. W badaniach na modelach zwierzęcych wykazano, że konsumpcja większych ilości (około 10-15% masy ciała) może prowadzić do ograniczenia wzrostu, zaburzeń trawienia, wchłaniania składników odżywczych oraz zmniejszenia apetytu. Jest to związane z wysoką lepkością treści pokarmowych, będącej wynikiem spożycia znacznej ilości tego polisacharydu (Mudgil i in., 2014). Jednak w przypadku niższych stężeń obserwuje się korzystne efekty zdrowotne. Guma guar może wspierać proces odchudzania oraz wydłużać uczucie sytości i zmniejszać apetyt a także obniżać poziom glukozy (Thombare i in., 2016; Singh i in., 2018; Rao, 2016; Mudgil i in., 2014). Dodatkowo pośrednio wpływa na zmniejszenie poziomu cholesterolu, co jest związane ze zwiększeniem wydalania kwasów żółciowych z kałem oraz zmniejszeniem ilości kwasów żółciowych w wątrobie, co może nasilać ich produkcję z cholesterolu (Mudgil i in., 2014). Jednakże, ze względu na wysoką lepkość tworzących żeli, guma guar nie jest stosowana technologicznie ani żywieniowo jako błonnik pokarmowy. W celu zwiększenia jej zastosowania żywieniowego guma guar jest poddawana częściowej hydrolizie enzymatycznej, której produktem jest hydrolizowana guma guar. W wyniku tego procesu skraca się łańcuch polimeru oraz zmniejsza jego masa cząsteczkowa (Rao, 2016). Hydrolizowana guma guar wykazuje właściwości rozpuszczalnego błonnika pokarmowego o możliwym zastosowaniu w żywieniu klinicznym (Singh i in., 2018; Rao, 2016). Skrócenie łańcucha polisacharydu prowadzi do powstawania oligosacharydów zawierających mannozę i galaktozę, które wykazują dodatkowe właściwości prebiotyczne (Singh i in., 2018). Dodatkowo, hydrolizowana guma guar może ograniczać trawienie skrobi, ponieważ hamuje wydzielanie soków trawiennych i wykazuje właściwości hydrofilowe. Hydroliza gumy guar zmniejsza jednak stopień polimeryzacji polisacharydu około dziesięciokrotnie, redukuje to znacząco jej

technologiczną przydatność zwłaszcza w kontekście zdolności do wiązania wody oraz stabilizacji struktury produktów (Rao, 2016).

1.2.2. Guma konjac - charakterystyka, budowa i właściwości

Guma konjac jest naturalnym polisacharydem roślinnym szeroko stosowanym w przemyśle spożywczym, biomedycznym oraz w pokrewnych dziedzinach, ze względu na swoje zdolności do żelowania oraz tworzenia powłok (Zhou i in., 2022). Z chemicznego punktu widzenia, należy do grupy glukomannanów. Jej struktura opiera się na resztach D-mannozy i D-glukozy połączonych wiązaniami β -1,4-glikozydowymi, z dodatkowymi cząsteczkami D-glukozy, które stanowią łańcuchy boczne, połączone wiązaniami β -1,3-glikozydowymi (Rys. 7) (Tester, Al-Ghazzewi, 2013; Yang i in., 2017; Chao i in., 2012). Cząsteczki D-glukozy występują co 1–2 jednostki mannozy, co daje stosunek mannozy do glukozy w przybliżeniu 1,6:1 (Tester, Al-Ghazzewi, 2013; Guo, Yokoyama, Chen, Zhong, 2021; Jian, Siu, Wu, 2015; Chao i in., 2012). Struktura glukomannanu konjac zawiera również niewielką ilość grup acetylowych, przy czym 1 grupa acetylowa przypada na 9-19 jednostek sacharydowych, rozmieszczonych losowo przy atomie węgla C6 w łańcuchach bocznych. Łańcuchy boczne w strukturze gumy konjac pojawiają się przy atomie węgla C3 mannozy lub przy atomie węgla C3 mannozy i glukozy głównego łańcucha. Szacuje się, że odgałęzienia występują co 3 do 32 jednostek cukrowych (Guo i in., 2021). Ze względu na swoją budowę, polimer ten łatwo wchodzi w interakcje z cząsteczkami wody, tworząc wiązania wodorowe (Zhou i in., 2022; Yang i in., 2017). Jeden gram tego polisacharydu może wiązać około 200 cm³ wody (Guo i in., 2021). Obecność licznych grup funkcyjnych w strukturze gumy konjac umożliwia jej interakcje z innymi makromolekułami w środowisku wodnym, co daje możliwość wprowadzania modyfikacji strukturalnych. Odlączenie grup acetylowych, może np. poprawić stabilność termiczną i właściwości mechaniczne gumy (Zhou i in., 2022). Guma konjac może być pozyskiwana z wielu roślin, jednak najbardziej przebadaną i powszechnie wykorzystywaną w przemyśle jest guma uzyskiwana z korzenia byliny *Amorphophallus konjac* (Shi i in., 2020; Jian i in., 2015).



Rysunek 7. Struktura chemiczna gumy konjac (Guo i in., 2021)

Guma konjac tworzy dyspersje zarówno w zimnej, jak i ciepłej wodzie, a jej roztwory charakteryzują się wysoką lepkością w środowisku o pH od 4,0 do 7,0 (Tester, Al-Ghazzewi, 2013). W środowisku zbyt kwaśnym może dochodzić do degradacji łańcuchów cukrowych, natomiast odczyn w zakresie pH bliskim neutralnemu umożliwia tworzenie stabilnych dyspersji. Z kolei w środowisku zasadowym guma konjac indukuje tworzenie struktur typowo żelowych (Jian i in., 2015). Lepkość żeli wytworzonych z gumy konjac jest bezpośrednio zależna od jej masy cząsteczkowej - im mniejsza masa cząsteczkowa, tym niższa lepkość (Gou i in., 2021). Grupy acetylowe w gumie konjac uniemożliwiają zbliżanie się łańcuchów polisacharydowych ze względu na występujące między nimi siły elektrostatyczne. To zjawisko hamuje agregację łańcuchów, jednocześnie pozwalając na związanie większej ilości wody (Gou i in., 2021). Dzięki zdolności do ograniczania tworzenia niektórych wiązań, guma konjac może być stosowana do minimalizowania agregacji peptydów oraz ich ochrony przed denaturacją (Zhou i in., 2022). W przemyśle spożywczym guma konjac jest wykorzystywana głównie jako dodatek poprawiający teksturę produktów, zwłaszcza ze względu na zdolność do tworzenia stabilnych struktur żelowych. Może także pełnić rolę zamiennika tłuszczu, zapewniając akceptowalne cechy sensoryczne, przy jednoczesnym zmniejszeniu zawartości tłuszczu w produkcie (Yang i in., 2017). Reologiczne właściwości gumy konjac są zależne od jej stężenia. Żele tego polisacharydu klasyfikowane są jako płyny rozrzedzane ścinaniem, jednak przy niskich stężeniach mogą wykazywać właściwości płynów newtonowskich, dla których lepkość nie zmienia się pod wpływem ścinania (Chao i in., 2012).

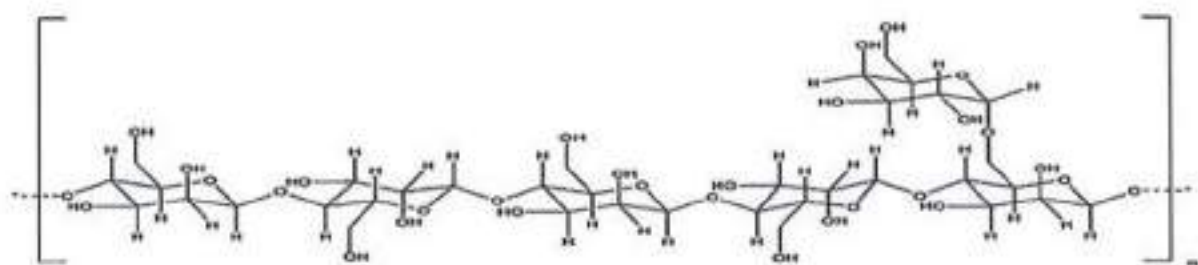
Ze względu na swoje właściwości wprowadzenie gumy konjac do matrycy spożywczej może zwiększać ilość dostarczanego błonnika pokarmowego. W organizmie człowieka guma

ta jest trawiona jedynie w końcowych odcinkach jelita cienkiego i w jelicie grubym, przez enzym α -mannazę (Yang i in., 2017). Z tego względu guma konjac może pełnić rolę prebiotyku, wspierając rozwój pożytecznych mikroorganizmów zasiedlających przewód pokarmowy (Tester, Al-Ghazzewi, 2013; Zhou i in., 2022). Glukomannan konjac wpływa również na ograniczanie wchłaniania glukozy i cholesterolu, co w przypadku tego ostatniego jest prawdopodobnie pośrednio związane ze zwiększonym wydalaniem kwasów żółciowych z kałem (Chen, Sheu, Tai, Liaw, Chen, 2003; Tester, Al-Ghazzewi, 2013; Shi i in., 2020; Guo i in., 2021). Zwiększenie lepkości spowodowane obecnością gumy konjac w treści pokarmowej wywołuje spowolnienie jej przemieszczania się, w tym również opóźnienie opróżniania żołądka, co prowadzi do dłuższego uczucia sytości, hamowania apetytu i może pozytywnie wpływać na proces odchudzania (Guo i in., 2021). Spożywanie gumy konjac może także wykazywać właściwości terapeutyczne, wspomagając leczenie niektórych chorób przewodu pokarmowego, takich jak choroba Crohna, zapalenie uchyłków czy wrzodziejącego zapalenia jelita grubego (Shi i in., 2020). Podobnie jak w przypadku gumy guar, częściowa hydroliza gumy konjac prowadzi do uzyskania oligosacharydów o korzystnych właściwościach żywieniowych, związanych z dostarczaniem rozpuszczalnego błonnika pokarmowego. Niemniej jednak hydroliza negatywnie wpływa na właściwości technologiczne (Tester, Al-Ghazzewi, 2013).

1.2.3. Guma tara - charakterystyka, budowa i właściwości

Guma tara to kolejny galaktomannan wykorzystywany m.in. w przemyśle spożywczym. Jest pozyskiwana z endospermu nasion drzewa tara (*Caesalpinia spinosa*), które występuje w krajach Ameryki Południowej, szczególnie w Peru (Prajapati i in., 2013; Huamaní-Meléndez, Mauro, Darros-Barbosa, 2021; Wu, Ding, Jia, He, 2015; Rigano, Deola, Zaccariotto, Colleoni, Lionetti, 2019; Santos, Santos, Carvalho, Carvalho, Garcia-Rojas, 2019). Proces pozyskiwania gumy tara jest podobny do tego stosowanego w przypadku gumy guar. W obu przypadkach podstawowym elementem strukturalnym budowy chemicznej jest szkielet mannozowy, w którym monosacharydy mannozy są połączone wiązaniami β -1,4-glikozydowymi, z bocznymi łańcuchami galaktozy przyłączonymi za pomocą wiązań α -1,6-glikozydowych (Rys. 8) (Prajapati i in., 2013; Wu i in., 2015; Rigano i in., 2019; Kumbár, Nedomová, Pytel, Kilián, Buchar, 2017; Santos i in., 2019). Główna różnica między gumą tara, a gumą guar polega na częstotliwości występowania cząsteczek galaktozy. W przypadku gumy tara stosunek mannozy do galaktozy wynosi 3:1, co oznacza że cząsteczka galaktozy pojawia się co trzy cząsteczki mannozy. Stopień podstawienia gumy tara mieści się pomiędzy stopniem

podstawienia gumy guar (2:1) a mączki chleba świętojańskiego (4:1) (Prajapati i in., 2013; Huamani-Meléndez i in., 2021; Wu i in., 2015; Kumbár i in., 2017; Santos i in., 2019). Zawartość cząsteczek galaktozy wpływa na rozpuszczalność polisacharydu w zimnej wodzie. Wraz ze wzrostem częstotliwości rozgałęzień wzrasta również rozpuszczalność. Oznacza to, że guma tara wykazuje częściową rozpuszczalność w zimnej wodzie, podczas gdy guma guar jest w niej dobrze rozpuszczalna, a mączka chleba świętojańskiego - słabo (Prajapati i in., 2013; Rigano i in., 2019). Guma tara dobrze rozpuszcza się w ciepłej wodzie (Rigano i in., 2019). Jej żele wykazują stabilność w szerokim zakresie pH (od 3 do 12) (Rigano i in., 2019). Podobnie jak guma guar, galaktomannan tara ma zdolności zagęszczające, co sprawia, że znajduje zastosowanie jako stabilizator, zagęszczacz lub emulgator (Huamani-Meléndez i in., 2021; Santos i in., 2019).



Rysunek 8. Struktura chemiczna gumy tara (Prajapati i in., 2013)

Wodne żele gumy tara wykazują właściwości płynów pseudoplastycznych, rozrzedzanych ścinaniem oraz tiksotropowych. Wzrostowi stężenia gumy towarzyszy wzrost lepkości żelu oraz stopnia rozrzedzania ścinaniem (Wu i in., 2015; Rigano i in., 2019; Kumbár i in., 2017; Santos i in., 2019). Wysoka odporność gumy tara na niszczące siły mechaniczne, wykorzystywane w procesach przetwórczych, zwiększa jej przydatność technologiczną (Wu, Yang, Yang, Zhang, 2021). Obecność zarówno cukru, jak i soli może powodować modyfikacje właściwości żeli z gumy tara. Wysokie stężenie cukru ogranicza uwadnianie polimeru, co wynika z silniejszego powinowactwa cząsteczek cukru do wody w porównaniu do cząstek gumy tara. Po rozpuszczeniu cząsteczki cukru wypełniają przestrzeń w strukturze uwodnionej gumy, stabilizując usieciowanie i prowadząc do wzrostu lepkości. Natomiast obecność soli zmniejsza lepkość żelu, co jest związane z ograniczeniem oddziaływań elektrostatycznych między cząsteczkami polimeru. Zmniejszenie tych oddziaływań ogranicza agregację polimeru oraz zwiększa dostępność cząsteczek wody (Wu i in., 2015).

Guma tara, ze względu na swoją budowę i właściwości, wykazuje duże podobieństwo do gumy guar (Singh i in., 2018). Zastosowanie gumy tara jako dodatku funkcjonalnego

w produktach żywnościowych może przyczyniać się do zwiększenia zawartości błonnika w diecie (Mukherjee i in., 2023). Podobnie jak guma guar wpływa ona na wzrost lepkości treści pokarmowej, spowalniając jej przesuwanie się oraz opróżnianie żołądka, a tym samym wspomagając prawidłowe funkcjonowanie układu trawiennego.

Wśród hydrokoloidów wyróżnia się wiele związków o właściwościach zbliżonych do skrobi, które mogą być wykorzystywane w przemyśle spożywczym ze względu na swoje funkcje technologiczne. Do najczęściej stosowanych polisacharydów należą galaktomannan guar oraz glukomannan konjac, wykazujące korzystny wpływ zdrowotny, m.in. poprzez zwiększenie podaży błonnika pokarmowego oraz spowolnienie przemieszczania się treści pokarmowej. Galaktomannan tara pozostaje jednym z mniej popularnych dodatków do żywności, dlatego wiele aspektów jego zastosowania, w tym potencjalne korzyści żywieniowe, takie jak zwiększenie podaży błonnika w diecie, nie zostało jeszcze w pełni poznanych. Dobre właściwości technologiczne tej gumy oraz rosnące zapotrzebowanie na podobne polisacharydy, takie jak guma guar czy mączka chleba świętojańskiego, wskazują na możliwość jej szerszego wykorzystania w przemyśle spożywczym. Szersze zastosowanie gumy tara może również przyczynić się do obniżenia kosztów produkcji, ze względu na jej niską cenę i łatwość pozyskiwania (Singh i in., 2018).

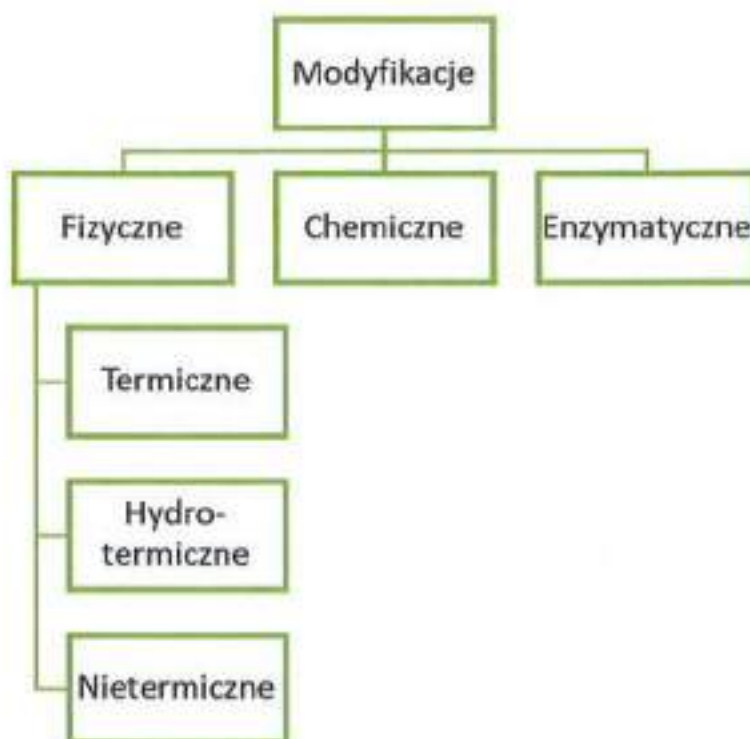
1.3. Metody poprawy właściwości skrobi

Skrobie modyfikowane fizycznie są tanie i proste w produkcji, jednak ich właściwości nie zawsze spełniają wymagania przemysłu spożywczego. Ze względu na doskonałe właściwości technologiczne, skrobie modyfikowane chemicznie są szeroko stosowane w przemyśle spożywczym. Sposób przygotowania skrobi modyfikowanych chemicznie nie jest jednak zgodny z obecnie panującym trendem ograniczania chemizacji żywności, co stwarza korzystne warunki do poszukiwania alternatyw. Jednym z rozwiązań jest zastosowanie polisacharydów nieskrobiowych jako modyfikatorów właściwości kleików skrobi natywnych, umożliwiających osiągnięcie pożądanych cech produktu. Ze względu na różnorodność składu chemicznego polisacharydów i skrobi, nie wszystkie skrobie wykazują identyczne właściwości ani w jednakowy sposób wchodzi w interakcje z innymi polisacharydami. W związku z tym uzyskanie odpowiednich właściwości mieszanin polisacharydowych wymaga starannego doboru synergistycznych typów skrobi i gum.

1.3.1. Modyfikacje skrobi

Modyfikowanie skrobi stosuje się w celu poprawy jej właściwości funkcjonalnych. Skrobie modyfikowane można klasyfikować ze względu na rodzaj zastosowanej metody modyfikacji (Rys. 9). Wyróżnia się metody fizyczne, chemiczne oraz enzymatyczne. Fizyczne metody modyfikacji skrobi należą do jednych z prostszych, szybszych i tańszych procesów produkcyjnych. Polegają na oddziaływaniu na ziarna skrobiowe czynnikami fizycznymi, takimi jak: temperatura, ciśnienie, promieniowanie czy zawartość wody podczas przetwarzania. Metody modyfikacji mogą obejmować zastosowanie jednego czynnika lub kombinację kilku. Modyfikacje fizyczne wpływają na strukturę ziaren skrobiowych, a tym samym na właściwości całego polimeru. Operacje te zazwyczaj skutkują poprawą rozpuszczalności oraz zmniejszeniem rozmiaru ziaren. Ze względu na charakter oddziaływania można wyróżnić modyfikacje fizyczne nietermiczne, termiczne i hydrotermiczne (Punia, 2020). Do najczęściej stosowanych metod fizycznej modyfikacji skrobi należą: wstępne żelowanie (Hedayati, Shahidi, Koocheki, Farahnaky, Maizoobi, 2016), proces annealingu (Baozhong i in., 2020; Su i in., 2020; Marboh, Mahanta, 2021), modyfikacja hydrotermiczna (Kaur, Singh, 2019; Piecyk, Domian, 2021; Marboh, Mahanta, 2021; Arns i in., 2015), rozdrabnianie (Niu, Zhang, Jia, Zhao, 2017; Liu, Ma, Yu, Shi, Xue, 2011; Dome i in., 2020), zastosowanie wysokiego ciśnienia (Sandhu, Kaur, Ahmed, 2021b; Liu i in., 2020; Guo i in., 2015), obróbka mikrofalowa (Kumar, Singh, Sharanagat, Patel, Kumar, 2020; Han i in., 2021; Xie, Yan, Yuan, Sun, Huo, 2013),

ultradźwięki (Yang i in., 2019) oraz ekstruzja (Wani, Farooq, Qadir, Wani, 2019; Sharma, Singh, Singh, 2015; Liu i in., 2019).



Rysunek 9. Przegląd modyfikacji skrobi (Punia, 2020)

W przypadku modyfikacji chemicznych zarówno struktura skrobi, jak i jej właściwości ulegają zmianie w wyniku oddziaływania reagentów chemicznych oraz reakcji zachodzących w ich obecności. Modyfikacja metodami chemicznymi polega na podstawieniu części grup hydroksylowych nowymi grupami funkcyjnymi. Modyfikacje chemiczne umożliwiają otrzymanie skrobi o szerokim zakresie cech funkcjonalnych, zależnych od rodzaju zastosowanego reagentu, jego stężenia, czasu reakcji, rodzaju wprowadzonej grupy funkcyjnej oraz stopnia podstawienia (DS – Degree of Substitution), definiowanego jako liczba grup funkcyjnych przypadających na jeden pierścień glukozy. W przetwórstwie spożywczym wartość DS jest często ograniczana w celu zapewnienia bezpieczeństwa konsumentów. Do najczęściej stosowanych metod modyfikacji chemicznych należą: acetylacja (Colussi i in., 2015; Wani, Sogi, Gill, 2012; Colussi i in., 2014), utlenianie (Vanier i in., 2012; Fonseca i in., 2015; Okekunle, Adebawale, Olu-Owolabi, Lamprecht, 2020), hydroliza kwasowa (Utrilla-Coello i in., 2014; Li, Hu, 2021; Babu, Parimalavalli, Jagannadham, Rao, 2015), sieciowanie (Sandhu i in., 2021a; Wongsagonsup i in., 2014; Heo, Lee, Chang, 2017) oraz estryfikacja (Won i in., 2017; Hui, Qi-he, Ming-liang, Qiong, Guo-qing, 2009; Zhang i in., 2011a).

1.3.2. Mieszaniny skrobi z hydrokoloidami roślinnymi

Jednym ze sposobów poprawy funkcjonalności skrobi jest jej stosowanie w połączeniu z polisacharydami nieskrobiowymi. Wykorzystanie dwóch związków o podobnych właściwościach umożliwia często zintensyfikowanie ich działania dzięki efektowi synergii. Pozwala to na zredukowanie poziomu stosowanych dodatków funkcjonalnych przy jednoczesnym osiągnięciu pożądanych cech jakościowych. Skrobia i inne hydrokoloidy wymagają obecności cząsteczek wody do odpowiedniego zagęszczania lub żelowania. Łańcuchy wielu polisacharydów szybko wiążą wodę po wprowadzeniu do środowiska wodnego, podczas gdy skrobia w pierwszej kolejności przechodzi etap uwalniania. W wyniku nierównomiernego tempa żelowania skrobi i innych hydrokoloidów może dochodzić do tworzenia stabilnych sieci polisacharydów, które zamykają ziarna skrobiowe w swojej strukturze, opóźniając ich pęcznienie oraz utrudniając uwalnianie amylozy do układu. Dodatkowo konkurencja między skrobią a innymi polisacharydami o dostęp do cząsteczek wody wpływa na przebieg kleikowania, w tym zmieniając temperaturę początkową oraz końcową. W celu uzyskania optymalnych rezultatów kluczowe jest odpowiednie dobranie zarówno rodzajów jak i ilości skrobi oraz nieskrobiowego polisacharydu.

Właściwości mieszanin skrobiowych z gumą guar

Mahmood i in. (2017) w swojej pracy stwierdzili, że zastosowanie mieszanin skrobi i gumy guar wpływa na poprawę tekstury, właściwości reologicznych oraz ograniczenie strat wody w produktach spożywczych. Liniowa struktura amylozy przypomina strukturę gumy guar, co sprzyja powstawaniu interakcji pomiędzy tymi składnikami. W przypadku skrobi kukurydzianej interakcje gumy guar z amylozą zwiększają temperaturę rozpoczęcia kleikowania, natomiast interakcje z amylopektyną prowadzą do wzrostu maksymalnej lepkości w trakcie tego procesu. Krystyjan, Adameczyk, Sikora, Tomasik (2013) stwierdzili, że dodatek gumy guar nie wpływa znacząco na przebieg kleikowania skrobi ziemniaczanej z powodu jonowej obojętności gumy. Jednakże zauważono, że dodatek gumy guar obniżył temperaturę kleikowania skrobi ziemniaczanej z 64,6°C do 57,2°C dla mieszaniny zawierającej 4,8% skrobi ziemniaczanej i 0,2% gumy guar. W mieszaninach gumy guar (0,5%) ze skrobią z kasztanów wodnych (4,5%) interakcje synergistyczne poprawiły właściwości reologiczne kleików, zwiększyły ich twardość oraz ograniczyły synerżę podczas cykli zamrażania i rozmrażania (Lee, Chang 2015). Mieszaniny skrobi kukurydzianej poddanej obróbce hydrotermicznej (HMT, *heat moisture treated*) z gumą guar zwiększały zawartość skrobi wolno trawionej oraz odpornej, a także zmniejszały stopień retrogradacji skrobi (Chen, Xiong, Gao, 2018). Xu, Ye,

Zuo, Fang (2022) zaobserwowali, że dodatek gumy guar do skrobi ryżowej zmniejszał synerżę, zwłaszcza podczas pierwszego cyklu zamrażania-rozmrażania. Badania Karu, Shevkani, Singh, Sharma, Kaur (2015) wykazały, że mieszaniny gumy guar i gumy ksantanowej poprawiały właściwości makaronu na bazie skrobi ziemniaczanej, kukurydzianej oraz fasoli mung. Dodatek gumy guar wydłużył czas gotowania makaronu i zmniejszał straty masy podczas gotowania.

Właściwości mieszanin skrobiowych z mączką chleba świętojańskiego

Mieszaniny mączki chleba świętojańskiego ze skrobią pozyskaną z podchrzynu, taro, batatów, kłębianu kątownego oraz ziemniaków charakteryzowały się niższą temperaturą kleikowania oraz wyższą lepkością końcową (Mahmood i in., 2017). W przypadku mieszanin mączki chleba świętojańskiego ze skrobią grochową nie zaobserwowano zmian temperatury kleikowania. W mieszaninach skrobi kukurydzianej poddanej obróbce hydrotermicznej (HMT) z mączką chleba świętojańskiego dodatek 0,5% mączki powodował zmniejszenie zawartości skrobi szybko trawionej oraz zwiększenie zawartości skrobi wolno trawionej i odpornej w porównaniu do skrobi natywnej. Zwiększenie stężenia mączki do 1% i 2% zmieniało tę zależność - ilość skrobi szybko trawionej wzrastała, a zawartość skrobi wolno trawionej i odpornej malała w porównaniu do mieszaniny z 0,5% dodatkiem mączki (Chen i in., 2018). Obniżona strawność skrobi w obecności mączki chleba świętojańskiego może wynikać ze zwiększenia lepkości kleiku oraz częściowego otoczenia ziaren skrobi, co ogranicza dostęp amyloglukozydazy do ich powierzchni (Lu i in., 2025). Zastosowanie mączki chleba świętojańskiego w mieszaninach ze skrobią kukurydzianą oporną wpływało na obniżenie temperatury kleikowania 5% zawiesiny skrobiowej - z 89,3°C w próbie kontrolnej do 68,8°C w próbie z 1% dodatkiem mączki (Hussain, Singh, Vatankhah, Ramaswamy, 2017). W badaniach von Borries-Medrano, Jaime-Fonseca, Aguilera-Méndez (2019) dodatek mączki chleba świętojańskiego w stężeniach 0,3%, 0,6% oraz 1% skutkował zwiększeniem temperatury kleikowania skrobi tapiokowej. Uzyskane kleiki charakteryzowały się również większą twardością w porównaniu do kleików skrobiowych bez dodatku mączki. Z kolei Xu i in. (2022) zaobserwowali, że kleiki ze skrobi ryżowej i mączki chleba świętojańskiego po 3 i 5 dniach przechowywania w chłodni wykazywały mniejszą twardość w porównaniu do kleików przygotowanych ze skrobi natywnej. Badacze stwierdzili ponadto, że zastosowanie gumy guar zamiast mączki chleba świętojańskiego w proponowanych układach korzystniej wpływało na poprawę parametrów tekstury kleików.

Właściwości mieszanin skrobiowych z gumą ksantanową

W swoich badaniach Krystyjan i in. (2013) zaobserwowali, że zastosowanie gumy ksantanowej znacząco modyfikuje proces kleikowania skrobi ziemniaczanej. Zmianie uległy temperatura rozpoczęcia kleikowania, lepkość minimalna oraz maksymalna. Ponadto wydłużeniu uległ czas kleikowania, a temperatura końcowa procesu wzrosła. Opóźnienie kleikowania oraz zwiększenie nakładu energetycznego wymaganego do skleikowania skrobi mogą być związane ze znaczną hydrofilowością gumy ksantanowej. Podczas uwadniania powstający żel otacza ziarna skrobiowe, blokując ich dostęp do wody i spowalniając proces kleikowania (Krystyjan i in. 2013). Struktura kleiku uzyskanego ze skrobi ziemniaczanej i gumy ksantanowej indukuje krótkoterminową retrogradację, niezależnie od zawartości amylozy w skrobi (Dobosz, Sikora, Krystyjan, Lach, Boreczak, 2020). Guma ksantanowa wykazała pozytywny wpływ na opóźnienie retrogradacji długoterminowej oraz ograniczenie synerezy kleików ze skrobi ziemniaczanej, z wyjątkiem kleików uzyskanych z woskowej skrobi ziemniaczanej, w przypadku których obserwowano przyspieszenie retrogradacji długoterminowej (Dobosz i in., 2020). Skrobia ziemniaczana i guma ksantanowa wykazują charakter anionowy, co wpływa na ich termodynamiczną niekompatybilność (Cai, Hong, Gu, Zhang, 2011). W wyniku tej niekompatybilności oba związki przechodzą proces żelowania oddzielnie, konkurując o dostęp do cząsteczek wody. Może to świadczyć o braku synergistycznych interakcji pomiędzy tymi dwoma polimerami (Mahmood i in., 2017; Krystyjan i in., 2013; Dobosz i in., 2020).

Właściwości mieszanin skrobiowych z gumą tara

Zastosowanie gumy tara w mieszaninie ze skrobią z kasztanów wodnych spowodowało zintensyfikowanie efektu rozrzedzania ścinaniem w porównaniu do kleiku bez dodatku (Lee, Chang, 2015). Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku mieszanin gumy tara ze skrobią ryżową, gdzie przygotowane kleiki wykazywały mniejsze rozrzedzanie pod wpływem sił ścinających. Zmiana ta może być związana z ograniczeniem liczby wiązań pomiędzy amylozą skrobi ryżowej a gumą tara (Lee i in., 2017; Yoo, Chang, 2018). Von Borries-Medrano i in. (2019) zauważyli, że dodatek gumy tara do kleików ze skrobi z tapioki powodował wzrost temperatury kleikowania. Wzrost ten był wyraźnie większy niż w przypadku dodatku gumy guar oraz mączki chleba świętojańskiego, niezależnie od zastosowanego stężenia (0,3%, 0,6% i 1%). Badacze zaobserwowali również wzrost twardości kleików w porównaniu do prób bez dodatku gumy. Dodatek 1% gumy tara prowadził do zmniejszenia zawartości skrobi szybko trawionej oraz zwiększenia zawartości skrobi wolno trawionej i odpornej. Chen i in. (2018) stwierdzili, że spośród porównywanych dodatków to właśnie guma tara w największym stopniu

zwiększała udział skrobi wolno trawionej w mieszaninach. Obecność gumy tara pozytywnie wpływała na ograniczenie synerezy kleików ze skrobi z kasztanów wodnych podczas trzech cykli zamrażania i rozmrażania, a także powodowała zwiększenie twardości kleików (Lee, Chang, 2015). Kleiki uzyskane z mieszanin gumy tara i skrobi ryżowej cechowały się zwiększoną odpornością na działanie sił ścinających. Po usunięciu obciążenia mechanicznego w przypadku 5% kleików z dodatkiem 0,2% oraz 0,4% gumy obserwowano szybką odbudowę struktury. W przypadku dodatku 0,6% gumy uszkodzenia struktury były już nieznaczne (Lee i in., 2017). Vidaurre-Ruiz i in. (2019) zastosowali mieszaninę gumy tara ze skrobią kukurydzianą oraz ziemniaczaną do przygotowania pieczywa bezglutenowego. Wyniki ich badań wskazują, że pieczywo przygotowane z mieszaniny gumy tara i skrobi kukurydzianej charakteryzowało się lepszymi parametrami jakościowymi, szczególnie większą objętością po wypieku. Cecha ta była silnie skorelowana z dobrze rozwiniętą strukturą miękiszu, co odróżniało je od pieczywa otrzymanego z mieszaniny gumy tara ze skrobią ziemniaczaną.

Właściwości mieszanin skrobiowych z gumą konjac

W badaniach nad wpływem gumy konjac w mieszaninie ze skrobiami natywnymi jej zastosowanie pozytywnie oddziaływało na ograniczenie procesu retrogradacji, w szczególności retrogradacji długoterminowej. Prawdopodobnie wynikało to z tworzenia swoistej otoczki gumy wokół amylozy, pokrywającej uwodnione ziarna skrobiowe, co ograniczało powstawanie wiązań pomiędzy cząsteczkami skrobi, zmniejszając ich aglomerację i rekrytalizację (Schwartz i in., 2014; Varela, Navarro, Yamul, 2016; Sun, Wang, Ma, Wang, 2020). Ograniczenie retrogradacji było bardziej wyraźne w przypadku mieszanin gumy konjac ze skrobią ziemniaczaną niż w przypadku mieszanin ze skrobią ryżową lub grochową (Sun i in., 2020). Zastosowanie 0,6% dodatku glukomannanu konjac powodowało zmniejszenie ilości energii niezbędnej do skleikowania 5% zawiesiny skrobiowej. Zarówno w badaniach Schwartz i in. (2014), jak i Varela i in. (2016), proces kleikowania w mieszaninie skrobi ziemniaczanej oraz skrobi pszennej i ziemniaczanej (w proporcji 1:1) z gumą konjac rozpoczynał się w temperaturze zbliżonej do temperatury kleikowania natywnej skrobi ziemniaczanej, jednak temperatura zakończenia kleikowania była wyższa i zależna od stężenia gumy (Schwartz i in., 2014). Sun i in. (2020) zaobserwowali wzrost zarówno temperatury rozpoczęcia, jak i zakończenia procesu kleikowania w mieszaninie zawierającej skrobię ryżową, ziemniaczaną lub grochową z dodatkiem 0,3% gumy konjac. Kleiki uzyskane z mieszaniny skrobi ziemniaczanej i gumy konjac charakteryzowały się większą podatnością na działanie sił mechanicznych, jednocześnie tworząc stabilną, trójwymiarową, rozciągniętą strukturę o mniejszych i równomiernie rozmieszczonych porach (Sun i in., 2020). Dodatek gumy konjac

istotnie zmniejszał także synerezę kleików podczas przechowywania w warunkach mrożenia (Varela i in., 2016). W przypadku zastosowania gumy konjac w produkcji pieczywa z mąki pszennej, Liu i in. (2014) zaobserwowali wzrost wilgotności pieczywa, zwiększenie jego objętości oraz zmniejszenie twardości miękiszu. W przypadku pieczywa wytwarzanego z mieszaniny mąki pszennej i mąki ziemniaczanej (w proporcji 1:1) oraz 2% dodatku gumy konjac zaobserwowano dodatkowo właściwości antystarzeniowe glukomannanu konjac (Liu i in., 2017). Ze względu na silną hydrofilowość oraz zdolność tworzenia otoczki wokół ziaren skrobiowych, zastosowanie gumy konjac może wpływać na niepełne skleikowanie skrobi (Varela i in., 2016).

Badania naukowe potwierdzają, że zastosowanie polisacharydów w mieszaninach ze skrobią może prowadzić do zmiany strawności skrobi (Chen i in., 2018; Marta, Cahyana, Djali, 2020). Zwiększenie lepkości kleików z mieszanin skrobi z polisacharydami ograniczało dostęp α -amylazy do cząsteczek skrobi, spowalniając jej działanie oraz zmniejszając stopień strawienia. Dodatkowo, obserwowane w niektórych badaniach niepełne skleikowanie skrobi mogło również przyczyniać się do obniżenia jej strawności. Zmniejszenie hydrolizy enzymatycznej potwierdzono w przypadku mieszanin agaru, gumy konjac oraz gumy ksantanowej ze skrobią ryżową, jak również mieszanin gumy guar, gumy ksantanowej, gumy konjac i pektyny ze skrobią kukurydzianą wysokoamylozową oraz z żelowaną skrobią ziemniaczaną (Marta i in., 2020). Ograniczenie hydrolizy enzymatycznej odnotowano także w mieszaninach hydrotermicznie modyfikowanej skrobi kukurydzianej z dodatkiem gumy tara, mączki chleba świętojańskiego oraz gumy guar (Chen i in., 2018). Stosowanie takich mieszanin może przyczyniać się do zmniejszenia odpowiedzi glikemicznej po spożyciu skrobi (Marta i in., 2020).

1.4. Zastosowanie skrobi w przemyśle mięsnym

Skrobia znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle mięsnym jako funkcjonalny dodatek do różnych grup wyrobów. Głównym celem jest poprawa właściwości technologicznych produktów, takich jak zdolność wiązania wody, jakość sensoryczna (szczególnie soczystość i tekstura), wydajność produkcji i ograniczenie strat podczas obróbki termicznej i przechowywania, lepkość farszu. Jedną z kluczowych właściwości skrobi wykorzystywaną w przetwórstwie mięsnym jest jej zdolność do wiązania wody. Woda stanowi jeden z głównych składników tkanki mięśniowej. W zależności od gatunku i rodzaju mięsa jej zawartość może stanowić nawet 75% (Zhang, Erthjerg, 2019). Woda obecna w mięsie może być sklasyfikowana, w zależności od stopnia związania z tkanką, na trzy główne frakcje: wodę związaną/hydratacyjną (bound water), wodę unieruchomioną/strukturalną (entrapped/immobilized water) oraz wodę wolną (free water) (Huff-Lonergan, Lonergan, 2005).

Woda związana - stanowi około 5% całkowitej zawartości wody w mięśni. Jest silnie związana za pomocą wiązań elektrostatycznych z niektórymi składnikami mięśniowymi, zwłaszcza z białkami miofibrylarnymi i białkami tkanki łącznej. Woda ta wykazuje ograniczoną ruchliwość, nie przemieszcza się swobodnie w tkance i jest bardzo odporna na procesy ogrzewania lub mrożenia. Ma kluczowe znaczenie dla utrzymania struktury białek mięśniowych, ale jej udział w retencji (zatrzymaniu) wody jest ograniczony (Huff-Lonergan, Lonergan, 2005; Modzelewska-Kapituła, Cierach, 2012).

Woda unieruchomiona - to największa frakcja wody w mięsie, może stanowić do 85% całkowitej zawartości wody (Hughes, Oiseth, Purslow, Warner, 2014). Nie jest trwale związana z białkami, ale jest utrzymywana w strukturze mięśni w wyniku działania sił fizycznych, przyciągania przez wodę związaną oraz zamknięcia w przestrzeniach kapilarnych i międzykomórkowych. Jej mobilność jest ograniczona jednak może zostać usunięta podczas suszenia lub zamieniona w lód podczas mrożenia. Woda unieruchomiona jest najbardziej wrażliwa na zmiany zachodzące w mięsie po uboju. Zachowanie jej jak największej ilości jest kluczowe dla jakości mięsa i wpływa m.in. na soczystość, teksturę i masę końcową produktu (Huff-Lonergan, Lonergan, 2005; Modzelewska-Kapituła, Cierach, 2012).

Woda wolna - występuje w najmniejszej ilości i jest najmniej związana z tkanką mięśniową. Występuje w niewielkiej ilości i utrzymywana jest jedynie dzięki słabym siłom powierzchniowym. Nie występuje znacząco w mięśni przed wystąpieniem stężenia pośmiertnego, lecz pojawia się w miarę postępujących zmian poubojowych. Woda wolna jest

najbardziej mobilna, łatwo wypływa pod wpływem nacisku lub grawitacji. Jej obecność w produkcie mięsnym wpływa na wielkość wycieku podczas przechowywania (Huff-Lonergan, Lonergan, 2005).

Skrobia, dzięki swojej zdolności do absorpcji i wiązania wody, odgrywa istotną rolę w stabilizacji struktury mięsa, poprawie jego tekstury oraz zwiększeniu wydajności produkcji przetworów mięsnych. Jej właściwości umożliwiają zatrzymanie większej ilości wody w produkcie, co wpływa zarówno na jakość sensoryczną, jak i na trwałość wyrobu. Zawartość wody oraz zdolność jej utrzymania w przetworach mięsnych są jednymi z kluczowych parametrów technologicznych i ekonomicznych w przemyśle mięsnym (Hughes i in., 2014). Parametry te wpływają na przydatność technologiczną surowca oraz na jakość końcową produktu. Naturalne przemiany zachodzące w mięsie, a także stosowane zabiegi technologiczne, mogą powodować zmiany tych właściwości (Huff-Lonergan, Lonergan, 2005). Pierwsze zmiany w zdolności mięsa do wiązania wody zachodzą podczas przemian pośmiertnych. Po uboju tkanka mięśniowa przechodzi przez szereg zmian fizykochemicznych, które mają kluczowe znaczenie dla jego właściwości technologicznych. Jednym z pierwszych procesów jest stężenie pośmiertne, w trakcie którego dochodzi do ustania aktywności metabolicznej, zużycia ATP i trwałego związania aktyny z miozyną. W jego wyniku kurczą się komórki mięśniowe, co prowadzi do zmniejszenia ich objętości oraz wpływa na rozmieszczenie i wiązanie wody w tkance (Hughes i in., 2014). W tym okresie następuje również szybki spadek pH, z wartości fizjologicznej około 7,0 do poziomu 5,5–5,8 na skutek glikolizy beztlenowej i gromadzenia się kwasu mlekowego. W kolejnym etapie rozpoczyna się proces dojrzewania mięsa, zachodzący w temperaturze powyżej punktu zamarzania. W jego trakcie uruchamiane są enzymy proteolityczne (m.in. kalpainy i katepsyny), które rozkładają strukturalne białka miofibrylarne i cytoszkietowe. Proteoliza ta prowadzi do rozluźnienia struktury mięśniowej, zwiększenia kruchości mięsa oraz tworzenia przestrzeni ułatwiających zatrzymywanie wody. Jednocześnie może dochodzić do utleniania białek, co ogranicza aktywność niektórych enzymów, wpływając na dalszy przebieg dojrzewania. W związku z tym w zależności od warunków dojrzewania, mięso może charakteryzować się zarówno zwiększoną, jak i obniżoną zdolnością zatrzymywania wody (Hughes i in., 2014; Farouk i in., 2012). Znajomość tych zmian umożliwia sterowanie jakością surowca. Prawidłowy przebieg procesów poubojowych jest niezbędny do uzyskania mięsa o odpowiedniej jakości, w tym optymalnej wodochłonności. Zaburzenie przebiegu stężenia pośmiertnego, szczególnie zbyt szybki lub zbyt wolny spadek pH są zjawiskami bardzo niekorzystnymi, prowadzącymi do powstania mięsa PSE (jasnego,

miękkiego, wodnistego) lub DFD (ciemnego, twardego, suchego), które cechują się pogorszonymi walorami sensorycznymi, w tym gorszą soczystością i teksturą.

Wodochłonność mięsa jest szczególnie istotna w kontekście obróbki kulinarnej, ponieważ wpływa bezpośrednio na trwałość, barwę, teksturę oraz soczystość produktu (Hughes i in., 2014). Ostatni z wymienionych czynników, czyli soczystość, ma kluczowe znaczenie dla satysfakcji konsumenta. Zdolność do utrzymania soku mięsnego w produkcie ogranicza także straty masy surowca i wyrobu końcowego podczas przechowywania oraz obróbki cieplnej. Straty te wynikają głównie z odparowania wody z powierzchni mięsa oraz z wycieków (Devi, Rasane, Kaur, Singh, 2019). Pierwszy z nich występuje podczas przechowywania mięsa w nieodpowiednich warunkach, zwłaszcza przy zbyt niskiej wilgotności powietrza. Różnica zawartości wody między mięsem a otoczeniem powoduje jej odparowanie, co prowadzi do strat jakościowych surowca. Z kolei drugi rodzaj strat można klasyfikować w zależności od momentu jego wystąpienia.

Zdefiniowano następujące rodzaje wycieków:

- **Wyciek swobodny** – powstaje w wyniku naturalnego uwalniania soku mięsnego oraz wody dodanej podczas procesów technologicznych. Występuje podczas przechowywania mięsa i jest spowodowany oddziaływaniem siły grawitacji oraz postępujących procesów enzymatycznych związanych z przemianami białek mięśniowych (Devi i in., 2019; Zhu i in., 2017).
- **Wyciek wymuszony** – wyciek powstający w wyniku działania sił zewnętrznych, takich jak nacisk. Jest mierzony podczas oznaczania zawartości wody wolnej.
- **Wyciek termiczny** – występuje podczas obróbki cieplnej mięsa. Ze względu na temperaturę obróbki termicznej w produktach mięsnych zachodzą nieodwracalne zmiany, w tym denaturacja białek, prowadząca do utworzenia trwałej struktury zamykającej wodę i tłuszcz. W wyniku denaturacji białka mięśniowe tracą zdolność wiązania wody, co skutkuje jej uwolnieniem (Ayub, Ahmad, 2019; Zielbauer, Franz, Viezens, Vilgis, 2016; Devi i in., 2019).
- **Wyciek rozmrażalniczy** – pojawia się podczas rozmrażania mięsa. Zastosowanie temperatur poniżej punktu zamarzania powoduje przejście wody w stan stały i wzrost jej objętości. Tworzące się kryształki lodu uszkadzają struktury kapilarne mięsa, co osłabia jego zdolność do wiązania wody po rozmrożeniu (Marchel, Żmijewska, Cierach, Malczyk, 2013; Zhang, Ertbjerg, 2019; Devi i in., 2019).

Utrata wody i soku mięsnego podczas obróbki lub przechowywania wpływa negatywnie na jakość sensoryczną wyrobów, wydajność produkcji oraz aspekty ekonomiczne. Jakość produktów w dużym stopniu zależy od jakości surowca. Występowanie wad mięsa, wynikających z nieprawidłowego transportu zwierząt rzeźnych, braku zapewnienia

odpowiednich warunków dla nich w ubojni, niewłaściwego przebiegu uboju lub błędów w postępowaniu poubojowym, przekłada się na uzyskiwanie produktów o niższej jakości. W zależności od rodzaju zmian mięso wadliwe może charakteryzować się zmienioną barwą (zbyt jasną lub zbyt ciemną), konsystencją (miękką lub twardą), wartością pH (kwaśne) oraz teksturą (wodnistą lub suchą). Takie zmiany negatywnie wpływają na przydatność technologiczną surowca oraz na jego właściwości fizykochemiczne (Kissel, Soares, Rossa, Shimokomaki, 2009; Dong i in., 2020a).

Zmiana składu surowcowego wpływa również na wyróżniki jakościowe produktów mięsnych. Dotyczy to m.in. produktów typu „light”, o zredukowanej ilości tłuszczu. Tłuszcz mięsny charakteryzuje się wysoką zawartością nasyconych kwasów tłuszczowych oraz cholesterolu, co sprawia, że produkty mięsne często nie są postrzegane jako żywność zdrowa lub dietetyczna. Regularne spożywanie wyrobów bogatych w tłuszcz mięsny może prowadzić do rozwoju chorób dietozależnych, takich jak otyłość i choroby układu krążenia. Zwiększone stężenie cholesterolu w surowicy krwi powoduje nadmierne obciążenie naczyń krwionośnych, co w konsekwencji prowadzi do poważnych problemów zdrowotnych (Verma, Chatli, Kumar, Kumar, Mehta, 2015; Yilmaz, Vural, Yadigari, 2017; Sarteshnizi, Hosseini, Khaneghah, Karim, 2015; Osman i in., 2022). Obecność tłuszczu zwierzęcego w produktach mięsnych, powiązana ze zwiększonym ryzykiem chorób cywilizacyjnych, stoi w sprzeczności ze współczesnymi trendami żywieniowymi ukierunkowanymi na ograniczanie negatywnego wpływu żywności na zdrowie człowieka (Yilmaz i in., 2017; Sarteshnizi i in., 2015). Jednocześnie tłuszcz pełni wiele istotnych funkcji technologicznych i sensorycznych w wyrobach mięsnych, wpływając na smarowność, soczystość, teksturę oraz będąc nośnikiem smaku (Limberger i in., 2011; Yilmaz i in., 2017; Verma i in., 2015; Sarteshnizi i in., 2015; Osman i in., 2022). Usunięcie części tłuszczu z produktów mięsnych niekorzystnie wpływa na ich cechy sensoryczne – obniża soczystość, pogarsza barwę oraz sprzyja powstawaniu gumowatej i zbitej struktury (Verma i in., 2015; Yilmaz i in., 2017).

Podczas produkcji wyrobów mięsnych stosuje się wiele związków mających na celu wzbogacenie smaku i aromatu, poprawę tekstury oraz zapewnienie trwałości mikrobiologicznej produktów. Do najczęściej stosowanych dodatków należą przyprawy i substancje dodatkowe, takie jak chlorek sodu (NaCl), stabilizatory emulsji, np. trifosforan sodu ($\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$), a także konserwanty, przeciwutleniacze oraz regulatory kwasowości. Sól pełni w produktach mięsnych szereg funkcji, w tym nadawanie oraz poprawianie smaku, działanie konserwujące (poprzez ograniczenie aktywności wodnej), poprawę tekstury, wiązanie struktury mięsa oraz zwiększenie zdolności do zatrzymywania wody (Cruz-Romero, O'Flynn, Troy, Mullen, Kerry,

2022; Grossi, Søtoft-Jensen, Knudsen, Christensen, Orlén, 2012). Nadmierne spożycie chlorku sodu ma jednak negatywny wpływ na zdrowie, zwłaszcza na układ sercowo-naczyniowy, i może prowadzić do rozwoju nadciśnienia tętniczego (Grossi i in., 2012; Araya-Quesada i in., 2020). Wysoka podaż sodu pochodzi nie tylko z soli, ale również z innych dodatków funkcjonalnych obecnych w produktach mięsnych, takich jak glutaminian sodu, fosforany sodu, azotany i azotyny sodu, mleczany sodu oraz izoaskorbiniany sodu (Araya-Quesada i in., 2020). Fosforany, takie jak trifosforan sodu są szeroko stosowane w przemyśle mięsnym ze względu na swoje właściwości wiążące wodę, przeciwutleniające, antymikrobiologiczne oraz buforujące. Połączenie fosforanów z chlorkiem sodu poprawia funkcjonalność białek mięsniowych, co czyni je istotnym składnikiem technologii produkcji niskotłuszczowych wyrobów mięsnych (Petracci, Bianchi, Mudalal, Cavani, 2013). Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008, ilość fosforanów dodawanych do produktów mięsnych poddanych obróbce termicznej jest ograniczona do 5000 mg/kg, wyrażonych jako P_2O_5 (Rozporządzenie UE 1333/2008). Jednak niektóre badania sugerują, że fosforany mogą ograniczać przyswajanie wapnia, żelaza oraz innych jonów metali poprzez tworzenie nierozpuszczalnych soli, co może zwiększać ryzyko występowania chorób układu kostnego. Dodatkowo określenie „fosforany” jest często odbierane negatywnie przez konsumentów, co związane jest z trendem ograniczania stosowania dodatków do żywności (tzw. „clean label”) (Petracci i in., 2013; Resconi i in., 2016a). Ze względu na potencjalny negatywny wpływ niektórych dodatków na zdrowie oraz rosnące zainteresowanie konsumentów produktami o uproszczonym składzie, ograniczenie ich stosowania w przetwórstwie żywności wydaje się pożądane. Badania naukowe sugerują, że zastosowanie skrobi może umożliwić redukcję dodatku chlorku sodu oraz fosforanów w produktach mięsnych (Resconi i in., 2016b; Cruz-Romero i in., 2022; Grossi i in., 2012).

Wśród wielu hydrokoloidów opisanych w literaturze, skrobie należą do najczęściej stosowanych w produkcji przetworów mięsnych. Ich zastosowanie korzystnie wpływa na jakość produktów, w szczególności poprzez poprawę wodochłonności, barwy oraz tekstury, która jest jednym z kluczowych czynników decydujących o walorach sensorycznych żywności. Tekstura żywności jest złożonym parametrem, determinowanym przez kształt, strukturę, skład chemiczny oraz właściwości fizyczne produktu, oceniane przez konsumenta za pomocą receptorów dotykowych, wzrokowych i słuchowych (Marzec, 2007; Chandra, Shamasundar, 2015; Dolik, Kubiak, 2013; Nwosisi, Nandwani, Ravi, 2019). Metody sensoryczne stosowane do oceny tekstury pozwalają na ocenę wszystkich wyróżników składających się na teksturę. Jednak są czasochłonne i wymagające doświadczenia zespołu oceniającego. Stąd często

korzysta się z metod instrumentalnych wykorzystujących specjalistyczną aparaturę do pomiaru sił mechanicznych, takich jak ściskanie, cięcie lub rozciąganie. Wyniki tych testów umożliwiają obliczenie składowych tekstury ocenianych metodami sensorycznymi, takich jak twardość, łamliwość, kohezynność, adhezyjność, gumowatość, żujność, sprężystość oraz ciągliwość (Niedźwiedź, Ostoja, Cierach, 2013; Chandra, Shamasundar, 2015; Nwosisi i in., 2019).

Pozytywny wpływ dodatku skrobi na cechy jakościowe wyrobów mięsnych potwierdzają wyniki badań przeprowadzonych przez wielu naukowców (Babic i in., 2013; Resconi i in., 2016b; Lee, Chin, 2019; Chatterjee, Brambila, Bowker, Zhuang, 2019; Jairath, Sharma, Dabur, Singh, Bishnoi, 2017; Limberger i in., 2011; Verma i in., 2015; Garcia-Santos, Conceição, Villas Boas, Salotti de Souza, da Silva Barretto, 2019; Sarteshnizi i in., 2015; Park, Lee, Lim, Jeon, Yoon, 2021). Chatterjee i in. (2019) zastosowali w swoich badaniach dodatek skrobi z tapioki w stężeniach 1, 2, 3 oraz 4% (m/m) do otrzymania kotletów mielonych z mięsa drobiowego. Wykazali, że dodatek ten powodował obniżenie wartości pH, twardości, znaczną redukcję wycieku termicznego, a także zwiększenie zdolności do zatrzymywania wody oraz poprawę jasności badanego materiału. Dodatek skrobi nie wpływał istotnie na smak i aromat, jednak poprawiał teksturę produktu. Optymalnym stężeniem okazało się 2% (m/m), które najkorzystniej wpływało na właściwości fizykochemiczne oraz jakość sensoryczną kotletów drobiowych. Park i in. (2021) stwierdzili, że dodatek skrobi kukurydzianej lub skrobi z komosy ryżowej do pulpetów drobiowych znacząco zmniejszał wycieki termiczne i rozmrażalnicze po pięciu cyklach zamrażania i rozmrażania, a także wycieki po ich odgrzewaniu. Skrobia z komosy ryżowej wykazywała lepszą zdolność do zatrzymywania wody niż skrobia kukurydziana, choć różnice te nie zawsze były statystycznie istotne. Dodatek obu skrobi poprawiał teksturę pulpetów poprzez zmniejszenie twardości i zwiększenie sprężystości. Produkty z dodatkiem skrobi charakteryzowały się również wyższym parametrem L^* , który wzrastał po każdym cyklu zamrażania–rozmrażania. Skrobia z komosy ryżowej dodatkowo zapewniała większą stabilność barwy. Analiza sensoryczna potwierdziła, że pulpety z dodatkiem skrobi były lepiej ocenione w porównaniu do próby odniesienia (Park i in., 2021). Jairath i in. (2017) badali wpływ dodatku skrobi kukurydzianej (3%, 6% i 9%) na jakość odtuszczonych kielbas z cielęciny bawolej. W badaniu porównywano próby zawierające różne ilości skrobi z próbą kontrolną, w której stosowano 20% oleju roślinnego. Zastąpienie 20% oleju roślinnego dodatkiem 3% lub 6% skrobi kukurydzianej znacząco zwiększało zdolność do zatrzymywania wody oraz stabilność emulsji mięsnej. Dodatek 9% skrobi nie powodował istotnych zmian w porównaniu z 6% dodatkiem. W ocenie sensorycznej kielbasy odtłuszczone zyskały wyższe noty punktowe w zakresie barwy, aromatu, tekstury, soczystości i ogólnej

akceptowalności w porównaniu do próby kontrolnej. Zwiększenie dodatku skrobi z 3% do 6% skutkowało istotną statystycznie poprawą soczystości i ogólnej akceptacji, natomiast dalszy wzrost do 9% nie przynosił dodatkowych korzyści. Za najbardziej korzystny uznano dodatek 6% skrobi, co przełożyło się na wyraźnie wyższą wydajność kielbas - z około 75% (próba kontrolna) do około 100%. Parametry tekstury nie ulegały istotnym zmianom, jednak wszystkie oceniane cechy sensoryczne otrzymały wyższe noty niż próba kontrolna (Jairath i in., 2017).

Zmiany zachodzące na różnych etapach przetwarzania surowców mięsnych często wiążą się ze stratami ekonomicznymi przedsiębiorstw, wynikającymi m.in. ze zmniejszenia wydajności spowodowanej ubytkami wody. Wiele z tych zmian prowadzi również do pogorszenia jakości żywności, w tym parametrów tekstury oraz cech sensorycznych. Aby poprawić jakość, ograniczając jednocześnie negatywne skutki zabiegów technologicznych lub zmiany składu surowcowego produktów, stale poszukuje się nowych rozwiązań. Dotyczą one zarówno modyfikacji parametrów procesu produkcji, jak również stosowanych dodatków funkcjonalnych. W panujące prozdrowotne trendy dotyczące ograniczenia spożywania tłuszczów zwierzęcych czy sodu wpisują się badania dotyczące zastosowania skrobi w przetworach mięsnych.

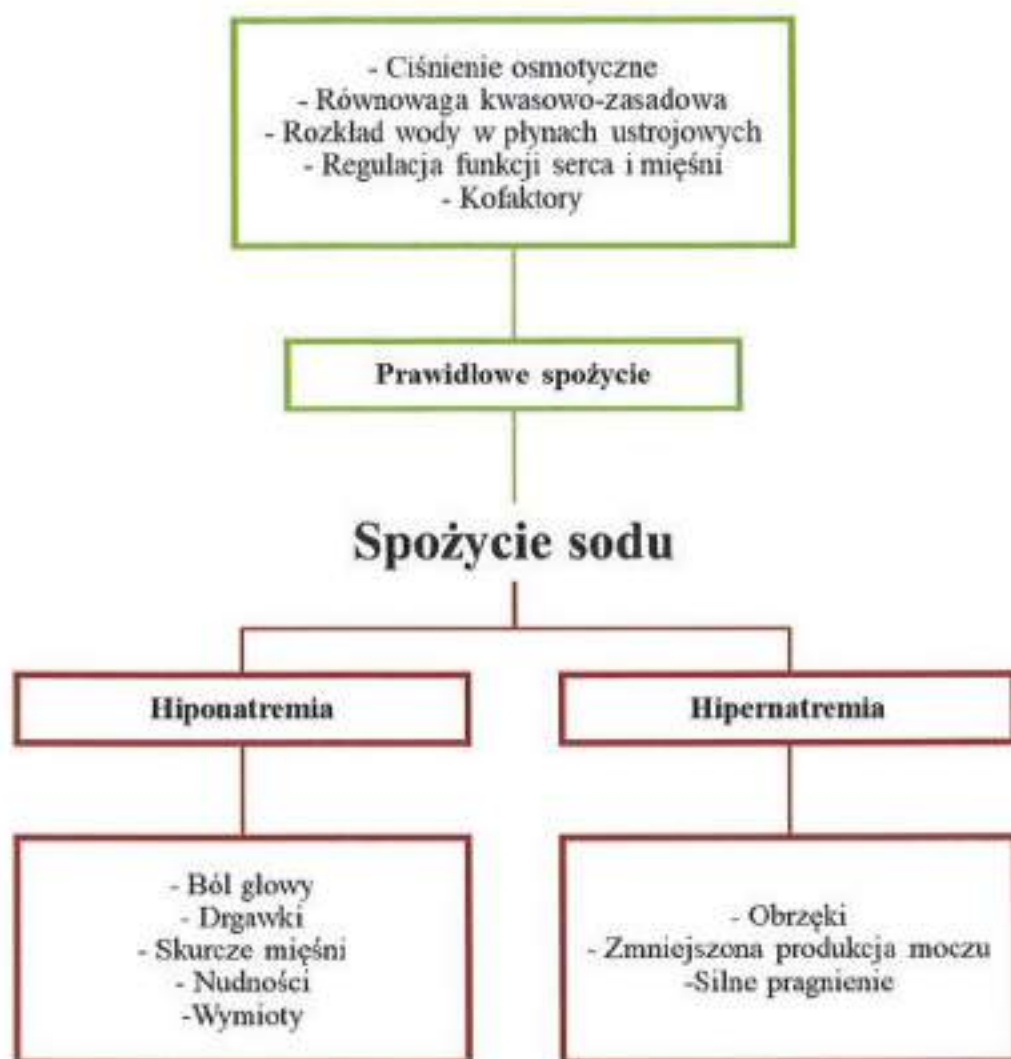
1.5. Aspekty zdrowotne ograniczania soli w przetworach mięsnych

1.5.1. Wpływ spożycia soli na zdrowie publiczne

Sól kuchenna (chlorek sodu) jest podstawowym dodatkiem przyprawowym stosowanym w gospodarstwach domowych, gastronomii oraz w przemyśle spożywczym. Odpowiada nie tylko za nadawanie żywności słonego smaku, ale także za wzmacnianie smaku produktów i poprawę ich cech sensorycznych. W przypadku produktów mięsnych chlorek sodu przyczynia się do utrzymania odpowiedniej soczystości i tekstury, co jest bezpośrednio związane z rozpuszczaniem białek miofibrylarnych. Oprócz wpływu na właściwości sensoryczne produktów spożywczych sól odgrywa również istotną rolę w zapewnieniu trwałości żywności. Jej zdolność do hamowania rozwoju mikroorganizmów jest wykorzystywana od wieków, choć w niektórych przypadkach przed spożyciem wymaga wcześniejszego odsalania. Należy podkreślić, że obok istotnego wpływu soli kuchennej na jakość żywności, dostarczany wraz z nią sód pełni ważną rolę w utrzymaniu prawidłowych funkcji organizmu człowieka.

Sód i potas to pierwiastki niezbędne do utrzymania prawidłowej homeostazy komórkowej oraz kluczowe dla przebiegu wielu procesów metabolicznych. Odpowiadają one za utrzymanie prawidłowego ciśnienia osmotycznego, równowagi kwasowo-zasadowej (pH), rozmieszczenia wody w płynach ustrojowych, a także regulują funkcje serca i mięśni. Są również zaangażowane w reakcje utleniania i redukcji oraz uczestniczą w katalizie enzymatycznej jako kofaktory (Pohl, Wheeler, Murray, 2013). W związku z pełnieniem licznych funkcji w organizmie prawidłowa podaż sodu jest kluczowa dla zachowania zdrowia i życia (Rys. 10). Zarówno nadmiar (hipernatremia), jak i jego niedobór (hiponatremia) wiążą się z występowaniem poważnych objawów klinicznych. Hipernatremia objawia się przede wszystkim obrzękami, wynikającymi z zatrzymania płynów w organizmie, zmniejszoną produkcją moczu oraz nasilonym uczuciem pragnienia. Natomiast hiponatremia manifestuje się bólem głowy, drgawkami, skurczami mięśni, nudnościami i wymiotami (Pohl i in., 2013). Niedobór sodu jest klinicznie bardzo rzadki. Do sytuacji sprzyjających wystąpieniu hiponatremii zalicza się: nadmierne pocenie się, rozległe oparzenia, przewlekłą biegunkę, niekontrolowane wymioty, nadmierne stosowanie leków moczopędnych, systematyczne płukanie żołądka, choroby nerek prowadzące do utraty sodu oraz ciężką niewydolność nadnerczy (Strazzullo, Abate, 2025). Minimalny poziom spożycia sodu niezbędny do prawidłowego funkcjonowania organizmu jest bardzo niski. Ze względu na trudności w jego jednoznacznym określeniu większość światowych organizacji zajmujących się ustalaniem

norm żywienia nie definiuje go precyzyjnie. Ustalane są natomiast wartości takie jak AI (adequate intake), SDT (suggested dietary target) oraz DRV (derived dietary reference values), odpowiednie dla różnych grup wiekowych i zdrowej populacji. Wartości AI przyjęte przez większość krajowych organizacji mieszczą się w zakresie od 0,5 do 2 g/dobę spożycia sodu, co odpowiada spożyciu 1,25–5 g/dobę chlorku sodu. W Stanach Zjednoczonych Narodowa Akademia Nauki, Inżynierii i Medycyny (National Academy of Science, Engineering and Medicine) określiła wartość AI na poziomie 1,5 g/dobę sodu (3,75 g/dobę chlorku sodu) oraz 2,3 g/dobę sodu (5,8 g/dobę chlorku sodu) jako wartość zmniejszającą ryzyko rozwoju chorób przewlekłych (National Academy of Science, Engineering and Medicine, 2019). Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (European Food Safety Authority – EFSA) oraz Światowa Organizacja Zdrowia (World Health Organization – WHO) zalecają spożycie sodu na poziomie 2 g/dobę (5 g/dobę chlorku sodu) (EFSA 2019; WHO 2012). Powyższe wartości odnoszą się do zdrowej, dorosłej populacji, w tym kobiet w ciąży i karmiących. W przypadku dzieci i młodzieży są one odpowiednio niższe, proporcjonalnie do ich zapotrzebowania energetycznego. Zgodnie z normami żywienia dla populacji Polski, ustalonymi w grudniu 2024 roku, wystarczające spożycie sodu określono na poziomie 1500 mg/dobę (Stoś i in., 2024), a referencyjną wartość spożycia (RWS) dla soli kuchennej na poziomie 6 g/dobę (Przygoda, 2024). W przeciwieństwie do niedoboru, nadmierna podaż sodu jest zjawiskiem znacznie częstszym. Według danych Instytutu Pomiarów i Oceny Stanu Zdrowia (Institute of Health Metrics and Evaluation), w 2021 roku dieta bogata w sód była odpowiedzialna za 1,86 miliona zgonów (w tym 1,15 miliona wśród mężczyzn) oraz za 41,3 miliona lat życia skorygowanych niesprawnością (DALYs - Disability-Adjusted Life Years; 95% UI: 9,30–91,5 mln), będąc drugą najważniejszą przyczyną DALYs na świecie (Institute of Health Metrics and Evaluation, 2021). W odpowiedzi na problem nadmiernego spożycia sodu WHO opracowała Globalny Plan Prewencji i Kontroli Chorób Niezakaźnych na lata 2013–2020, którego jednym z celów było zmniejszenie spożycia sodu/soli w populacji o 30% (WHO, 2013). Według danych WHO z 2023 roku nadmierna podaż sodu nadal stanowi istotny problem zdrowotny w wielu krajach. W Polsce średnie spożycie soli wynosiło 11,1 g/dobę, co niemal dwukrotnie przekraczało zalecaną referencyjną wartość spożycia (RWS) (WHO, 2023).



Rysunek 10. Wpływ spożycia sodu na organizm człowieka (Pohl i in., 2013)

Główne źródła sodu w diecie różnią się w zależności od stopnia rozwoju gospodarczego danego kraju. W państwach uprzemysłowionych około 75–80% sodu w diecie pochodzi z żywności przetworzonej, 5–10% z sodu naturalnie występującego w żywności, a pozostałe 10–15% z soli dodawanej podczas przygotowywania lub przyprawiania potraw. W krajach rozwijających się znacznie większy udział sodu w diecie pochodzi z soli dodawanej do potraw w trakcie gotowania lub spożywania. W niektórych państwach, takich jak Chiny, może ona stanowić nawet 76% dziennego spożycia sodu (Kloss, Meyer, Graeve, Vetter, 2015; Bhat i in., 2020; Inguglia, Zhang, Tiwari, Kerry, Burgess, 2017). W krajach europejskich głównymi źródłami soli w diecie są: pieczywo, produkty zbożowe (w tym płatki śniadaniowe), wyroby piekarnicze, mięso i jego przetwory oraz sery i inne produkty mleczne. Struktura podaży soli jest jednak zróżnicowana w poszczególnych regionach Europy. W krajach Europy Wschodniej

- szczególnie w Polsce, Czechach i Rumunii głównymi źródłami sodu w diecie są produkty zbożowe oraz mięso i jego przetwory. Jednocześnie to sól dodawana podczas gotowania stanowi największy udział w całkowitym spożyciu soli (Kloss i in., 2015; Bhat i in., 2020). Szacuje się, że ilość soli dostarczanej z produktów mięsnych wynosi nawet 20% całkowitego spożycia (Inguglia i in., 2017). Naturalnie występujące w mięsie ilości sodu są stosunkowo niskie i zależą od gatunku mięsa. Przykładowo w wieprzowinie wynoszą one około 70 mg/100 g mięsa, co odpowiada 0,18 g soli na 100 g produktu. Ilość soli dodawanej podczas przetwarzania mięsa zależy głównie od rodzaju wyrobu: w przypadku kielbas wynosi 1,5–2,7 g/100 g, natomiast w bekonie może sięgać nawet 3,9 g/100 g (Inguglia i in., 2017). Różnice w zawartości soli w poszczególnych produktach i krajach odzwierciedlają lokalne tradycje kulinarne, zwyczaje żywieniowe oraz preferencje smakowe danej populacji. Większość wymienionych produktów to żywność spożywana codziennie lub prawie codziennie w krajach rozwiniętych. W krajach rozwijających się wzrost zamożności społeczeństwa prowadzi do wzrostu popytu na produkty pochodzenia zwierzęcego, a hodowla zwierząt staje się najszybciej rozwijającym się podsektorem rolnictwa (Menyanu, Russell, Charlton, 2019). Zgodnie z danymi GUS, w Polsce spożycie mięsa i podrobów w przeliczeniu na jednego mieszkańca wykazuje w ostatnich latach pewne wahania. W latach 2010–2022 (z wyjątkiem roku 2021) obserwowano wzrost spożycia mięsa i podrobów z 73,7 kg na mieszkańca do 79,2 kg na mieszkańca. W 2023 roku wartość ta wyniosła 77,8 kg na mieszkańca. Z kolei w przypadku wędlin i innych przetworów mięsnych od 2010 roku utrzymuje się tendencja spadkowa – z 2,37 kg na osobę miesięcznie w gospodarstwach domowych do 1,83 kg w 2023 roku (z niewielkim wzrostem w 2022 roku) (GUS, 2024).

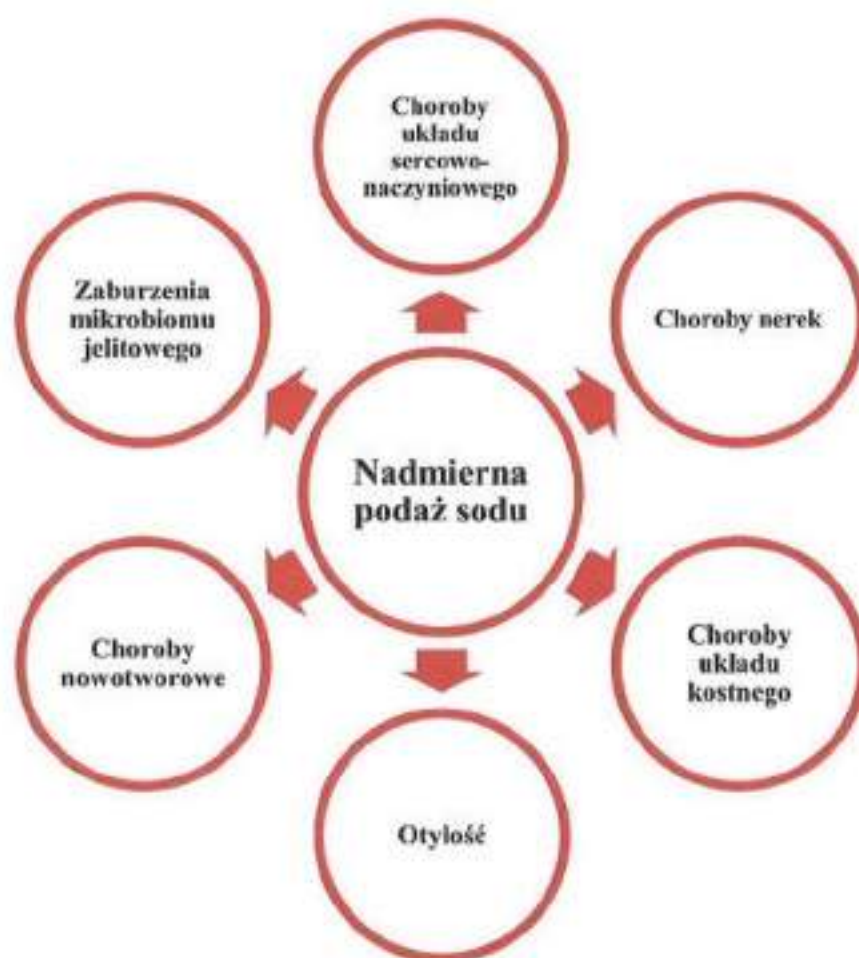
Rosnące międzynarodowe zainteresowanie problemem nadmiernej podaży sodu (soli) w diecie człowieka doprowadziło do opracowania strategii oraz metod mających na celu ograniczenie ilości soli dodawanej do produktów spożywczych. Obejmują one zarówno modyfikację składu i/lub technologii przetwarzania produktów, jak i rządowe programy redukcji soli, programy edukacyjne oraz kampanie społeczne (Inguglia i in., 2017; Ghimire i in., 2021). Jedną z rządowych strategii, która przynosi korzystne rezultaty, jest stopniowa, systematyczna redukcja dodatku chlorku sodu do produktów przetworzonych. Z powodzeniem wdrożono ją w Wielkiej Brytanii, gdzie w ciągu trzech lat stężenie sodu w wielu przetworzonych produktach spożywczych zostało zmniejszone o 20–30%. Dzięki stopniowej redukcji zmiana słoności była niezauważalna dla konsumentów, co nie wpłynęło na poziom akceptacji sensorycznej żywności. Głównymi problemami związanymi z wdrażaniem tej strategii są czasochłonność procesu oraz konieczność jej realizacji na szeroką skalę w różnych

przedsiębiorstwach (Inguglia i in., 2017; Rios-Mera, Selani, Patinho, Saldaña, Contreras-Castillo, 2021). W Polsce działania ograniczające spożycie sodu realizowane przez Narodowe Centrum Edukacji Żywieniowej obejmują przede wszystkim zwiększenie świadomości społecznej na temat prawidłowych wzorców żywieniowych oraz negatywnego wpływu nadmiernej podaży sodu na zdrowie człowieka. Do najczęściej stosowanych metod redukcji zawartości sodu w żywności, wdrażanych przez przedsiębiorstwa produkcyjne oraz analizowanych w badaniach naukowych, należą:

- całkowite lub częściowe ograniczenie dodatku soli, z uwzględnieniem jakości sensorycznej i akceptowalności konsumenckiej,
- stosowanie soli niskosodowych,
- zastosowanie wzmacniaczy smaku,
- zmiana formy fizycznej soli (wielkość i kształt cząstek),
- modyfikacja tekstury żywności,
- nierównomierne rozmieszczenie soli w produkcie,
- poprawa dyfuzji soli poprzez zastosowanie nowoczesnych technologii, takich jak ultradźwięki lub wysokie ciśnienie (Inguglia i in., 2017; Yang i in., 2024; Wang i in., 2023; Rios-Mera i in., 2021).

1.5.2. Choroby dietozależne związane z nadmiernym spożyciem soli

Sód jest pierwiastkiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka, dlatego jego spożycie ma istotne znaczenie. Jednak poza hipernatremią, będącą bezpośrednim skutkiem nadmiernej podaży, długotrwałe spożywanie zbyt dużych ilości sodu (soli) może prowadzić do szeregu problemów zdrowotnych (Rys. 11).



Rysunek 11. Wykaz chorób dietozależnych związanych z nadmiernym spożyciem sodu (O'Donnell i in., 2020; Humalda, Navis, 2014; Teucher i in., 2009; Lee i in., 2023a; Wu i in., 2022; Hamad i in., 2022)

Nadmierna podaż sodu jest jednym z czynników wpływających na wzrost ciśnienia tętniczego i może prowadzić do rozwoju nadciśnienia, będącego jednym z głównych czynników ryzyka chorób układu krążenia oraz zawału serca (Perez, Chang, 2014; O'Donnell i in., 2020). Szacuje się, że ryzyko wystąpienia nadciśnienia tętniczego w dorosłej populacji przekracza 90% (Adrogué, Madias, 2014). Rozwój nadciśnienia spowodowanego nadmierną podażą sodu jest ściśle związany z wrażliwością organizmu na sód oraz stanem zdrowia nerek i układu krążenia. Niezależnie od tego, zwiększona podaż sodu pozostaje istotnym czynnikiem ryzyka, a ograniczenie jego spożycia prowadzi do obniżenia ciśnienia tętniczego zarówno u osób z nadciśnieniem, jak i u osób z prawidłowym ciśnieniem krwi. Skuteczność tego efektu zależy jednak od wyjściowego poziomu spożycia sodu i może być mniej wyraźna u osób, których spożycie mieściło się w granicach normy (He, MacGregor, 2018; O'Donnell i in., 2020; Kong, Baqar, Jerums, Ekinci, 2016). Zgodnie z metaanalizą Wang, Yeh, Shih, Tu, Chien

(2020b), dieta wysokosodowa zwiększa ryzyko rozwoju chorób układu krążenia o 19% w porównaniu z dietą niskosodową. Dodatkowo, długotrwałe nadmierne spożycie soli może prowadzić do obciążenia hemodynamicznego, zmian w oporze naczyniowym oraz szeregu niekorzystnych zjawisk, takich jak zapalenie śródbłonna mikronaczyniowego, przebudowa anatomiczna układu krążenia czy zaburzenia funkcji naczyń - nawet u osób z prawidłowym ciśnieniem tętniczym. Wpływ ten dotyczy zarówno małych tętnic oporowych, jak i funkcji oraz struktury dużych tętnic elastycznych (Grillo, Salvi, Coruzzi, Salvi, Parati, 2019; Adrogué, Madias, 2014).

Wraz z wiekiem wzrasta ryzyko wystąpienia przewlekłej choroby nerek (PChN). Szacuje się, że jej globalna częstość występowania wynosi od 8% do 16% i zwiększa się w związku z obecnością chorób współistniejących, takich jak nadciśnienie tętnicze, niewydolność serca czy zaburzenia gospodarki mineralno-kostnej. Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest nadmierna podaż sodu (Humalda, Navis, 2014; Nerbass, Calice-Silva, Pecoits-Filho, 2018). W przypadku cukrzycowej choroby nerek ryzyko rozwoju przewlekłej niewydolności nerek może wynosić od 17% do nawet 75% w ciągu czterech lat (Bernhardt i in., 2023). Zbyt wysokie spożycie sodu wpływa również na występowanie białkomoczu. Badania Bernhardt i in. (2023) przeprowadzone na myszach nie wykazujących nadciśnienia, wykazały, że dieta wysokosodowa sprzyja rozwojowi stanu zapalnego nerek oraz ich włóknienia. Analiza ekspresji genów związanych z odpowiedzią immunologiczną potwierdziła obecność nasilonego procesu zapalnego, który narastał wraz z czasem trwania diety bogatej w sól. W zaawansowanej postaci PChN wysokie stężenie sodu może prowadzić także do miejscowych stanów zapalnych i proliferacji naczyń w obrębie tkanki otrzewnowej, serca i naczyń krwionośnych (Borrelli i in., 2020; Nerbass i in., 2018).

Osteoporoza jest jedną z najczęstszych chorób kości, szczególnie często występującą u kobiet, przy czym ryzyko jej rozwoju znacząco wzrasta po menopauzie. Choroba ta charakteryzuje się obniżoną gęstością mineralną kości oraz mikro ubytkami prowadzącymi do zaburzeń strukturalnych, które zwiększają ryzyko ich kruchości i złamań. Wśród czynników wpływających na ryzyko osteoporozy wymienia się w szczególności dietę oraz poziom aktywności fizycznej. Sód, jako jeden z pierwiastków obecnych w kościach, odgrywa istotną rolę w ich prawidłowym wzroście i odbudowie. Jednak, jak wskazują badania naukowe, jego nadmierna podaż może działać niekorzystnie, sprzyjając rozwojowi osteoporozy. Zjawisko to wiąże się z wpływem sodu na metabolizm wapnia: jego nadmiar może prowadzić do wzrostu współczynnika przesączania kłębuszkowego (GFR - glomerular filtration rate) oraz ograniczenia wchłaniania zwrotnego wapnia z moczu. W konsekwencji dochodzi do

zwiększenia resorpcji wapnia z kości, celem utrzymania prawidłowego poziomu tego pierwiastka we krwi (Hong, Choi, Park, Lee, 2022; Teucher i in., 2009; Fatahi, Namazi, Larijani, Azadbakht, 2018; Muñoz-Garach, García-Fontana, Muñoz-Torres, 2020; Ilić, Obradović, Vujasinović-Stupar, 2013; Kim, Kim, Kim, 2017).

Nadmierna podaż soli z żywnością stanowi czynnik zwiększający ryzyko rozwoju otyłości. Jednym z jej skutków jest nasilone pragnienie, które prowadzi do zwiększenia objętości przyjmowanych płynów, w tym również słodzonych napojów. Sól w dużych ilościach występuje ponadto w żywności przetworzonej, która często jest jednocześnie bogatym źródłem tłuszczów nasyconych oraz charakteryzuje się wysoką wartością energetyczną. Aktualny stan wiedzy sugeruje również możliwość istnienia bezpośredniego (niezależnego od ilości pobranej energii) związku między spożyciem soli a ryzykiem rozwoju otyłości, choć mechanizm tego zjawiska nie został jeszcze w pełni poznany. Wśród potencjalnych mechanizmów wymienia się bezpośredni wpływ sodu na metabolizm tkanki tłuszczowej. Badania eksperymentalne na myszach, badania epidemiologiczne oraz metaanalizy wykazały, że zwiększone spożycie soli sprzyja nagromadzeniu podskórnej tkanki tłuszczowej, czemu często towarzyszył wzrost poziomu leptyny (Ma, He, MacGregor, 2015; Lee i in., 2023a; Moosavian, Haghighatdoost, Surkan, Azadbakht, 2016; Kim i in., 2015). Prawdopodobnie zjawisko to jest związane z aktywacją szlaku reduktazy aldozowej-fruktokinazy (znanego również jako szlak reduktazy aldozowej-dehydrogenazy sorbitolowej), prowadzącą do produkcji endogennej fruktozy i rozwoju leptynooporności (Lanaspa i in., 2018). Zaburzenia hormonalne, takie jak leptynooporność i insulinooporność, a także towarzyszące im nieprawidłowości w metabolizmie tłuszczów i glukozy, mogą być konsekwencją nadmiernego spożycia sodu. Prowadzi to do zwiększenia masy ciała i podwyższenia ciśnienia tętniczego, co sprzyja rozwojowi zespołu metabolicznego (Soltani, Mohammadi, Shab-Bidar, Vafa, Salehi-Abargouei, 2017; Afsar, Afsar, Mowaffaq, Maddukuri, Lentine, 2025; Takase i in., 2022; Takase i in., 2020).

Choroby nowotworowe należą do najpoważniejszych problemów zdrowotnych współczesnego świata. Na rozwój poszczególnych nowotworów wpływa wiele czynników, spośród których do najważniejszych zalicza się: predyspozycje genetyczne, dietę, styl życia, stan zdrowia, czynniki demograficzne oraz infekcje (Yusefi, Lankarani, Bastani, Radinmanesh, Kavosi, 2018). Badania nad etiologią wybranych nowotworów sugerują, że nadmierne spożycie soli (sodu) może być jednym z czynników zwiększających ryzyko ich wystąpienia (Wu i in., 2022; Kwak i in., 2021; Yusefi i in., 2018; Umesawa, Iso, Fujino, Kikuchi, Tamakoshi, 2016; Jiang i in., 2023; Morais i in., 2022; Ge i in., 2012; Wu i in., 2021). Dokładny mechanizm, za

pośrednictwem którego sód może sprzyjać rozwojowi chorób nowotworowych, nie został dotychczas jednoznacznie poznany. W przypadku raka żołądka nadmierne spożycie soli może być powiązane z uszkodzeniem błony śluzowej żołądka (co sprzyja powstawaniu mutacji endogennych), przyspieszeniem metaplastacji jelitowej oraz zwiększoną podatnością na infekcję *Helicobacter pylori* – jednego z głównych czynników ryzyka rozwoju raka żołądka. Mechanizmy te mogą prowadzić do przewlekłego stanu zapalnego, wrzodów żołądka oraz zanikowego zapalenia błony śluzowej (Wu i in., 2022; Kwak i in., 2021; Song i in., 2017).

Mikrobiom jelitowy odgrywa kluczową rolę w utrzymaniu homeostazy organizmu oraz wpływa na wiele aspektów zdrowia człowieka, w tym odporność, metabolizm i funkcjonowanie układu nerwowego. Coraz więcej badań wskazuje jednak, że czynniki środowiskowe i dietetyczne, takie jak nadmierne spożycie soli, mogą zaburzać równowagę mikroflory jelitowej. Zmiany te mogą przyczyniać się do rozwoju chorób zapalnych, metabolicznych oraz autoimmunologicznych. Badania prowadzone na modelach zwierzęcych wykazały, że nadmierne spożycie soli wiąże się ze zmianami w liczebności niektórych szczepów bakterii zasiedlających przewód pokarmowy. W szczególności zaobserwowano spadek liczebności bakterii probiotycznych, takich jak *Lactobacillus* spp., co prowadzi do zaburzenia homeostazy immunologicznej, osłabienia odporności i może sprzyjać rozwojowi wielu innych schorzeń (Nova, Gómez-Martínez, González-Soltero, 2022; Bier i in., 2018; Hamad i in., 2022; Dong i in., 2020b; Wang, Lang, Liu, 2022). Mechanizm, za pośrednictwem którego spożycie soli wpływa na skład mikrobiomu, nie został jeszcze w pełni wyjaśniony. Jedną z proponowanych hipotez zakłada, że sód zwiększa aktywność wymiennika Na^+/H^+ , który pozostaje ściśle powiązany z równowagą mikrobiologiczną jelit i może prowadzić do zmian w składzie mikroflory (Wang i in., 2017).

Nadmierne spożycie sodu stanowi istotny czynnik ryzyka rozwoju wielu chorób przewlekłych, w tym nadciśnienia i innych schorzeń układu sercowo-naczyniowego, przewlekłej choroby nerek, osteoporozy, otyłości, niektórych nowotworów oraz zaburzeń mikrobiomu jelitowego. Wysoka podaż sodu przyczynia się do wzrostu ciśnienia tętniczego, niezależnie od wartości wyjściowych, co sprzyja rozwojowi nadciśnienia i zwiększa ryzyko incydentów sercowo-naczyniowych. Sód działa również niekorzystnie na funkcję nerek, nasilając stany zapalne i włóknienie, szczególnie u osób z chorobami współistniejącymi, takimi jak cukrzyca. Zaburzenia metabolizmu wapnia spowodowane nadmiernym spożyciem sodu mogą prowadzić do nasilonej resorpcji kostnej i rozwoju osteoporozy. Nadmierne spożycie soli sprzyja także rozwojowi otyłości – pośrednio, poprzez zwiększoną konsumpcję wysokokalorycznych napojów i żywności przetworzonej, oraz bezpośrednio, m.in. na skutek

rozwoju leptynoporności. Coraz więcej danych wskazuje również na związek między nadmiarem soli a zwiększonym ryzykiem niektórych nowotworów, szczególnie raka żołądka. Może to być związane z uszkodzeniem błony śluzowej żołądka i przewlekłym stanem zapalnym. Sód oddziałuje również na mikrobiom jelitowy - zmniejsza liczebność bakterii probiotycznych, zaburza homeostazę immunologiczną i może sprzyjać rozwojowi chorób zapalnych oraz metabolicznych. Wyniki badań jednoznacznie wskazują na potrzebę ograniczenia spożycia sodu jako istotnego elementu profilaktyki zdrowotnej w populacji ogólnej.

2. Cel, zakres pracy i hipotezy badawcze

Mięso i jego przetwory stanowią jedną z podstawowych grup produktów spożywczych w diecie człowieka. Są źródłem pełnowartościowego, łatwo przyswajalnego białka, witamin z grupy B oraz składników mineralnych. Niemniej jednak, tradycyjne przetwory mięsne charakteryzują się niekorzystnym profilem żywieniowym – szczególnie wysoką zawartością tłuszczów nasyconych i sodu. Nadmierne spożycie sodu uznawane jest za istotny czynnik ryzyka chorób dietozależnych, takich jak nadciśnienie tętnicze, choroby układu sercowo-naczyniowego, przewlekła choroba nerek, osteoporoza czy otyłość.

Wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia oraz wielu instytucji zajmujących się zdrowiem publicznym jednoznacznie wskazują na konieczność ograniczenia spożycia sodu w populacji ogólnej, m.in. poprzez reformulację produktów przetworzonych. Ograniczenie zawartości chlorku sodu w recepturach przetworów mięsnych wiąże się jednak z istotnymi wyzwaniami technologicznymi. Sól odpowiada nie tylko za nadanie pożądanego profilu sensorycznego, ale również wpływa na teksturę produktu oraz poprawia jego zdolność do wiązania wody. Zmniejszenie jej ilości prowadzi do pogorszenia jakości sensorycznej, obniżenia wydajności produkcji i zmiany cech teksturalnych, takich jak kruchość czy soczystość, co w dużej mierze wynika z większych ubytków wody.

W obliczu powyższych wyzwań rośnie zainteresowanie zastosowaniem dodatków funkcjonalnych, które mogłyby kompensować niekorzystne zmiany wynikające z redukcji sodu. Skrobie, jako jedne z najbardziej uniwersalnych dodatków teksturotwórczych, pełnią ważną rolę w kształtowaniu tekstury oraz zdolności wiązania wody w produktach mięsnych. Skrobie natywne, mimo swojego naturalnego pochodzenia, wykazują ograniczoną funkcjonalność technologiczną, związaną m.in. z retrogradacją i synerезą. Z tego względu coraz częściej stosuje się ich formy modyfikowane. Chemicznie modyfikowane skrobie budzą obawy konsumentów i nie wpisują się w aktualne trendy ograniczania chemizacji żywności. Z tego względu, poszukiwane są inne rozwiązania, w tym synergiczne połączenia skrobi natywnych z innymi naturalnymi składnikami, takimi jak hydrokoloidy roślinne – które mogą poprawić ich właściwości funkcjonalne. Dotychczasowe badania wskazują, że tego rodzaju mieszaniny skutecznie poprawiają właściwości kleików, jednak ich zastosowanie w przetworach mięsnych o obniżonej zawartości sodu pozostaje niewystarczająco poznane.

2.1. Cel pracy

Celem pracy była ocena wpływu mieszanin natywnej skrobi ziemniaczanej z wybranymi hydrokoloidami roślinnymi (gumą guar, gumą tara i gumą konjac) na jakość oraz możliwość redukcji zawartości chlorku sodu w modelowych przetworach mięsnych. Badania miały na celu określenie, czy zastosowanie takich połączeń pozwala na kształtowanie pożądanych właściwości technologicznych produktów mięsnych, a także może stanowić element strategii ograniczania ryzyka chorób dietozależnych związanych z nadmiernym spożyciem soli.

Cele szczegółowe:

1. Określenie wpływu hydrokoloidów roślinnych na właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne kleików z natywnej skrobi ziemniaczanej.
2. Określenie wpływu mieszanin skrobi ziemniaczanej i hydrokoloidów roślinnych na właściwości fizykochemiczne i technologiczne modelowych przetworów mięsnych, ze szczególnym uwzględnieniem tekstury, stabilności i zdolności wiązania wody.
3. Ocena możliwości redukcji zawartości soli w modelowych przetworach mięsnych poprzez zastosowanie mieszanin skrobi i hydrokoloidów roślinnych, z jednoczesnym zachowaniem jakości sensorycznej i technologicznej produktów.
4. Zbadanie stabilności przechowalniczej modelowych przetworów mięsnych z dodatkiem mieszanin skrobi ziemniaczanej i hydrokoloidów roślinnych, w tym ich wpływu na barwę, retencję wody oraz wydajność podczas przechowywania – zarówno w wariantach standardowych, jak i o obniżonej zawartości soli.

2.2. Zakres pracy

Zakres pracy obejmował trzy główne etapy badawcze:

1. **Charakterystyka składników i ich właściwości** – analiza skrobi ziemniaczanej oraz hydrokoloidów roślinnych (guma guar, tara, konjac) pod kątem ich składu chemicznego, właściwości reologicznych oraz zdolności do kleikowania i wiązania wody.
2. **Badania modelowych przetworów mięsnych** – przygotowanie i analiza właściwości technologicznych oraz sensorycznych modelowych przetworów mięsnych z dodatkiem wytypowanych mieszanin skrobi i hydrokoloidów.

3. **Badania nad redukcją chlorku sodu** – ocena wpływu zmniejszonej ilości soli na właściwości fizykochemiczne oraz akceptację sensoryczną modelowych przetworów mięsnych z dodatkiem wytypowanej mieszaniny skrobi i hydrokoloidu.

2.3. Hipotezy badawcze

1. Zastosowanie hydrokoloidów roślinnych korzystnie wpływa na wybrane właściwości kleików z natywnej skrobi ziemniaczanej.
2. Mieszaniny skrobi ziemniaczanej z hydrokoloidami roślinnymi poprawiają właściwości technologiczne modelowych przetworów mięsnych, w tym teksturę, zdolność wiązania wody i stabilność.
3. Zastosowanie mieszanin skrobi ziemniaczanej i hydrokoloidów roślinnych zwiększa stabilność przechowalniczą modelowych przetworów mięsnych, poprawiając retencję wody, stabilność barwy i wydajność w warunkach chłodniczych.
4. Dodatek mieszanin skrobi ziemniaczanej i hydrokoloidów roślinnych pozwala na skuteczną redukcję zawartości soli w przetworach mięsnych, bez pogarszania ich jakości sensorycznej i technologicznej.

3. Materiały i metody

3.1. Materiał badawczy i układy doświadczalne

Badania przeprowadzono w trzech etapach. Materiałem badawczym były:

- natywna skrobia ziemniaczana oraz jej mieszaniny z trzema hydrokoloidami roślinnymi: gumą guar, gumą tara oraz gumą konjac,
- modelowe przetwory mięsne przygotowane z mięsa wieprzowego klasy II, drobno rozdrobnionego, peklowanego i parzonego, zawierające natywną skrobię ziemniaczaną oraz mieszaniny skrobi i wybranych gum,
- modelowe przetwory mięsne z mięsa wieprzowego klasy II, drobno rozdrobnionego, peklowanego i parzonego, przygotowane z dodatkiem wybranej mieszaniny skrobi i gumy, o obniżonej zawartości chlorku sodu.

Uwzględniając możliwą zmienność w składzie chemicznym różnych partii mięsa proces produkcji oraz badania w etapie II i III przeprowadzono dwukrotnie. Skróty nazw prób badawczych zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wykaz stosowanych skrótów

Skrót	Rozwinięcie
nSzi	skrobia ziemniaczana natywna
GG	guma guar
GT	guma tara
GK	guma konjac
nSzi-GG	skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar
nSzi-GT	skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara
nSzi-GK	skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac
nSzi-GT_25	skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 25% dodatkiem chlorku sodu
nSzi-GT_50	skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 50% dodatkiem chlorku sodu
nSzi-GT_75	skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 75% dodatkiem chlorku sodu
nSzi-GT_100	skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 100% dodatkiem chlorku sodu

Pierwszy etap doświadczenia obejmował badania natywnej skrobi ziemniaczanej, gumy guar, gumy tara oraz gumy konjac, a także ocenę właściwości 5% kleików uzyskanych z natywnej skrobi ziemniaczanej (próba kontrolna) oraz jej mieszanin z gumą guar, gumą tara

i gumą konjac. W mieszaninach zastosowano udział 4,5% skrobi i 0,5% gumy (guar, tara lub konjac).

Przygotowanie kleików

Kleiki otrzymano poprzez naważenie odpowiedniej ilości skrobi oraz gum z dokładnością do 0,001 g do zakręcanych probówek typu Falcon, a następnie uzupełniono je wodą destylowaną o temperaturze 24°C w ilości objętościowej zapewniającej uzyskanie pożądanego stężenia zawiesiny. Kolejno zawiesinę wytrząsano przez 2 minuty przy użyciu vortexu (LLG-uniTEXER 1 LLG-Labware). Tak przygotowane układy kleikowano w łaźni wodnej (WNB 22 Memmert) w temperaturze 70, 75, 80, 85 oraz 90°C przez 30 minut przy stałym wytrząsaniu. Powstałe kleiki ochłodzono do temperatury 3°C i przechowywano przez 24 godziny oraz 10 i 20 dni.

Przeprowadzone oznaczenia i pomiary

Kleiki analizowano pod kątem stopnia synerезy oraz wybranych właściwości reologicznych, w tym lepkości oraz właściwości tiksotropowych. Oznaczono również wartość pH kleików uzyskanych w temperaturze 80°C, a także wilgotność oraz zawartość popiołu w skrobi i hydrokoloidach. Dodatkowo określono całkowitą zawartość fosforu w skrobi oraz przeprowadzono badania termodynamiczne kleikowania skrobi i badanych mieszanin.

W drugim etapie doświadczenia przeprowadzono badania właściwości technologicznych oraz sensorycznych modelowych przetworów mięsnych z dodatkiem wytypowanych mieszanin skrobi i hydrokoloidów. Aby zrealizować założony zakres badań przygotowano w skali laboratoryjnej modelowe przetwory mięsne z mięsa wieprzowego klasy II, drobno rozdrobnionego, peklowanego i parzonego, z dodatkiem natywnej skrobi ziemniaczanej (próba kontrolna) oraz mieszanin natywnej skrobi ziemniaczanej i gumy guar, gumy tara oraz gumy konjac.

Przygotowanie modelowych przetworów mięsnych

Do przygotowania przetworów wykorzystano:

- Mięso wieprzowe klasy II – 100%;
- Peklosól – 2,3% (o udziale 99,5% chlorku sodu, 0,5% azotanu (III) sodu);
- Askorbinian sodu – 0,05%;
- Pieprz czarny mielony – 0,05%;
- Gałka muszkatołowa – 0,03%;
- Woda lodowa – 15%;
- Dodatki teksturotwórcze – 5%:
 - o nSzi - skrobia ziemniaczana natywna – 5% (próba kontrolna),

- o nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna – 4,5% oraz guma guar – 0,5%,
- o nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna – 4,5% oraz guma tara – 0,5%,
- o nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna – 4,5% oraz guma konjac – 0,5% (Tab. 2).

Wszystkie składniki naważono z dokładnością do 0,01 g. Surowiec mięsny rozdrobniono w wilku (Hendi 228182) wyposażonym w sito szarpak. Następnie rozdrobnione kawałki mięsa peklowano na sucho przez 16 ± 1 h w temperaturze $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Po peklowaniu mięso wieprzowe rozdrobniono w wilku przy użyciu siatki o średnicy otworów 3,0 mm. Rozdrobnione mięso starannie wymieszano z wodą lodową, askorbinianem sodu, przyprawami oraz dodatkami teksturotwórczymi do momentu uzyskania konsystencji lepiszcza (około 10 minut). Otrzymane farsze mięsne nadziewano za pomocą nadziewarki manualnej (Forgast FG10605) do osłonek białkowych o średnicy 65 mm i parzono w łaźni wodnej (WNB 22 Memmert) w temperaturze 80°C przez 60 minut. Następnie uzyskane przetwory mięsne studzono w zimnej wodzie, wyjmowano z osłonek i osuszano ręcznikiem papierowym a następnie pakowano próżniowo za pomocą pakowarki próżniowej (Hendi Profi Line 350) doioletowanych woreczków foliowych poliamidowo-polietylenowych (PA/PE) firmy Hendi. Przetwory przechowywano w temperaturze $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$ przez 24 godziny, 10 i 20 dni. Proces produkcji przetworów modelowych przedstawiono na schemacie (Rys. 12). Zdjęcie przykładowych przetworów mięsnych po procesie parzenia oraz chłodzenia przedstawiono na rysunku 13.



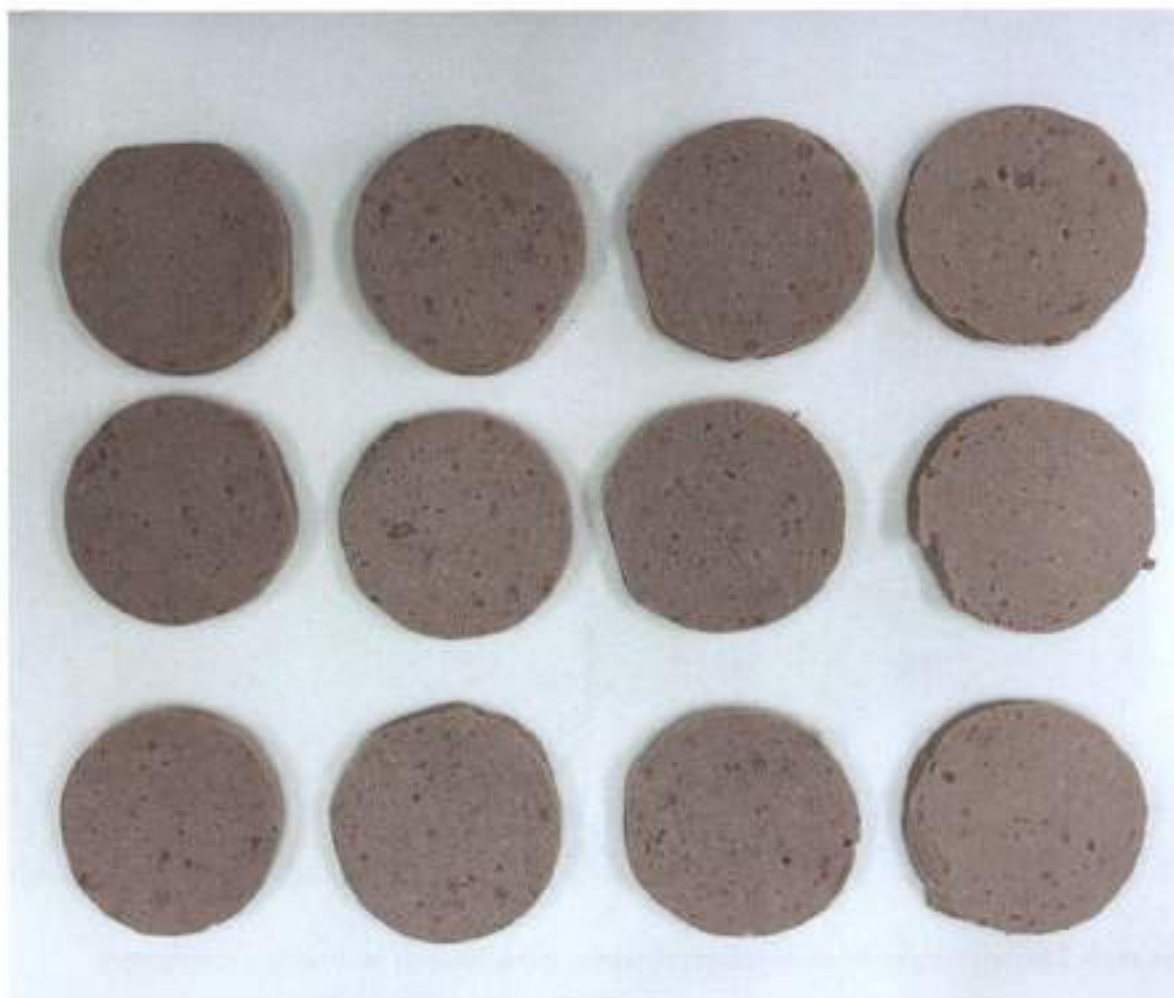
Rysunek 12. Schemat technologiczny produkcji modelowych przetworów mięsnych



Rysunek 13. Zdjęcie przykładowych przetworów modelowych po obróbce termicznej

Przeprowadzone oznaczenia, pomiary i oceny

Próbki przetworów do badań pobierano po 24 godzinnym wychłodzeniu, a także po 10 i 20 dniach przechowywania w temperaturze $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Zdjęcie przykładowych próbek przetworów mięsnych po przechowywaniu przedstawiono na rysunku 14. W przygotowanych przetworach oznaczono wartość pH, zawartość wody, białka, tłuszczu, sodu oraz wartość energetyczną, a także ilość wycieku cieplnego i przechowalniczego, zdolność do utrzymania wody własnej i dodanej. Przeprowadzono instrumentalny pomiar parametrów barwy prób przechowywanych w warunkach chłodniczych oraz dodatkowo naświetlanych. Oceniono również profil tekstury oraz przeprowadzono ocenę organoleptyczną. Na podstawie otrzymanych wyników wybrano mieszaninę związków teksturotwórczych charakteryzującą się najbardziej korzystnym wpływem na cechy jakościowe przetworów modelowych.



Rysunek 14. Zdjęcie przykładowych przetworów modelowych przygotowanych do badań

Trzeci etap doświadczenia obejmował produkcję w skali laboratoryjnej modelowych przetworów mięsnych z mięsa wieprzowego z dodatkiem mieszaniny nSzi-GT oraz:

- 2,28% dodatkiem chlorku sodu (próba kontrolna) – nSzi-GT_100

oraz o obniżonej zawartości chlorku sodu:

- 1,71% dodatku chlorku sodu (75% początkowego udziału) – nSzi-GT_75,

- 1,14% dodatku chlorku sodu (50% początkowego udziału) – nSzi-GT_50,

- 0,57% dodatku chlorku sodu (25% początkowego udziału) – nSzi-GT_25 (Tab. 2).

Przygotowanie modelowych przetworów mięsnych

Proces produkcji został przeprowadzony zgodnie z metodą opisaną w etapie II. W celu zapewnienia bezpieczeństwa mikrobiologicznego oraz utrzymania stałego poziomu peklowania, w etapie III wykorzystano mieszkankę peklującą o stężeniu azotanu (III) sodu wynoszącym 0,5% oraz chlorku sodu w stężeniu zależnym od wariantu.

Przeprowadzone oznaczenia, pomiary i oceny

Próbki przetworów do badań pobierano po 24-godzinym wychłodzeniu, a także po 10 i 20 dniach przechowywania w temperaturze $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$. W przygotowanych przetworach oznaczono wartość pH, zawartość wody, białka, tłuszczu, sodu oraz wartość energetyczną, a także ilość wycieku cieplnego i przechowalniczego, zdolność do utrzymania wody własnej i dodanej. Przeprowadzono instrumentalny pomiar parametrów barwy prób przechowywanych w warunkach chłodniczych oraz dodatkowo naświetlanych. Oceniono również profil tekstury oraz przeprowadzono ocenę organoleptyczną.

3.2. Metody analityczne

3.2.1. Oznaczenia podstawowego składu chemicznego

Oznaczanie wilgotności

Wilgotność skrobi oraz gum oznaczono zgodnie z metodyką opisaną w normie PN-EN ISO 1666:2000. Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z trzech oznaczeń $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm \text{SD}$).

Oznaczanie zawartości fosforu

Całkowitą zawartość fosforu w skrobi oznaczono zgodnie z metodyką opisaną w normie PN-EN ISO 3946:2000.

Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z trzech oznaczeń $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm \text{SD}$).

Oznaczanie zawartości popiołu

Zawartość popiołu w skrobi oraz gumach oznaczono zgodnie z metodyką opisaną w normie PN-EN ISO 3593:2000. Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z trzech oznaczeń $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm \text{SD}$).

Wartość energetyczna i skład chemiczny

Wartość energetyczną, zawartość białka, tłuszczów oraz wody w modelowych przetworach mięsnych oznaczono metodą spektrometrii w bliskiej podczerwieni NIRS, zgodnie z normą PN-A-82109:2010, przy użyciu aparatu Food ScanTMLab, firmy Foss. Próbkę do analizy zostały uprzednio 2-krotnie rozdrobnione w maszynce do mielenia ZMM3511B firmy Zelmer, z siatką o średnicy oczek 3 mm. Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm \text{SD}$).

Zawartość sodu

Zawartość sodu w modelowych przetworach mięsnych o obniżonej zawartości chlorku sodu oznaczono w celu określenia potencjału realizowanych badań w profilaktyce chorób dietozależnych. Oznaczenie wykonano metodą Absorpcyjnej Spektroskopii Atomowej (ASA) z wykorzystaniem spektrometru iCE 3000 series AAS (Thermo Fisher Scientific Inc.). Doświadczenie wykonano zgodnie z normą PN-EN 15505:2009 przy długości fali 589 nm. Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm SD$).

3.2.2. Badanie właściwości fizykochemicznych kleików

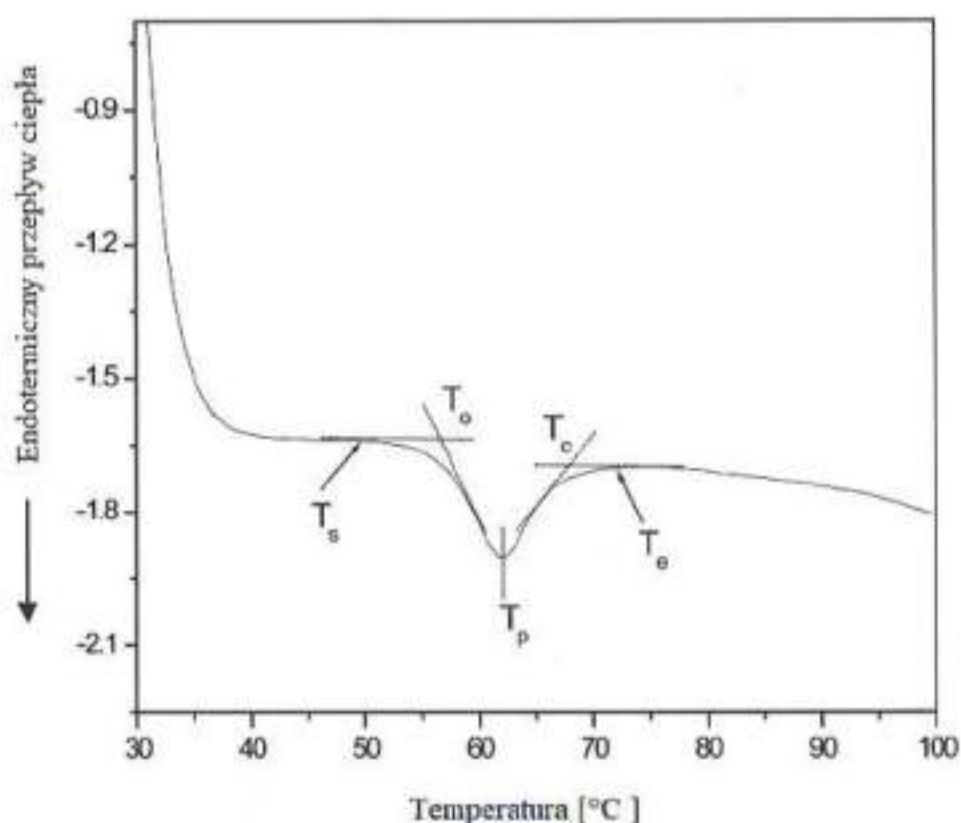
Pomiar pH kleików

Wartość pH kleików oznaczono za pomocą pH-metru CP-505 firm Elmetron, używając szklanej elektrody kombinowanej (EPS-1). Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z trzech oznaczeń $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm SD$).

Termodynamiczna charakterystyka kleikowania

Termodynamiczną charakterystykę kleikowania skrobi oraz mieszanin skrobi z gumami oznaczono za pomocą aparatu DSC 204 F1 Phoenix Netzsch. Doświadczenie przeprowadzono dla 10% zawiesiny skrobi oraz jej mieszanin z gumami. Wstępne badania wykazały, że stężenie 5% było niewystarczające do precyzyjnych pomiarów. Uzyskane termogramy wykazywały nieznaczny pik temperatury, co utrudniało wykreślenie punktów przecięcia prostych i mogło prowadzić do błędów w wynikach. Dlatego przeprowadzono dodatkowe eksperymenty dla zawiesin o stężeniach 10%, 20%, 30% i 40%. Na podstawie uzyskanych termogramów stwierdzono, że stężenie 10% jest wystarczające do prawidłowego wyznaczenia analizowanych parametrów. Do przygotowania próbek odważono około 1,1 mg skrobi lub mieszanin skrobi z gumami, które umieszczono bezpośrednio w aluminiowych tygielkach pomiarowych, a następnie uzupełniono wodą destylowaną, aby uzyskać 10% stężenie zawiesiny. Tygielki zamknięto i pozostawiono na 24 godziny w temperaturze 24°C, aby umożliwić uwodnienie skrobi. Podczas pomiaru próbki były przechowywane w komorze urządzenia przez 10 minut, aby ustabilizować przepływ energii, a następnie ogrzewane w zakresie temperatur od 25°C do 90°C z przyrostem 10°C na minutę. Po ogrzaniu próbki były chłodzone do temperatury początkowej. Analiza odbywała się przy stałym przepływie azotu, a odniesienie stanowił pusty tygielki pomiarowy. Na podstawie uzyskanych termogramów określono temperaturę początkową kleikowania (T_0), temperaturę pikową kleikowania (T_p), temperaturę końcową kleikowania (T_c) oraz entalpię energii (ΔH). Dodatkowo obliczono zakres temperatury

kleikowania ($T_p - T_o$). Wartości T_o i T_c wyznaczono poprzez określenie punktów przecięcia prostych stycznych do krzywej termogramu (Rys. 15). Entalpię energii ΔH zdefiniowano jako obszar pod prostą poprowadzoną od T_o do T_c . Termogramy analizowano za pomocą oprogramowania Netzsch Proteus (NETZSCH-Gerätebau GmbH). Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z trzech oznaczeń $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm SD$).



Rysunek 15. Termogram DSC dla układów skrobia-woda (Wang, Copeland, 2013)

Stopień synerезы

Stopień synerезы kleików określono metodą zaproponowaną przez Abdel-Aal i in. (2019) z modyfikacjami. W celu określenia stopnia synerезы oznaczono kolejno zawartość:

- wody niezwiązanej (free water) - w celu oceny, czy cała ilość wody użyta do przygotowania kleiku została związana przez skrobię oraz mieszaniny,
- wody wydzielonej (expelled water) - w celu oznaczenia ilości wody wydzielonej z kleiku w sposób naturalny podczas przechowywania,
- wody zaabsorbowanej (absorber water) - w celu oznaczenia ilości wody zaabsorbowanej i usuniętej z kleiku w wyniku działania sił odśrodkowych.

Na podstawie uzyskanych wartości obliczono stopień synerезы.

Kleiki przygotowane zgodnie z opisem w punkcie 3.1 zostały ochłodzone do temperatury 24°C bezpośrednio po kleikowaniu. Następnie, po odmierzeniu 10 g kleiku (z dokładnością do 0,001 g), przeniesiono je do zakręcanych probówek typu Falcon i przechowywano przez 1, 10 i 20 dni w temperaturze $3 \pm 1^\circ\text{C}$.

W celu oznaczenia ilości **wody niezwiązanej** próbki wirowano bezpośrednio po kleikowaniu i ochłodzeniu do temperatury 24°C w wirówce laboratoryjnej (Rotina 380 firmy Hettich) przy prędkości 3000 rpm przez 10 minut. Po wirowaniu supernatant został usunięty, a pozostałość w probówkach ważono. Woda niezwiązana została wyrażona w procentach za pomocą równania:

$$\text{Woda niezwiązana} = \frac{mf_1 - mf_2}{mf_1 - mf_0} \times 100\%$$

gdzie:

mf_0 – masa próbki [g],

mf_1 – masa próbki z kleikiem przed wirowaniem [g],

mf_2 – masa próbki z kleikiem po wirowaniu i zlaniu supernatantu [g].

W celu określenia ilości **wody wydzielonej** ze struktury kleiku po przechowywaniu w temperaturze $3 \pm 1^\circ\text{C}$ próbki ogrzano do temperatury 24°C. Następnie wodę wydzieloną ze struktury kleiku usunięto poprzez dekantację lub za pomocą pipety Pasteura. Wodę wydzieloną wyrażono w procentach, za pomocą równania:

$$\text{Woda wydzielona} = \frac{\text{woda zdekantowana [g]}}{\text{masa kleiku przed dekantacją [g]}} \times 100\%$$

W celu określenia ilości **wody zaabsorbowanej**, próbki po dekantacji (oznaczanie wody wydzielonej) wirowano w wirówce laboratoryjnej (Rotina 380 firmy Hettich) z prędkością 3000 rpm przez 10 minut. Następnie supernatant zlewano, a pozostałość w probówce ważono. Wodę zaabsorbowaną wyrażono w procentach, za pomocą równania:

$$\text{Woda zaabsorbowana} = \frac{ma_1 - ma_2}{ma_1 - ma_0} \times 100\%$$

gdzie:

ma_0 – masa próbki [g],

ma_1 – masa próbki z kleikiem po dekantowaniu [g],

ma_2 – masa próbki z kleikiem po zlaniu supernatantu [g].

Stopień synerozy wyrażono w procentach, przy użyciu następującego równania:

$$\text{Stopień synerozy} = (\text{woda wydzielona} + \text{woda zaabsorbowana}) - \text{woda niezwiązana}$$

Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z trzech oznaczeń $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm \text{SD}$).

Właściwości reologiczne kleików

Wybrane właściwości reologiczne kleików skrobiowych badano techniką rotacyjną z wykorzystaniem reometru rotacyjnego Brookfield R/S+ z czaszą termostatującą połączoną z glikolowym układem chłodzącym (Grainfather GC4) oraz układem pomiarowym współosiowych cylindrów z ruchomym cylindrem wewnętrznym (CC-25). Kleiki przygotowane zgodnie z opisem podanym w punkcie 3.1 przeniesiono do naczynia pomiarowego, które następnie termostatowano w temperaturze $3 \pm 0,5^\circ\text{C}$ i relaksowano przez 10 minut.

Krzywe płynięcia rejestrowano dla wzrastającej i malejącej szybkości ścinania w zakresie $0\text{--}600\text{ s}^{-1}$. Pomiar prowadzono przez 10 minut, przy temperaturze 3°C oraz czasie aktywizacji danych wynoszącym 1 s^{-1} . Otrzymane krzywe dla wzrastającej i malejącej szybkości ścinania opisano modelem potęgowym Ostwalda de Waele'a:

$$\tau = K \times \dot{\gamma}^n$$

gdzie:

τ – naprężenie ścinające [Pa],

K – współczynnik konsystencji [$\text{Pa} \cdot \text{s}^n$],

$\dot{\gamma}$ – szybkość ścinania [s^{-1}],

n – wskaźnik płynięcia.

Dodatkowo, w celu określenia właściwości tiksotropowych kleików, obliczono obszar uzyskanych pętli histerezy.

Krzywe lepkości pozornej w czasie ścinania rejestrowano przy szybkości ścinania 100 s^{-1} . Pomiar prowadzono w czasie 30 minut, w temperaturze 3°C oraz z czasem aktywizacji danych wynoszącym 1 s^{-1} .

Wyniki i obliczenia rejestrowano przy użyciu oprogramowania Rheo3000 (AMETEK Brookfield). Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z trzech oznaczeń $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm \text{SD}$).

3.2.3. Badanie właściwości modelowych przetworów mięsnych

Pomiar pH przetworów modelowych

Wartość pH przygotowanych przetworów modelowych oznaczono po 1, 10 i 20 dniach przechowywania w temperaturze $3 \pm 1^\circ\text{C}$, za pomocą miernika pH do mięsa (HI 98163 Hanna Instruments), wyposażonego w kombinowaną, sztyletową elektrodę (FC 2323). Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm \text{SD}$).

Wielkość wycieku cieplnego

Wielkość wycieku po obróbce cieplnej określono na podstawie różnic masy produktu przed i po obróbce termicznej. W celu przeprowadzenia badania przygotowano podwójnie zamykane woreczki strunowe, które z obu stron pod kątem 30° zgrzewano termicznie w zgrzewarce, w taki sposób, aby kształt woreczków przypominał literę V. Następnie przygotowywano naważki próbek farszu mięsnego o masie około 20 g (z dokładnością do 0,0001 g) i umieszczano je w woreczkach. Próbkę były następnie poddawane obróbce termicznej w łaźni wodnej (WNB 22 Memmert) w temperaturze 80°C przez 30 minut. Po tym czasie woreczki wyjmowano z wody i schładzano zimną wodą. Następnie próbki wyjmowano z woreczków, osuszano ręcznikiem papierowym i ważono z dokładnością do 0,0001 g.

Wielkość wycieku cieplnego obliczono zgodnie ze wzorem:

$$W = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100\%$$

gdzie:

W – wielkość wycieku cieplnego [%],

M_1 – masa produktu przed obróbką termiczną [g],

M_2 – masa produktu po obróbce termicznej [g].

Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm \text{SD}$).

Zdolność utrzymania wody

Zdolność utrzymania wody własnej i dodanej określono za pomocą metody Grau-Hamma i wyrażono jako procent wody wolnej. Próbkę przetworów modelowych dwukrotnie rozdrobniono w maszynce do mielenia ZMM3511B firmy Zelmer, używając siatki o średnicy oczek 3 mm. Następnie 300 mg próbki przeniesiono na bibułę filtracyjną, umieszczono między dwiema szklanymi szalkami i obciążono odważnikiem o masie 2 kg na 5 minut. Aby zapobiec przyklejaniu się próbki do górnej szalki, zastosowano warstwę teflonu jako separator. Po

zakończeniu procesu wyciek z próbki oraz powierzchnię próbki sfotografowano, a następnie analizowano komputerowo w celu określenia ich powierzchni. Do obliczeń wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie do analizy obrazu NIS Elements 4.0 (Nikon Corp.). W celu przeliczenia uzyskanej powierzchni na procentową zawartość wody zastosowano następującą metodykę:

Na bibułę filtracyjną naniesiono 0,1 cm³ wody destylowanej. Uzyskane plamy sfotografowano i komputerowo obliczono ich powierzchnię. Średnią wielkość powierzchni wyznaczono na podstawie pięciu powtórzeń. Ilość wody przypadającej na 1 cm² zacieku obliczono według następującego wzoru:

$$W = (a \times b) / P$$

gdzie:

W – ilość wody przypadająca na 1 cm² zacieku [cm³],

a – ilość naniesionej wody [cm³],

b – 71298 px² - jest to liczba pikseli odpowiadająca powierzchni 1 cm² przy określonej odległości między obiektywem aparatu a fotografowaną próbką,

P – średnia powierzchnia plamy naniesionej wody [px²].

W pierwszej kolejności, na podstawie ilości wody powodującej zacieki o powierzchni 1 cm², wyznaczono współczynnik przeliczeniowy umożliwiający konwersję powierzchni zacieku na procentową zawartość wody w badanej próbce, zgodnie ze wzorem:

$$K = \left(\frac{W}{C} \right) \times 100\%$$

gdzie:

K – procentowa zawartość wody w badanej próbce [%],

W - ilość wody przypadająca na 1 cm² zacieku [cm³],

C – naważka próbki [g].

Znając całkowitą powierzchnię plamy wody usuniętej z próbki przetworu obliczono zawartość wolnej wody w przeliczeniu na masę próbki, zgodnie ze wzorem:

$$Z_{ww} = K \times P_c$$

gdzie:

Z_{ww} – zawartość wody wolnej w stosunku do masy próbki [%],

K - procentowa zawartość wody w badanej próbce [%],

P_c – całkowita powierzchnia plamy wycieku z badanej próbki [cm²].

Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm SD$).

Ubytki masy podczas przechowywania

Wielkość ubytków masy podczas przechowywania określono na podstawie różnicy masy produktu przed zapakowaniem próżniowym oraz po jego przechowywaniu. Produkty, po obróbce termicznej i wychłodzeniu, ważono z dokładnością do 0,01 g, a następnie pakowano próżniowo zgodnie z opisem podanym w punkcie 3.1. W dniu analizy zapakowane produkty wyjmowano z folii, osuszano ręcznikiem papierowym, a następnie ponownie ważono.

Wielkość ubytków masy podczas przechowywania obliczono zgodnie ze wzorem:

$$Um = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\%$$

gdzie:

Um – wielkość ubytku masy podczas przechowywania [%],

W₁ – masa produktu przed przechowywaniem [g],

W₂ – masa produktu po przechowywaniu [g].

Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm SD$).

Barwa

Barwę przetworów modelowych zmierzono za pomocą kolorymetru Konica Minolta Chroma Meter CR-410 z wykorzystaniem oprogramowania SpectraMagic NX. Określono parametry barwy w systemie CIE L*, a*, b*, (iluminant D65) oraz obliczono nasycenie barwy (C*) i współczynnik ΔE . Każdorazowo przed rozpoczęciem pomiarów kolorymetr kalibrowano za pomocą wzorca bieli. Pomiar barwy przetworów wykonano na wyciętych z nich plastrach o grubości 1 cm bezpośrednio po wyjęciu z chłodziarki oraz po 5, 35, 65, 95 i 125 minutach naświetlania światłem mieszanym (dziennym oraz sztucznym, mieszczącym się w przedziale od 1600 do 2100 lx). Pomiaru dokonano również po 24 godzinach od zakończenia naświetlania, w czasie których próbki, zapakowane w folię spożywczą, były przechowywane w temperaturze $3 \pm 1^\circ\text{C}$.

Nasycenie barwy (C*) obliczono zgodnie ze wzorem:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Różnicę barwy (ΔE) obliczono zgodnie ze wzorem:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

gdzie:

ΔL^* - różnice jasności barwy, obliczono zgodnie ze wzorem:

$$\Delta L^* = L_{1,2,...,n}^* - L_0^*$$

L_0^* - jasność bezpośrednio po przekrojeniu próbki,

$L_{1,2,...,n}^*$ - jasność po przechowywaniu lub naświetlaniu.

Δa^* - różnice udziału czerwonego (czerwieni), obliczono zgodnie ze wzorem:

$$\Delta a^* = a_{1,2,...,n}^* - a_0^*$$

a_0^* - udział czerwonego (czerwieni) bezpośrednio po przekrojeniu próbki,

$a_{1,2,...,n}^*$ - udział czerwonego (czerwieni) po przechowywaniu lub naświetlaniu.

Δb^* - różnice udziału żółtego (żółci), obliczono zgodnie ze wzorem:

$$\Delta b^* = b_{1,2,...,n}^* - b_0^*$$

b_0^* - udział żółtego (żółci), bezpośrednio po przekrojeniu próbki,

$b_{1,2,...,n}^*$ - udział żółtego (żółci), po przechowywaniu lub naświetlaniu.

Wyniki pomiaru barwy po naświetlaniu zamieszczono w Załączniku 1 oraz Załączniku 2. Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm SD$).

Analiza profilu tekstury

Analizę profilu tekstury (TPA) przeprowadzono metodą dwukrotnego ściskania z wykorzystaniem aparatury do pomiarów wytrzymałościowych BT1-FR0.5TN.D14 marki Zwick/Roell, wyposażonego w głowicę Xforce HP o sile 500 N oraz oprogramowanie TestXpert II. Badania prowadzono na próbkach produktów w kształcie walca o wymiarach 13 x 10 mm. Przygotowane próbki ściskano do momentu uzyskania 50% odkształcenia próbki, za pomocą trzpienia w kształcie walca o średnicy 58 mm, przy prędkości ruchu głowicy dla fazy ściskania i relaksacji wynoszącej 5 mm/s. Przerwa między pierwszym a drugim ściśnięciem wynosiła 5 sekund (Niedźwiedz i in., 2013). Określono następujące parametry tekstury:

- twardość I,
- twardość II,
- sprężystość,
- gumistość,
- żujność,

- kohezję.

Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań $\pm$ odchylenie standardowe ($\bar{x} \pm SD$).

Ocena organoleptyczna

Ocenę organoleptyczną modelowych przetworów mięsnych przeprowadzono metodą skalowania z wykorzystaniem skali liniowej hedonicznej o długości 9 cm, gdzie początek skali (0 cm) oznacza notę 1, a koniec skali (9 cm) oznacza notę 10. Na arkuszu zamieszczono informację w jaki sposób dokonywać oceny oraz omówiono zasady jego wypełnienia. Otrzymane wyniki wyrażono liczbowo mierząc zaznaczone przez ocenających odcinki od lewej strony osi.

Dla każdego ocenianego wyróżnika sensorycznego opracowano odniesienia słowne odpowiadające krańcom skali. W etapie II oceniano (Załącznik 3):

- kruchość (w zakresie od "gumiasta" (nota 1) do "krucha" (nota 10)),
- twardość (w zakresie od "bardzo twarda" (nota 1) do "miękka" (nota 10)),
- soczystość (w zakresie od "bardzo sucha" (nota 1) do "bardzo soczysta" (nota 10)),
- związanie plastra (w zakresie od "rozpadający się" (nota 1) do "spójny" (nota 10)),
- pożądalność smaku (w zakresie od "bardzo niepożądana" (nota 1) do "bardzo pożądana" (nota 10)),
- pożądalność zapachu (w zakresie od "bardzo niepożądana" (nota 1) do "bardzo pożądana" (nota 10)),
- pożądalność barwy (w zakresie od "bardzo niepożądana" (nota 1) do "bardzo pożądana" (nota 10)),
- pożądalność wyglądu na przekroju (w zakresie od "bardzo niepożądana" (nota 1) do "bardzo pożądana" (nota 10)).

W etapie III oceniano (Załącznik 4):

- kruchość (w zakresie od "gumiasta/smarowna" (nota 1) do "krucha" (nota 10)),
- twardość (w zakresie od "bardzo twarda" (nota 1) do "miękka" (nota 10)),
- soczystość (w zakresie od "bardzo sucha" (nota 1) do "bardzo soczysta" (nota 10)),
- związanie plastra (w zakresie od "rozpadający się" (nota 1) do "spójny" (nota 10)),
- pożądalność smaku (w zakresie od "bardzo niepożądana" (nota 1) do "bardzo pożądana" (nota 10)),
- pożądalność słoności (w zakresie od "bardzo niepożądana – zbyt słona lub za mało słona" (nota 1) do "bardzo pożądana – idealnie słona" (nota 10)),

- pożądalność zapachu (w zakresie od "bardzo niepożądana" (nota 1) do "bardzo pożądana" (nota 10)),
- pożądalność barwy (w zakresie od "bardzo niepożądana" (nota 1) do "bardzo pożądana" (nota 10)),
- pożądalność wyglądu na przekroju (w zakresie od "bardzo niepożądana" (nota 1) do "bardzo pożądana" (nota 10)).

Badanie realizował ośmioosobowy zespół. Ocenę prowadzono w pomieszczeniu oświetlonym światłem sztucznym, w temperaturze otoczenia $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Przed każdą oceną oraz pomiędzy poszczególnymi próbkami członkowie zespołu przeplukiwali usta wodą o temperaturze $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Każdorazowo ocena przeprowadzana była w godzinach 12:00-14:00, po upływie około 1 godziny od spożycia ostatniego posiłku lub napoju (z wyjątkiem wody).

Wyniki przedstawiono jako medianę oraz wartości minimalne i maksymalne z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań.

3.2.4. Analiza statystyczna wyników

Wartości średnie oraz odchylenia standardowe obliczono na podstawie wyników uzyskanych z sześciu powtórzeń z dwóch niezależnych serii badań. Normalność rozkładu zweryfikowano za pomocą testu Shapiro-Wilka. Istotność różnic oceniono przy użyciu testu t-Studenta dla prób niezależnych ($p < 0,05$). W przypadku danych niespełniających założeń normalności (ocena organoleptyczna) zastosowano test kolejności par Wilcoxona ($p < 0,05$). Wyniki przedstawiono w formie wykresów oraz tabelarycznej, podając wartości średnie oraz odchylenie standardowe. W przypadku dużych odchyleń standardowych (wyniki oceny organoleptycznej) podano medianę oraz wartości minimalne i maksymalne. Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania Statistica 13.3 (StatSoft Inc.). Dla wyników uzyskanych w III etapie pracy (wartość pH, zdolność utrzymania wody, ubytki masy podczas przechowywania, analiza profilu tekstury – twardość I) wyznaczono korelację liniową i obliczono współczynnik korelacji Pearsona (r) zależności wyników od stężenia chlorku sodu.

4. Wyniki i dyskusja

4.1. Etap I – Wpływ dodatków teksturotwórczych na właściwości kleików skrobiowych

W etapie I pracy przygotowano 5% kleiki skrobiowe, składające się z mieszanin skrobi ziemniaczanej natywnej (4,5%) oraz dodatków teksturotwórczych (0,5%):

- gumy guar – próba nSzi-GG,
- gumy tara – próba nSzi-GT,
- gumy konjac – próba nSzi-GK.

Dodatkowo sporządzono próbę kontrolną zawierającą wyłącznie skrobię ziemniaczaną – nSzi. W badanych kleikach oceniono wpływ dodatku wybranych hydrokoloidów na:

- wartość pH w czasie przechowywania (1, 10 i 20 dni),
- stopień synerozy kleików skleikowanych w temperaturze 70°C, 75°C, 80°C, 85°C, 90°C i przechowywanych (1, 10 i 20 dni),
- termodynamiczne właściwości kleikowania,
- właściwości reologiczne kleików skleikowanych w temperaturze 70°C, 75°C, 80°C, 85°C i 90°C,

Dodatkowo oznaczono wilgotność i zawartość popiołu w skrobi oraz zastosowanych hydrokoloidach, a także zawartość fosforu w skrobi.

4.1.1. Charakterystyka surowców (skrobia ziemniaczana natywna, guma guar, guma tara, guma konjac)

Wilgotność, zawartość popiołu w skrobi ziemniaczanej natywnej, gumie guar, gumie tara i gumie konjac oraz zawartość fosforu w skrobi przedstawiono w tabeli 3. Skład chemiczny surowców roślinnych może istotnie różnić się w zależności od wielu czynników, takich jak warunki agrotechniczne (m.in. rodzaj i intensywność nawożenia czy stosowanie środków ochrony roślin), warunki atmosferyczne, stopień dojrzałości w momencie zbioru, zmienność wewnątrzgatunkowa. Zawartość wody w skrobi ziemniaczanej zależy m.in. od miejsca jej pozyskania. W Polsce przyjęto graniczną wartość wilgotności skrobi ziemniaczanej na poziomie 20% (Przetaczek-Rożnowska, 2017). Oznaczona w niniejszym badaniu wartość wynosiła 15,75% i mieści się w przyjętym zakresie. Gумы guar, tara i konjac charakteryzowały się wilgotnością w zakresie od 9% do 10%. Najniższą wartość odnotowano dla gumy konjac (9,16%), a najwyższą dla gumy guar (9,86%). Otrzymane wyniki są typowe dla tych

materialów. Literatura podaje, że wilgotność gumy guar powinna zawierać się w przedziale 8-14% (Thombare i in., 2016; Sharahi, Balrami, Karim, 2025), natomiast według Liu i in. (2025) wilgotność gumy tara dostępnej komercyjnie wynosiła od 7,94% do 10,47%. W przypadku gumy konjac, według danych Huang i in. (2016) wartość ta może dochodzić do około 12% i zależy od surowca oraz warunków jego przetworzenia.

Zawartość popiołu w skrobi ziemniaczanej waha się w literaturze od 0,21% do 1,3% (Tab. 3) (Tong, Ma, Chen Gao, 2023). W badanej skrobi zawartość popiołu, przeliczona na suchą masę, wynosiła 0,329% s.m. Dla gumy guar, gumy tara i gumy konjac wartości te wynosiły odpowiednio: 0,731%, 0,584% i 2,229% s.m. W przypadku gumy guar i gumy tara wartości te są zgodne z danymi literaturowymi, odpowiednio w zakresie 0,5-1% dla gumy guar (Thombare i in., 2016; Sharahi i in., 2025) oraz poniżej 1,5% dla gumy tara (Liu i in., 2025; Mirhosseini, Amid, 2012). Z kolei zawartość popiołu w gumie konjac była istotnie niższa niż wartości podawane przez Huang i in. (2016) oraz Behera i Ray (2016), które wynosiły odpowiednio 4,262-4,765% oraz 3,4-5,3%. Różnice te mogą wynikać z różnego stopnia oczyszczenia materiału – zawartość popiołu maleje wraz ze wzrostem czystości surowca.

Wśród składników mineralnych występujących w skrobi ziemniaczanej szczególną uwagę zwraca stosunkowo wysoka zawartość fosforu, która według danych literaturowych mieści się w zakresie od 308 do 1244 mg/kg (Šimková, Lachman, Hamouz, Vokál, 2013). W analizowanej próbce stwierdzono zawartość fosforu na poziomie 766 ppm (mg/kg) (Tab. 3). Fosfor w skrobi występuje głównie w postaci reszt kwasu ortofosforowego, związanych estrowo z atomem węgla C-6 w cząsteczce amylopektyny. W niewielkim stopniu może również występować w postaci fosfolipidów. Pomimo stosunkowo niskiego udziału fosforu w ogólnym składzie skrobi (w porównaniu do amylozy i amylopektyny), jego obecność może istotnie wpływać na właściwości funkcjonalne układów skrobiowych, w szczególności na przebieg procesu kleikowania oraz interakcje z innymi składnikami kleiku. Grupy fosforanowe wpływają korzystnie na pęcznienie ziaren skrobiowych, mogą jednak ograniczać ilość amylozy uwalnianej z ziaren skrobiowych podczas kleikowania oraz ograniczać występowanie interakcji z grupami funkcyjnymi innych polisacharydów, zmniejszając ich zdolność do tworzenia sieci (Tong i in., 2023).

Tabela 3. Wilgotność, zawartość popiołu i fosforu w skrobi ziemniaczanej natywnej oraz wilgotność i zawartość popiołu w gumie guar, gumie tara i gumie konjac

Parametr	Materiał badany							
	nSzi		GG		GT		GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Wilgotność [%]	15,75 ^d	0,024	9,86 ^c	0,022	9,58 ^b	0,007	9,16 ^a	0,037
Zawartość popiołu [% s.m.]	0,329 ^a	0,0078	0,731 ^c	0,0119	0,584 ^b	0,0455	2,229 ^d	0,0949
Zawartość fosforu [ppm]	766	0,58	ND		ND		ND	

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; s.m. - sucha masa; ppm - parts per million; ND - nie dotyczy; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; GG - guma guar; GT - guma tara; GK - guma konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

4.1.2. Właściwości kleików skrobiowych i ich mieszanin z hydrokoloidami

4.1.2.1. Wartości pH kleików

Wartości pH badanych kleików różniły się istotnie w zależności od rodzaju dodatku oraz czasu przechowywania (Tab. 4). W 1. oraz 10. dniu przechowywania najmniejszymi wartościami pH charakteryzował kleik z mieszaniny nSzi-GK. Wynosiły one odpowiednio 6,06 i 6,25. W 20. dniu wartość pH tej próby nie różniła się statystycznie od prób zawierających gumę guar (nSzi-GG) i gumę tara (nSzi-GT), osiągając poziom około 6,50. Wartości pH kleików z dodatkiem gumy guar i gumy tara nie wykazywały istotnych różnic między sobą w żadnym dniu przechowywania. Z kolei kleik przygotowany wyłącznie ze skrobi (nSzi) charakteryzował się najwyższym odczynem pH w każdym dniu analizy. We wszystkich analizowanych próbach zaobserwowano wzrost pH w trakcie przechowywania. Dla kleiku nSzi-GK wzrost ten był statystycznie istotny pomiędzy każdym z punktów pomiarowych. W przypadku pozostałych prób istotna zmiana dotyczyła jedynie okresu od 1. do 10. dnia przechowywania, natomiast pomiędzy 10. a 20. dniem różnice nie były statystycznie istotne. Obniżona wartość pH w kleikach zawierających gumy może wynikać z ich lekko kwaśnego charakteru. W środowisku wodnym dodatki te mogą przesuwac odczyn mieszaniny w kierunku bardziej kwaśnym. Przykładowo, pH 1% roztworu gumy guar mieści się zazwyczaj w przedziale od 5,5 do 6,5 (Weber, Clerici, Collares-Queiroz, Chang, 2009).

Tabela 4. Wartości pH kleików po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
1. dzień	6,38^{aA}	0,035	6,20^{bA}	0,070	6,20^{bA}	0,015	6,06^{aA}	0,031
10. dzień	6,63^{cB}	0,025	6,46^{bB}	0,047	6,50^{bB}	0,055	6,25^{aB}	0,050
20. dzień	6,61^{bB}	0,060	6,47^{aB}	0,056	6,49^{aB}	0,015	6,50^{aC}	0,020

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

4.1.2.2. Charakterystyka termodynamiczna kleikowania

Analiza termodynamiczna zawiesin skrobi ziemniaczanej oraz jej mieszanin z dodatkiem gum pozwoliła na wyznaczenie parametrów procesu kleikowania: temperatury początkowej (T_0), temperatury piku (T_p), temperatury końcowej (T_c), zakresu temperatury kleikowania ($T_c - T_0$) oraz ilości energii potrzebnej na przeprowadzenie procesu kleikowania (ΔH) (Tab.5). Otrzymane wyniki wskazują, że dodatek gumy guar i gumy tara powodował obniżenie temperatury początkowej kleikowania (T_0) w porównaniu do próby kontrolnej. Odmienny efekt zaobserwowano w przypadku mieszaniny nSzi-GK, dla której T_0 była wyższa niż w skrobi natywnej. Obserwowane różnice nie były statystycznie istotne. W badanych mieszaninach dodatek gumy niezależnie od jej rodzaju skutkował wzrostem temperatury pikowania (T_p). Temperatura pikowania dla skrobi była najniższa (63,9°C), a najwyższa dla mieszaniny z gumą guar (64,4°C). W przypadku temperatury końcowej kleikowania (T_c) dodatek gumy prowadził do jej obniżenia, z 71,7°C dla skrobi natywnej do 70,6°C w mieszaninie z gumą guar. Zmiany T_0 i T_c wpłynęły na zakres temperatury kleikowania ($T_c - T_0$). Najszerszy zakres odnotowano dla mieszaniny nSzi-GT (12,9°C), a najmniejszy dla nSzi-GG (11,9°C). Różnice te nie były jednak statystycznie istotne. Parametrem, który uległ istotnym zmianom, była entalpia przemiany (ΔH). We wszystkich mieszaninach stwierdzono wyraźne obniżenie ΔH w porównaniu do skrobi natywnej (2,59 J/g). Największy spadek zaobserwowano dla mieszanin nSzi-GK (1,16 J/g) oraz nSzi-GG (1,28 J/g). Wskazuje to na zmniejszone zapotrzebowanie energetyczne procesu kleikowania po wprowadzeniu dodatków polisacharydowych. Podobne obserwacje odnotowali Huang, Su, Huang, Xie (2025), badając mieszaniny skrobi z gumą ksantanową, guar, arabską oraz karagenem. W ich badaniach również nie stwierdzono istotnych zmian temperatur kleikowania, natomiast ΔH ulegało znacznemu obniżeniu w wyniku dodatku gum. Podobną tendencję zaobserwowali Rolandelli, Rodríguez, del Pilar Buera (2024), którzy

badali m.in. wpływ gumy guar na właściwości termodynamicznej skrobi pozyskiwanej ze słodkich ziemniaków. Zbliżone wyniki uzyskano również dla mieszaniny skrobi pszennej z gumą tara (Kang i in., 2024). Natomiast w przypadku mieszanin skrobi ziemniaczanej z gumą konjac, obniżeniu entalpii przemiany towarzyszył wzrost temperatury początkowej kleikowania (Zhang i in., 2025). Dodatkowo, w badaniach Khanna i Tester (2006) wykazano, że zmiany entalpii (zarówno wzrost, jak i spadek) mogą być zależne od ilości gumy konjac oraz ilości dostępnej wody. Uzyskane wyniki sugerują, że proces kleikowania mieszanin skrobi z polisacharydami wymaga mniejszego nakładu energetycznego niż w przypadku czystej skrobi ziemniaczanej. Znaczne obniżenie entalpii, szczególnie dla mieszanin z gumą guar i gumą konjac, może wynikać z konkurencji pomiędzy dodatkowymi polisacharydami, a skrobią o cząsteczki wody, niezbędne do procesu żelowania. Jednocześnie brak istotnych zmian w temperaturach kleikowania wskazuje, że zastosowane dodatki polisacharydowe nie wpływają znacząco na zakres temperaturowy, w którym zachodzi kleikowanie. Skrobia ziemniaczana należy do surowców kleikujących w stosunkowo niskiej temperaturze (Ai, Jane, 2015), dlatego utrzymanie zbliżonego profilu termicznego umożliwi wykorzystanie mieszanin w tych samych układach, w których stosowana jest skrobia natywna.

Tabela 5. Właściwości termodynamiczne zawiesin skrobiowych

Wyróżnik	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
To [°C]	58,9 ^a	0,35	58,7 ^a	0,52	58,5 ^a	0,60	59,3 ^a	1,10
Tp [°C]	63,9 ^a	0,21	64,4 ^a	0,52	64,1 ^a	0,75	64,2 ^a	0,25
Tc [°C]	71,7 ^a	1,57	70,6 ^a	0,57	71,4 ^a	1,37	71,3 ^a	1,08
Tc-To [°C]	12,8 ^a	1,90	11,9 ^a	0,42	12,9 ^a	1,96	12,0 ^a	0,80
ΔH [J/g]	2,59 ^c	0,202	1,28 ^a	0,076	1,73 ^b	0,218	1,16 ^a	0,160

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

4.1.2.3. Synereza

Synereza jest jednym z najistotniejszych zjawisk zachodzących podczas przechowywania kleików skrobiowych determinującym w dużej mierze ich jakość (i przydatność) technologiczną. Zjawisko to polega na wydzielaniu się wody z układu kleiku, co jest efektem retrogradacji (rekrytalizacji amylozy i amylopektyny). Woda wcześniej związana z tymi makrocząsteczkami zostaje w efekcie tego uwolniona z matrycy kleiku, co

proceeds to the change of its structure, physicochemical and rheological properties. The rate and intensity of syneresis depend on many factors, including: amylose content and amylopectin, degree of starch gelatinization, temperature of storage and temperature fluctuations over time. This phenomenon is particularly undesirable in the case of products stored in unit packaging, e.g. meat products, desserts or ready-made dishes. The presence of free water in the packaging or on the surface of the product, can be perceived by the consumer as a sign of quality deterioration, e.g. as a result of unsuitable storage conditions or development of undesirable microflora. In most scientific works, the degree of syneresis of starch gels is determined on the basis of measurements conducted by the centrifugation method. It consists in separating water (in this work defined as water absorbed) from the gel under the influence of centrifugal forces. Although this method provides information about the degree of water binding in the gel structure and its release as a result of retrogradation, it does not allow for the determination of the amount of water naturally released during storage – namely that, which can be directly observed by the consumer. For this reason, in this work the scope of the experiment was extended. In order to more fully determine the susceptibility of the studied systems to the syneresis phenomenon, a series of measurements were carried out, including:

1. Determination of the amount of water not bound during gelatinization – in order to evaluate, whether the total amount of water used for the preparation of the gel was bound.
2. Measurement of the amount of water naturally released during storage of the gel (without mechanical interference).
3. Measurement of the amount of water absorbed and released from the gel as a result of the action of centrifugal forces during centrifugation.

On the basis of the obtained data, the degree of syneresis was also calculated, defined as the percentage share of water initially used (and bound during gelatinization) for the preparation of the gel, and then released from its structure during storage. The studied systems were characterized by different amounts of free water (Tab. 6). The lowest share of free water was characterized by gels obtained from starch and konjac gum. In these systems, the whole or almost the whole amount of water used for gelatinization was bound in the gel structure. What is important, the temperature of gelatinization did not influence the amount of free water in these experiments. Among the studied gums, only konjac gum showed the ability to gel without the need for energy supply, which caused that already at 70°C the whole available water was absorbed by the system. The greatest influence of temperature on the degree of water binding was characterized by

próba kontrolna. Wraz ze wzrostem temperatury kleikowania ilość wody niezwiązanej systematycznie malała, a następnie ustabilizowała się w zakresie 85-90°C. Dla mieszanin nSzi-GG oraz nSzi-GT zaobserwowano odwrotną tendencję - wzrost temperatury powodował zwiększenie ilości wody niezwiązanej. Zmiany te były statystycznie istotne, lecz mieściły się w niewielkim zakresie i nie przekraczały 0,20%. Dla porównania, w próbie kontrolnej różnica ilości wody niezwiązanej między najniższą a najwyższą temperaturą kleikowania wynosiła aż 1,50%.

Tabela 6. Zawartość wody niezwiązanej w kleikach otrzymanych w różnych temperaturach [%]

T _K	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C	1,88^{dB}	0,158	0,31^{bA}	0,021	0,56^{cAB}	0,046	0,00^{aA}	0,000
75°C	0,87^{dC}	0,011	0,33^{bAB}	0,050	0,50^{cA}	0,005	0,04^{aB}	0,010
80°C	0,65^{eB}	0,047	0,38^{bBC}	0,022	0,58^{cB}	0,016	0,00^{aA}	0,000
85°C	0,38^{bA}	0,022	0,43^{bC}	0,022	0,64^{cC}	0,012	0,00^{aA}	0,000
90°C	0,41^{bA}	0,015	0,41^{bC}	0,012	0,69^{cD}	0,012	0,00^{aA}	0,000

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_K - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Zawartość wody wydzielonej z kleików w sposób naturalny podczas ich przechowywania w temperaturze 3°C przez 1, 10 i 20 dni wykazywała istotne zróżnicowanie w zależności od badanego układu, temperatury kleikowania oraz czasu przechowywania (Tab. 7). Wzrost temperatury kleikowania, zarówno w przypadku skrobi natywnej, jak i każdej badanej mieszaniny, powodował zmniejszenie ilości wody wydzielanej z kleików podczas przechowywania. Zastosowanie wyższej temperatury kleikowania korzystnie wpływało na stopień związania i zatrzymania wody w strukturze kleiku, co może być związane z ograniczeniem retrogradacji skrobi. Wyniki uzyskane w badaniu potwierdzają, że w czasie przechowywania następuje naturalne wydzielanie wody ze struktur kleików, a jej ilość wzrasta wraz z czasem przechowywania. Mieszaniny nSzi-GT oraz nSzi-GG kleikowane w temperaturze 80°C i powyżej wykazywały najmniejszą podatność na retrogradację, szczególnie po 10 i 20 dniach przechowywania. Dla temperatury kleikowania wynoszącej 80°C i czasu przechowywania 10 i 20 dni, dodatek gumy tara (w próbie nSzi-GT) pozwolił

ograniczyć ilość wody wydzielonej odpowiednio o około 10% i 6% w porównaniu z próbą kontrolną (nSzi).

Tabela 7. Zawartość wody wydzielonej z kleików skleikowanych w różnych temperaturach i przechowywanych przez 1 dzień, 10 i 20 dni [%]

T _k , czas przechowywania kleików	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C, 1. dzień	3,47 ^{ca}	0,335	1,10 ^{ba}	0,159	1,34 ^{ba}	0,085	1,07 ^{aa}	0,287
70°C, 10. dzień	8,40 ^{ab}	0,382	10,42 ^{bb}	0,759	7,41 ^{ab}	0,768	7,35 ^{ab}	0,765
70°C, 20. dzień	21,79 ^{bc}	0,373	23,05 ^{bc}	1,316	20,59 ^{bc}	2,387	16,49 ^{ac}	0,467
75°C, 1. dzień	1,51 ^{ca}	0,103	1,17 ^{ba}	0,178	0,99 ^{ba}	0,107	0,54 ^{aa}	0,232
75°C, 10. dzień	11,46 ^{bb}	1,410	11,32 ^{bb}	1,752	7,19 ^{ab}	0,275	6,59 ^{ab}	0,960
75°C, 20. dzień	11,89 ^{bb}	0,696	14,50 ^{cc}	0,908	9,90 ^{ac}	0,407	10,18 ^{abC}	1,432
80°C, 1. dzień	0,58 ^{aa}	0,115	0,92 ^{ba}	0,171	0,98 ^{ba}	0,159	0,71 ^{abA}	0,180
80°C, 10. dzień	14,60 ^{cb}	0,670	4,01 ^{ab}	0,675	4,01 ^{ab}	0,675	8,19 ^{bb}	0,960
80°C, 20. dzień	16,57 ^{cc}	0,857	13,96 ^{bc}	0,935	10,16 ^{ac}	0,499	11,02 ^{abB}	2,404
85°C, 1. dzień	0,77 ^{ba}	0,095	0,71 ^{ba}	0,089	0,48 ^{aa}	0,113	1,02 ^{ba}	0,152
85°C, 10. dzień	3,91 ^{cb}	0,191	0,68 ^{aa}	0,060	2,62 ^{bb}	0,416	2,94 ^{bb}	0,339
85°C, 20. dzień	4,21 ^{cb}	0,630	2,22 ^{ab}	0,430	2,76 ^{bb}	0,197	3,23 ^{bcB}	1,316
90°C, 1. dzień	0,69 ^{ba}	0,025	0,64 ^{ba}	0,430	0,63 ^{ba}	0,115	0,51 ^{aa}	0,067
90°C, 10. dzień	3,20 ^{db}	0,133	2,32 ^{cb}	0,017	0,51 ^{aa}	0,090	1,47 ^{bb}	0,318
90°C, 20. dzień	3,56 ^{bb}	0,384	2,59 ^{bb}	0,902	1,55 ^{ab}	0,155	4,73 ^{cc}	0,580

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_k - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą iara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Zawartość wody zaabsorbowanej różniła się w zależności od rodzaju dodanej gumy, a także zadanej temperatury kleikowania i czasu przechowywania (Tab. 8). Kleikowanie w temperaturze 80°C, 85°C i 90°C prób nSzi oraz nSzi-GK powodowało zmniejszenie ilości wody zaabsorbowanej, w próbach przechowywanych przez 10 i 20 dni w porównaniu do prób kleikowanych w temperaturze 70°C i 75°C oraz przechowywanych przez ten sam okres czasu. Z kolei w przypadku mieszanin nSzi-GG oraz nSzi-GT wyraźne zmniejszenie ilości wody zaabsorbowanej nastąpiło dopiero po kleikowaniu w temperaturze 85°C. Dodatkowo w przypadku tych mieszanin zaobserwowano największy spadek ilości wody zaabsorbowanej w wyniku zwiększenia temperatury kleikowania. W 20 dniu przechowywania w temperaturze kleikowania 70°C ilość wody zaabsorbowanej wynosiła dla nich odpowiednio 10,60% i 20,02%, z kolei dla prób kleikowanych w temperaturze 90°C oraz przechowywanych przez

ten sam okres czasu wartość wody zaabsorbowanej wyniosła odpowiednio tylko 1,75% i 1,02%. Tak znaczna zmiana wartości dla mieszanin nSzi-GG oraz nSzi-GT sugeruje, że w wyższej temperaturze kleikowania składniki te skutecznie wiążą wodę, tworząc trwale struktury odporne na retrogradację. W każdym badanym przypadku zaobserwowano, że wraz z czasem przechowywania ilość wody zaabsorbowanej wzrastała. Największy wpływ czasu przechowywania występował dla prób nSzi-GT oraz nSzi-GG kleikowanych w temperaturze 70°C i 80°C.

Tabela 8. Zawartość wody zaabsorbowanej w kleikach skleikowanych w różnych temperaturach i przechowywanych przez 1, 10 i 20 dni [%]

T _K , czas przechowywania kleików	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C, 1 dzień	0,25 ^{ba}	0,066	1,04 ^{ca}	0,275	0,96 ^{ca}	0,246	0,00 ^{aa}	0,000
70°C, 10. dzień	9,33 ^{cc}	1,400	9,25 ^{cb}	0,954	6,82 ^{bb}	1,305	5,33 ^{ab}	0,350
70°C, 20. dzień	5,89 ^{ab}	0,201	10,60 ^{bb}	0,366	20,02 ^{cc}	0,238	10,14 ^{bc}	0,451
75°C, 1 dzień	0,65 ^{ba}	0,080	0,86 ^{ba}	0,116	0,68 ^{ba}	0,188	0,07 ^{aa}	0,017
75°C, 10. dzień	8,10 ^{cb}	1,060	5,34 ^{bb}	0,678	5,46 ^{bb}	0,966	3,13 ^{ab}	0,383
75°C, 20. dzień	9,78 ^{cb}	0,902	7,63 ^{bc}	0,779	8,96 ^{bc}	1,017	5,48 ^{ac}	1,706
80°C, 1 dzień	0,28 ^{ca}	0,104	0,09 ^{aa}	0,006	0,18 ^{ba}	0,053	0,13 ^{ba}	0,040
80°C, 10. dzień	2,96 ^{bb}	0,165	10,00 ^{cb}	1,347	11,34 ^{cb}	1,617	2,01 ^{ab}	0,236
80°C, 20. dzień	3,08 ^{ab}	0,144	12,47 ^{bc}	0,335	11,85 ^{bb}	0,297	3,29 ^{ac}	0,643
85°C, 1 dzień	0,24 ^{ba}	0,087	0,11 ^{aa}	0,056	0,09 ^{aa}	0,044	0,64 ^{ca}	0,159
85°C, 10. dzień	2,15 ^{abb}	0,352	1,66 ^{ab}	0,407	3,87 ^{cb}	0,867	2,80 ^{bb}	0,762
85°C, 20. dzień	2,61 ^{ab}	0,547	3,45 ^{bc}	0,205	4,25 ^{bb}	0,645	3,50 ^{abb}	0,924
90°C, 1 dzień	0,09 ^{aa}	0,032	0,20 ^{ba}	0,072	0,66 ^{ca}	0,121	0,56 ^{ca}	0,053
90°C, 10. dzień	1,53 ^{cb}	0,167	0,62 ^{ab}	0,119	0,69 ^{aba}	0,023	0,87 ^{bb}	0,132
90°C, 20. dzień	1,66 ^{bb}	0,387	1,75 ^{bc}	0,143	1,02 ^{ab}	0,191	1,04 ^{ab}	0,121

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_K - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Stopień synerезy określa sumaryczną zdolność kleików do utrzymywania wody w powstałej matrycy. Został obliczony jako suma ilości wody wydzielonej naturalnie oraz zaabsorbowanej, pomniejszona o ilość wody niezwiązanej. Tym samym parametr ten odzwierciedla całkowitą ilość wody, która w wyniku postępującej retrogradacji została wydzielona z kleiku, z uwzględnieniem poprawki na ilość wody, która nie została z nim związana. We wszystkich przypadkach zaobserwowano wzrost stopnia synerезy wraz z czasem

przechowywania (Tab. 9). Niezależnie od rodzaju badanego materiału oraz zadanej temperatury kleikowania w czasie przechowywania stopień synerезy wzrastał. W każdym badanym układzie uzyskane wyniki stopnia synerезy różniły się istotnie statystycznie pomiędzy poszczególnymi dniami przechowywania. Niezależnie od rodzaju badanego materiału można zauważyć, że im wyższą zadaną temperaturę kleikowania zastosowano tym kleiki charakteryzowały się niższymi wartościami stopnia synerезy.

W przypadku niższej temperatury kleikowania (75°C i 80°C) najniższe wartości stopnia synerезy uzyskała mieszanina nSzi-GK (szczególnie dla 10 i 20 dnia przechowywania). Największą wartością tego parametru charakteryzowały się mieszaniny nSzi-GG oraz nSzi-GT kleikowane w temperaturze 70°C i 80°C oraz przechowywane przez 20 dni. Jednocześnie te same mieszaniny kleikowane w temperaturze 90°C wykazywały najmniejszą wartość stopnia synerезy. Szczególnie niską wartością (1,82% – ponad 2,5-krotnie mniejszą, w stosunku do próby kontrolnej) charakteryzowała się próba nSzi-GT kleikowana w temperaturze 90°C oraz przechowywana przez 20 dni. Uzyskane wyniki potwierdzają, że stopień synerезy jest ściśle zależny od temperatury procesu kleikowania oraz czasu przechowywania. Tym samym dobór polisacharydów do mieszanin skrobiowych wymaga uwzględnienia ich charakterystyki i dopasowania ich do parametrów procesu technologicznego przyszłych produktów.

Podobne zależności dotyczące wpływu dodatku różnych polisacharydów na stopień synerезy kleików skrobiowych, zarówno przechowywanych w warunkach chłodniczych, jak i zamrażanych oraz rozmrażanych odnotowali również da Silva Costa, Bonomo, Rodrigues, Santos, Velos (2020), Varela i in. (2016), Lin, Tsai, Liao, Sung (2023), Li i in. (2023), Alam, Nawab, Lutfi, Haider (2020), Charoenrein, Tatirat, Rengsutthi, Thongngam (2011), Xu i in. (2022).

W początkowym etapie przechowywania kleiku skrobiowego przestrzenie pomiędzy wiązaniami poprzecznymi w jego strukturze są nieliczne i niewielkie. Wraz z upływem czasu ich liczba i rozmiar rosną, czemu towarzyszy zjawisko synerезy. Wprowadzenie dodatkowych związków hydrofilowych, szczególnie o niskim stopniu rozgałęzienia, takich jak guma guar, tara czy konjac ogranicza asocjację między amylozą i amylopektyną, utrudniając uporządkowanie struktur kleiku. Jako wytłumaczenie tego zjawiska literatura wskazuje na synergistyczne oddziaływania, które stabilizują strukturę kleiku, poprzez blokowanie wolnych przestrzeni, ograniczenie tworzenia wiązań wodorowych między frakcjami polisacharydowymi skrobi oraz zmniejszenie migracji wody, wynikające z silnych właściwości hydrofilowych zastosowanych gum (da Silva Costa i in., 2020; Donmez, Pinho, Patel, Desam, Campanella, 2021; Mahmood i in., 2017).

Tabela 9. Stopień synerazy kleików skrobiowych w zależności od temperatury kleikowania i czasu przechowywania [%]

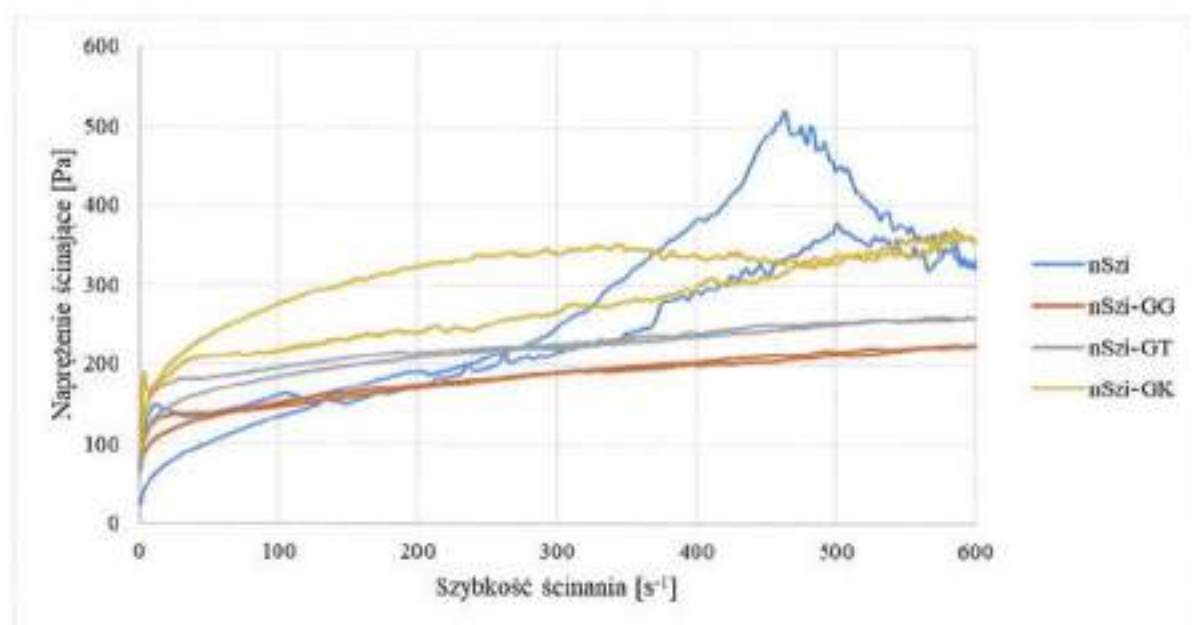
T _K , czas przechowywania kleików	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C, 1. dzień	1,89 ^{ba}	0,324	1,89 ^{ba}	0,421	1,68 ^{ba}	0,272	1,04 ^{aA}	0,470
70°C, 10. dzień	16,77 ^{abB}	1,906	19,02 ^{bb}	1,926	12,45 ^{ab}	3,095	13,35 ^{ab}	0,979
70°C, 20. dzień	25,83 ^{aC}	0,193	33,13 ^{bC}	0,665	39,52 ^{cC}	2,486	25,98 ^{aC}	0,588
75°C, 1. dzień	1,30 ^{ba}	0,071	1,69 ^{ca}	0,236	1,10 ^{ba}	0,190	0,59 ^{aA}	0,248
75°C, 10. dzień	18,70 ^{ab}	1,370	16,32 ^{bb}	2,427	12,07 ^{bb}	1,194	9,68 ^{ab}	0,874
75°C, 20. dzień	20,80 ^{bb}	1,104	21,79 ^{bC}	1,536	18,28 ^{aC}	0,802	15,40 ^{aC}	2,557
80°C, 1. dzień	0,27 ^{aA}	0,217	0,64 ^{ba}	0,168	0,54 ^{ba}	0,107	0,83 ^{ca}	0,204
80°C, 10. dzień	16,92 ^{ab}	0,549	13,63 ^{bb}	1,121	15,67 ^{bb}	1,335	10,20 ^{ab}	1,105
80°C, 20. dzień	19,32 ^{bC}	0,830	26,06 ^{dc}	0,864	21,43 ^{cC}	0,730	13,95 ^{aC}	2,733
85°C, 1. dzień	0,64 ^{ca}	0,141	0,40 ^{ba}	0,051	0,15 ^{aA}	0,026	1,64 ^{da}	0,261
85°C, 10. dzień	5,68 ^{bb}	0,382	1,92 ^{aB}	0,367	5,84 ^{bb}	0,635	5,86 ^{bb}	0,696
85°C, 20. dzień	6,34 ^{abB}	1,172	5,24 ^{aC}	0,587	6,37 ^{abB}	0,779	6,82 ^{bb}	0,764
90°C, 1. dzień	0,38 ^{aA}	0,017	0,42 ^{aA}	0,241	0,58 ^{ba}	0,051	1,07 ^{ca}	0,011
90°C, 10. dzień	4,33 ^{cb}	0,216	2,53 ^{bb}	0,138	0,53 ^{aA}	0,116	2,33 ^{bb}	0,397
90°C, 20. dzień	4,80 ^{bb}	0,466	4,12 ^{bC}	0,903	1,82 ^{aB}	0,015	5,77 ^{cC}	0,694

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_K - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

4.1.2.4. Właściwości reologiczne

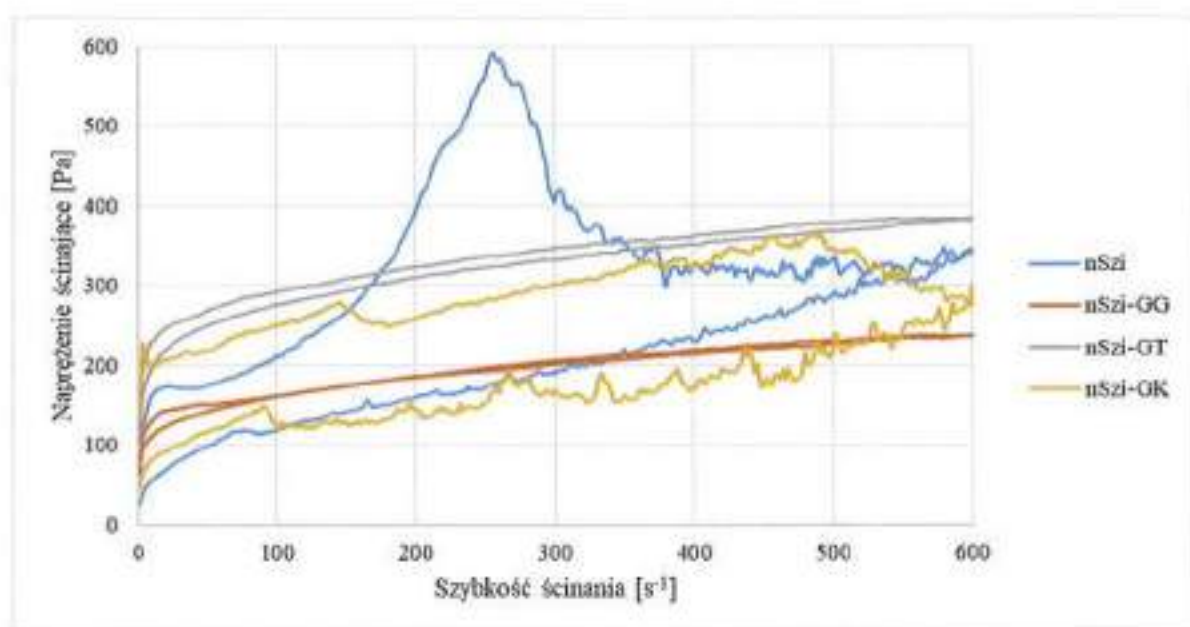
Właściwości reologiczne stanowią jedne z ważniejszych cech produktów spożywczych. Dlatego poznanie charakterystyki reologicznej kleików jest istotne zarówno na etapie projektowania, jak i oceny produktów oraz procesów w technologii żywności. Na podstawie analizy krzywych płynięcia kleików uzyskanych w zadanych temperaturach kleikowania wynoszących 70°C, 75°C, 80°C, 85°C i 90°C stwierdzono, że badane układy wykazują charakter płynów nienewtonowskich o właściwościach pseudoplastycznych (rozrzedzanych ścinaniem) oraz tiksotropowych, co jest typowe dla tego rodzaju materiałów (Orczykowska, 2023; Sikora i in., 2015; He, Li, Wu, 2024) (Rys. 16, Rys. 17, Rys. 18, Rys. 19, Rys. 20). Wartości naprężeń ścinających różniły się w zależności od rodzaju próby oraz temperatury kleikowania. Wraz ze wzrostem temperatury kleikowania obserwowano wzrost naprężeń ścinających w przypadku mieszanin z gumą guar i gumą tara. Odwrotną tendencję wykazywały próby z gumą konjac oraz próba kontrolna, w ich przypadku naprężenia ścinające malały,

szczególnie przy wyższych szybkościach ścinania. Jednocześnie kleiki nSzi oraz nSzi-GK charakteryzowały się największą powierzchnią pętli histerezy, co wskazuje na znaczne zniszczenie ich struktury. Podobną zależność dla kleików skrobiowych kleikowanych w różnych temperaturach opisali Sikora i in. (2015), wskazując, że wzrostowi temperatury towarzyszy spadek naprężenia ścinającego podczas ścinania. W badaniach He i in. (2024) zastosowanie gumy konjac w mieszaninach ze skrobią z fioletoowych ziemniaków spowodowało wzrost naprężenia ścinającego w stosunku do próby bez dodatku gumy. Jednak badania prowadzone przez autorów obejmowały węższy zakres szybkości ścinania (0 do 100 s^{-1}), niż zastosowany w pracy (0-600 s^{-1}), co może tłumaczyć rozbieżność wyników otrzymanych w zakresie powyżej 100 s^{-1} z niniejszymi obserwacjami dla próby nSzi-GK. Wzrost naprężeń ścinających oraz mniejsza powierzchnia pętli histerezy w próbach nSzi-GG oraz nSzi-GT sugerują, że zastosowane galaktomannany mogły przyczynić się do stabilizacji struktury reologicznej kleików oraz ograniczyły ich podatność na niszczenie ścinaniem.



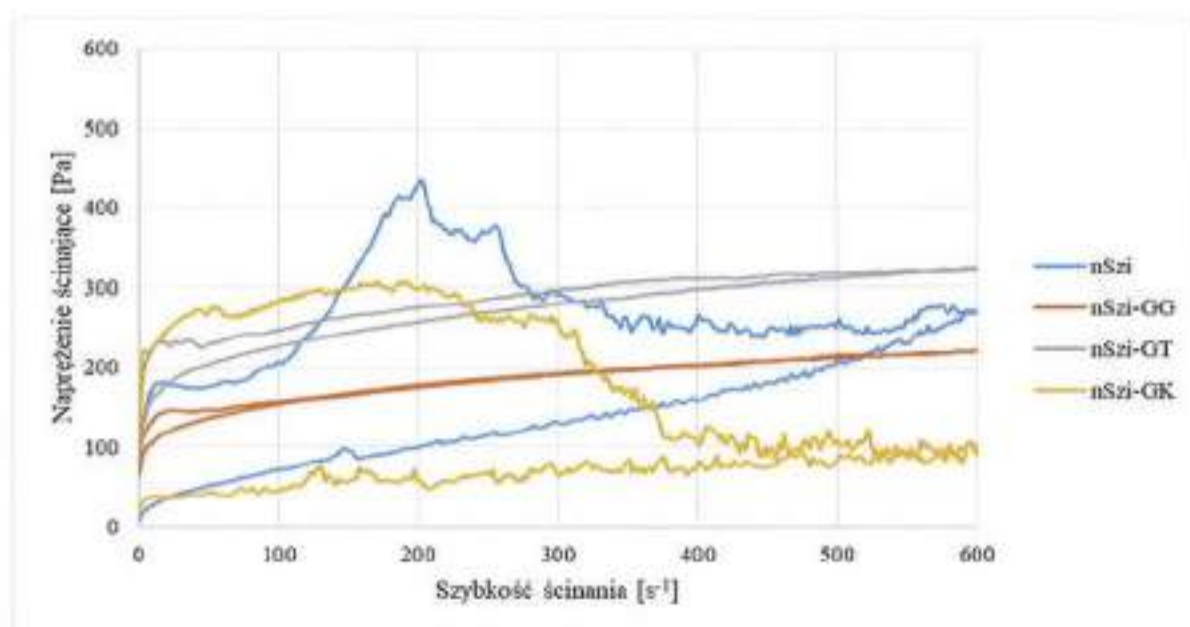
Rysunek 16. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 70°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac



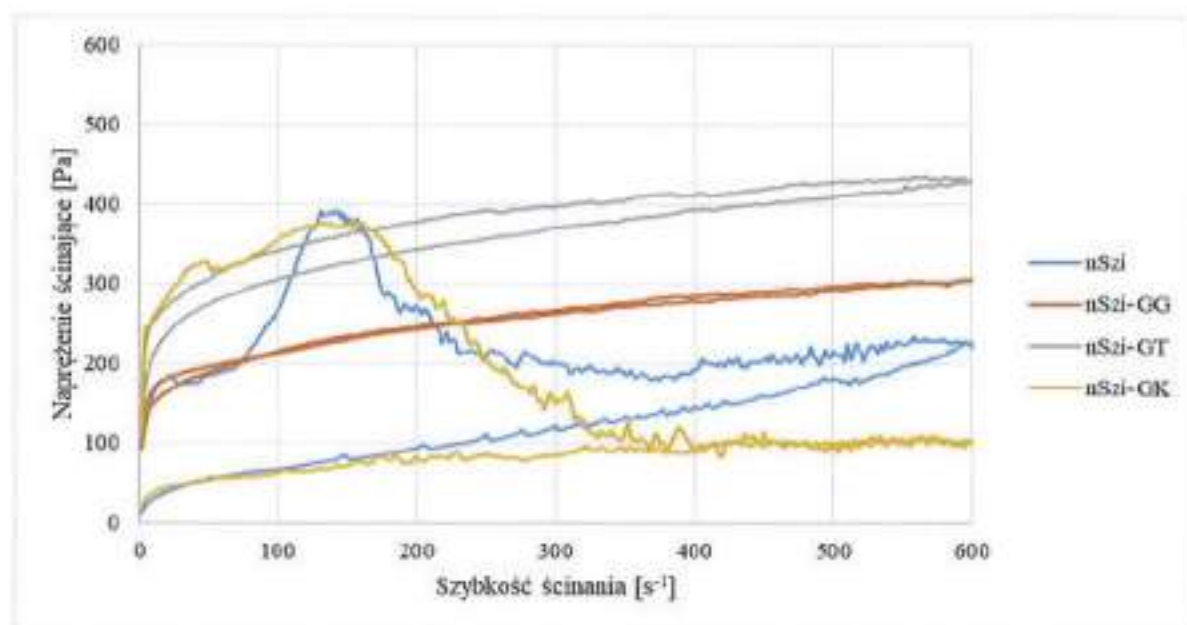
Rysunek 17. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 75°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac



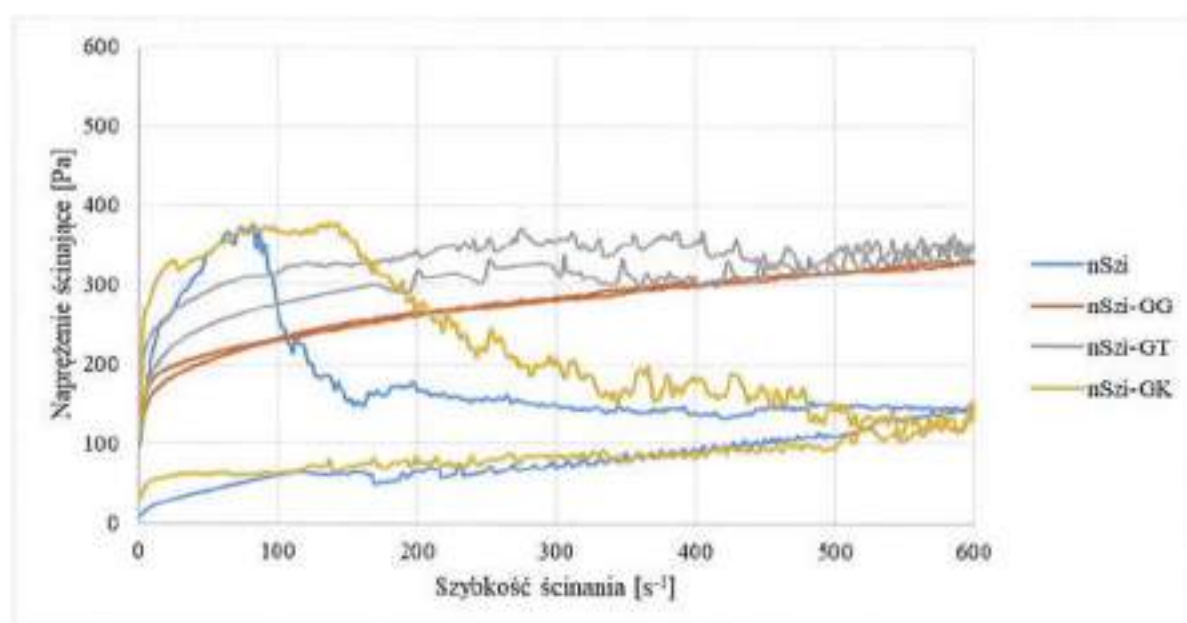
Rysunek 18. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 80°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac



Rysunek 19. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 85°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac



Rysunek 20. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 90°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac

Otrzymane w badaniu krzywe płynięcia, zarówno dla wzrastającej szybkości ścinania ($0\text{--}600\text{ s}^{-1}$), jak i malejącej ($600\text{--}0\text{ s}^{-1}$), zostały opisane za pomocą modelu potęgowego Ostwalda-de Waele'a, co pozwoliło na scharakteryzowanie jego parametrów reologicznych:

- **Współczynnika konsystencji** – K_1 (dla zakresu szybkości ścinania od 0 do 600 s⁻¹) oraz K_2 (dla zakresu szybkości ścinania od 600 do 0 s⁻¹) – informujących o ogólnej lepkości układu, jako miary oporu stawianego przez próbę podczas ścinania.
- **Wskaźnika płynięcia** – n_1 (dla zakresu szybkości ścinania od 0 do 600 s⁻¹) oraz n_2 (dla zakresu szybkości ścinania od 600 do 0 s⁻¹) – określających charakter przepływu – zbieżność badanych mieszanin z charakterystyką zachowania płynów newtonowskich.
- **Współczynnika dopasowania** – R^2 – informującego o stopniu dopasowania modelu potęgowego do uzyskanych krzywych płynięcia.

Z wyjątkiem danych eksperymentalnych dotyczących wzrastających krzywych płynięcia kleików z mieszaniny nSzi-GK, kleikowanych w temperaturach 80°C, 85°C i 90°C, zastosowany model matematyczny charakteryzował się bardzo dobrym dopasowaniem do danych ($R^2 \geq 0,93$) (Tab. 10, Tab. 11). W przypadku wspomnianej mieszaniny współczynniki dopasowania modelu (R^2) wynosiły odpowiednio: 0,78, 0,79 i 0,82.

Tabela 10. Wartości współczynnika dopasowania R^2 modelu Ostwalda-de Waele’a do krzywych płynięcia przy wzrastającej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania

T_K	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C	0,94^{aA}	0,031	1,00^{bA}	0,002	1,00^{bA}	0,001	1,00^{bB}	0,004
75°C	0,94^{aA}	0,005	1,00^{bcA}	0,005	1,00^{cA}	0,001	0,99^{bB}	0,008
80°C	0,95^{bA}	0,012	1,00^{cA}	0,003	1,00^{cA}	0,003	0,78^{aA}	0,046
85°C	0,96^{bA}	0,017	1,00^{cA}	0,002	1,00^{cA}	0,004	0,79^{aA}	0,078
90°C	0,93^{aA}	0,011	1,00^{bA}	0,000	0,99^{bA}	0,003	0,82^{aA}	0,073

$\bar{x}$ – wartość średnia; SD – odchylenie standardowe; T_K – temperatura kleikowania; nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... – wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... – wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Tabela 11. Wartości współczynnika dopasowania R^2 modelu Ostwalda-de Waele'a do krzywych płynięcia przy malejącej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania

T_K	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C	0,99^{aA}	0,002	1,00^{bA}	0,001	1,00^{bA}	0,002	1,00^{cA}	0,001
75°C	0,99^{bA}	0,002	1,00^{aA}	0,002	1,00^{aA}	0,000	0,97^{abA}	0,026
80°C	0,99^{aA}	0,006	1,00^{bA}	0,00	1,00^{bA}	0,001	0,99^{abA}	0,004
85°C	0,99^{aA}	0,002	1,00^{bA}	0,006	1,00^{bA}	0,002	0,99^{abA}	0,006
90°C	0,99^{aA}	0,007	1,00^{bA}	0,001	1,00^{aA}	0,010	0,99^{abA}	0,005

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_K - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Niezależnie od rodzaju badanego materiału im wyższą zadaną temperaturę kleikowania zastosowano tym wartość współczynnika konsystencji (K_1) badanych kleików była wyższa (Tab. 12). Obserwowany wzrost wartości K_1 świadczy o równoczesnym wzroście lepkości i oporów stawianych przez kleiki podczas ścinania. Wskazuje to na powstawanie w wyższej temperaturze kleikowania struktur kleiku trwalszych od tworzących się podczas kleikowania w niższej temperaturze. Największe zmiany wartości K_1 zaobserwowano dla prób nSzi-GK oraz nSzi, co sugeruje, że w ich przypadku wzrost zadanej temperatury najbardziej sprzyjał zwiększeniu się lepkości, z charakterystyką próby zbliżoną do ciała stałego, silnie zależną od szybkości ścinania. Kleiki nSzi-GK otrzymane w temperaturze kleikowania wynoszącej 90°C osiągnęły wartość K_1 przekraczającą 1000 Pa·sⁿ, a więc niemal trzykrotnie wyższą niż próba kontrolna i blisko dziesięciokrotnie wyższą niż kleiki nSzi-GG, charakteryzujące się najmniejszą wartością K_1 (109,36 Pa·sⁿ). Z kolei dla kleików nSzi-GT, uzyskanych również w temperaturze 90°C, wartość współczynnika konsystencji była najbardziej zbliżona do próby kontrolnej (niższa o ponad 1,5 raza) i wynosiła ponad 226 Pa·sⁿ.

Tabela 12. Wartości współczynnika konsystencji K_1 (Pa·s⁻ⁿ) modelu Ostwalda-de Waele'a dla krzywych płynięcia przy wzrastającej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania

T_K	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C	34,42 ^{aA}	6,018	79,16 ^{bA}	6,332	124,27 ^{cA}	19,686	110,13 ^{cA}	9,089
75°C	79,48 ^{aB}	2,823	77,21 ^{aA}	10,245	144,19 ^{bA}	17,954	155,27 ^{bB}	18,768
80°C	123,88 ^{bC}	19,295	89,42 ^{aAB}	5,810	142,14 ^{bA}	4,918	1038,58 ^{cC}	177,208
85°C	199,54 ^{bD}	11,080	99,87 ^{aBC}	4,789	160,79 ^{bA}	22,973	1066,70 ^{cC}	210,464
90°C	365,68 ^{cE}	56,423	109,36 ^{aC}	6,991	226,47 ^{bB}	24,753	1078,53 ^{dC}	210,464

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_K - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

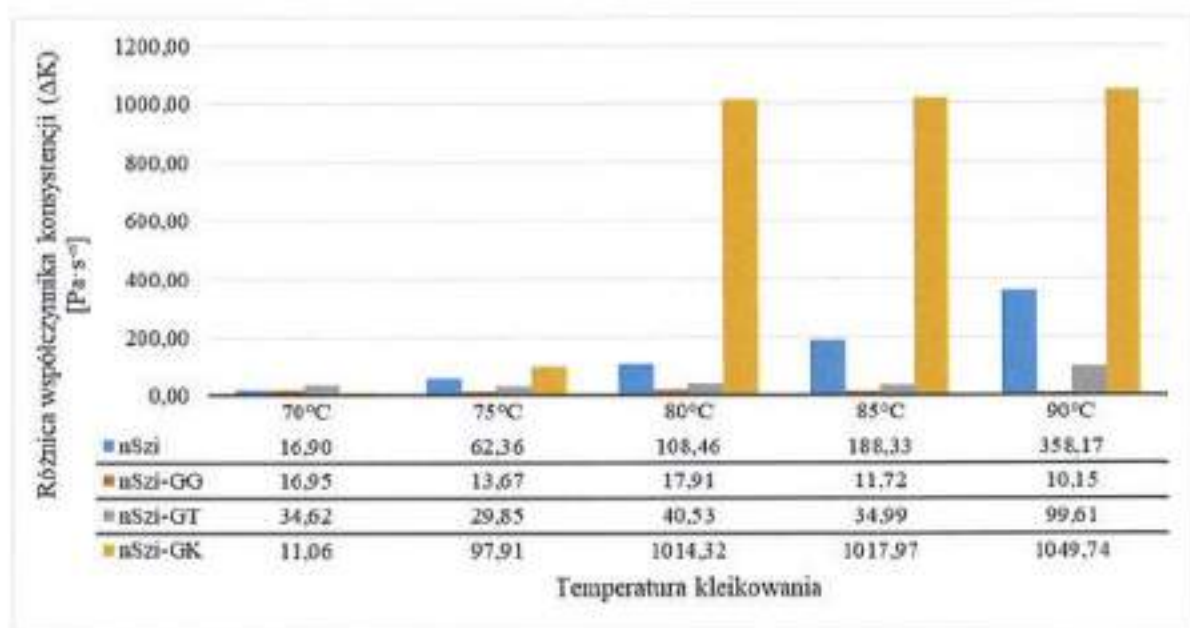
Współczynnik konsystencji (K_2) opisujący krzywe płynięcia przy malejącej szybkości ścinania wzrastał wraz ze wzrostem zadanej temperatury kleikowania dla prób nSzi-GG i nSzi-GT, natomiast malał dla prób nSzi oraz nSzi-GK (Tab. 13). Wzrost wartości współczynników K_1 i K_2 może wskazywać, że wraz ze wzrostem zadanej temperatury kleikowania struktura kleików stawała się bardziej odporna na działanie sił ścinających. Jednocześnie obserwowany wzrost wartości K_1 (dla krzywych przy wzrastającej szybkości ścinania) oraz spadek wartości K_2 (dla krzywych przy malejącej szybkości ścinania) sugeruje, że choć wyższa temperatura sprzyja tworzeniu bardziej uporządkowanej i trwałej struktury, to zwiększała także jej podatność na zniszczenie pod wpływem ścinania. Efekt ten był szczególnie wyraźny dla prób nSzi oraz nSzi-GK. We wszystkich analizowanych przypadkach wartości współczynnika K_2 były niższe niż K_1 , co oznacza, że ścinanie doprowadziło do częściowego zniszczenia struktury kleiku. Mimo pewnej odbudowy układu podczas zmniejszania szybkości ścinania, jego lepkość, stabilność oraz zagęszczenie uległy znacznemu obniżeniu (Zhang, Gu, Hong, Li, Cheng, 2011b).

Tabela 13. Wartości współczynnika konsystencji K_2 ($\text{Pa}\cdot\text{s}^{-n}$) modelu Ostwalda-de Waele'a dla krzywych płynięcia przy malejącej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania

T_K	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C	17,52 ^{aC}	1,014	62,21 ^{bA}	3,865	89,65 ^{cA}	8,269	99,07 ^{cD}	10,484
75°C	17,12 ^{aC}	2,555	63,54 ^{bA}	5,320	114,34 ^{cABC}	20,156	57,36 ^{bC}	5,808
80°C	15,42 ^{aBC}	2,711	71,51 ^{cA}	6,312	101,61 ^{dAB}	7,687	24,26 ^{bA}	1,762
85°C	11,21 ^{aB}	1,647	88,15 ^{cB}	5,284	125,80 ^{dC}	10,309	48,73 ^{bC}	7,317
90°C	7,51 ^{aA}	1,142	99,21 ^{cB}	9,097	126,86 ^{dBC}	14,439	28,79 ^{bB}	1,489

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_K - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

W celu zobrazowania zmiany między parametrami K_1 i K_2 , obliczono ich różnicę (ΔK). Im większa różnica (ΔK) między współczynnikami K_1 i K_2 , tym większy stopień destrukcji struktury kleiku (Rys. 21). Duże różnice zaobserwowane dla prób nSzi i nSzi-GK potwierdzają, że mimo wysokiej początkowej lepkości pozornej oraz wysokich wartości K_1 (w stosunku do pozostałych układów), struktura tych kleików była najbardziej podatna na degradację w wyniku ścinania. Z kolei próby nSzi-GG i nSzi-GT wykazały największą odporność na zniszczenie struktury, co może wynikać z ustabilizowania matrycy skrobiowej przez obecność galaktomannanów. Choć ich struktura po działaniu sił ścinających również wykazywała cechy mniej usieciowanej, to zakres zniszczenia struktury był wyraźnie mniejszy niż w przypadku prób nSzi oraz nSzi-GK.



Rysunek 21. Różnica współczynnika konsystencji (ΔK) - różnica średnich wartości K_1 i K_2

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; *nSzi-GG* – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; *nSzi-GT* – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; *nSzi-GK* – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac

Wartość wskaźnika płynięcia n informuje o stopniu zbieżności płynu z charakterystyką płynów newtonowskich. Dla płynów newtonowskich $n = 1$, dla płynów dyatacyjnych (zagęszczanych ścinaniem) $n > 1$, natomiast dla płynów pseudoplastycznych (rozrzedzanych ścinaniem) $n < 1$. W przypadku badanych kleików wartości n_1 były niższe od 1, co potwierdza ich pseudoplastyczny charakter, zgodny z wynikami analizy krzywych płynięcia (Tab. 14). Wraz ze wzrostem temperatury kleikowania, kleiki *nSzi* oraz *nSzi-GK* wykazywały coraz większą pseudoplastyczność. Jest to zgodne z obserwacjami dotyczącymi parametru ΔK , wskazującymi, że wzrost temperatury prowadził w tych próbach do powstawania struktur bardziej podatnych na niszczenie w wyniku ścinania. Kleiki *nSzi-GG* wykazywały jedynie nieznaczne zmiany wskaźnika n_1 , natomiast w przypadku mieszaniny *nSzi-GT* największą zmianę odnotowano przy wzroście temperatury kleikowania z 85°C do 90°C. Szczególnie niskie wartości n_1 obserwowane dla prób *nSzi* i *nSzi-GK*, osiągające wartości poniżej zera, świadczą o znacznym spadku lepkości pozornej w wyniku ścinania, co może wskazywać na silne zniszczenie struktury tych kleików.

Tabela 14. Wartości wskaźnika płynięcia n_1 [-] modelu Ostwalda-de Waele'a dla krzywych płynięcia przy wzrastającej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania

T_K	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C	0,37^{ce}	0,045	0,15^{abAB}	0,018	0,12^{abc}	0,027	0,18^{bb}	0,011
75°C	0,25^{bd}	0,002	0,16^{aAB}	0,016	0,14^{ac}	0,004	0,13^{ab}	0,028
80°C	0,14^{bc}	0,025	0,14^{ca}	0,002	0,13^{bb}	0,004	-0,32^{aA}	0,034
85°C	0,03^{bb}	0,003	0,16^{caB}	0,012	0,14^{cBC}	0,013	-0,31^{aA}	0,055
90°C	-0,10^{ba}	0,014	0,17^{dB}	0,003	0,08^{ca}	0,009	-0,32^{aA}	0,064

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_K - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Wartość wskaźnika płynięcia n_2 , opisującego krzywe płynięcia dla malejącej szybkości ścinania, w większości przypadków pozostawała niezależna od temperatury kleikowania (Tab. 15). We wszystkich przypadkach wartości n_2 były większe niż n_1 , czyli te opisujące krzywe płynięcia przy wzrastającej szybkości ścinania. Oznacza to, że zmniejszenie szybkości ścinania spowodowało również zmniejszenie pseudoplastyczności kleików, któremu towarzyszyła częściowa odbudowa struktury zniszczonej w początkowej fazie doświadczenia. Wahania wartości n_2 zaobserwowano w próbach nSzi-GK, jednak nie wykazywały one wyraźnego trendu, a statystycznie istotne różnice występowały jedynie między temperaturami 75°C i 80°C. Szczególnie duże zdolności odbudowy struktury wykazały kleiki nSzi oraz nSzi-GK. Uzyskane wyniki potwierdzają, że badane kleiki zachowują się jak płyny tiksotropowe, których struktura po zmniejszeniu lub odjęciu ścinania może się częściowo odbudować. Analiza zależności ($n_2 > n_1$; $K_2 < K_1$) wskazuje, że badane układy, szczególnie nSzi i nSzi-GK odbudowują strukturę tylko częściowo, nie osiągając wartości K_2 równiej K_1 z fazy początkowej. Oznacza to brak pełnej regeneracji sieci polimerowej i liczby wiązań między łańcuchami polisacharydowymi. Podobny wpływ dodatków polisacharydowych na właściwości reologiczne kleików zaobserwowali Gałkowska, Pycia, Juszczak, Pająk (2014), którzy odnotowali, że dodatek gumy kasja - zależnie od zastosowanej ilości i rodzaju badanej skrobi wpływał na lepkość pozorną i pseudoplastyczność układów. Odmienne wyniki przedstawili Sikora i in. (2017) w badaniach nad skrobią ziemniaczaną z mączką chleba świętojańskiego, gdzie wzrost temperatury kleikowania skutkował obniżeniem współczynnika konsystencji i nieregularnym wzrostem wskaźnika płynięcia. Z kolei Nandi i Guha (2018) wykazali, że wraz ze wzrostem dodatku gumy guar lepkość pozorna filmów skrobiowych wzrastała, co nie zostało potwierdzone

w niniejszych badaniach - układ nSzi-GG wykazywał większą lepkość w stosunku do próby nSzi jedynie w temperaturze 70°C. W badaniach Lee, Jo i Yoo (2017) dodatek gumy tara do układów zawierających skrobię ryżową spowodował wzrost zarówno współczynnika konsystencji, jak i wskaźnika płynięcia. Wyniki te są odmienne od obserwacji dotyczących badanej skrobi ziemniaczanej, dla której powyżej temperatury 80°C wartość współczynnika konsystencji (K_1) ulegała obniżeniu, natomiast wzrost wskaźnika płynięcia (n_1) obserwowano dopiero powyżej 85°C. Z kolei badania Wu i in. (2024) wskazują, że dodatek gumy konjac zwiększa odporność na ścinanie kleików ze skrobi ziemniaczanej, co również nie zostało potwierdzone w przypadku układu nSzi-GK. Z drugiej strony, uzyskane wyniki są zgodne z wynikami Yu i in. (2025), w przypadku których wzrost stężenia deacetylowanej gumy konjac powodował wzrost współczynnika konsystencji oraz spadek wskaźnika płynięcia zarówno dla kleików skrobi ziemniaczanej, jak i skrobi z fasoli mung. Podobne zależności potwierdzono również w badaniach Ma, Zhu i Wang (2019). Różnice między uzyskanymi wynikami a danymi literaturowymi mogą być skutkiem zastosowanych metod badawczych, zwłaszcza w odniesieniu do zakresu szybkości ścinania. W literaturze tylko nieliczne prace opisują oddzielną analizę krzywych płynięcia dla fazy wzrastającej i malejącej szybkości ścinania, przy użyciu modelu potęgowego. Choć metoda ta jest stosunkowo rzadko wykorzystywana, pozwala na bardziej precyzyjną ocenę wpływu badanych dodatków na właściwości reologiczne kleików oraz ich zdolność do odbudowy struktury po zaprzestaniu ścinania.

Tabela 15. Wartości wskaźnika płynięcia n_2 [-] modelu Ostwalda-de Waele'a dla krzywych płynięcia przy malejącej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania

T_K	Material badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C	0,47^{ca}	0,025	0,19^{ba}	0,005	0,18^{aa}	0,003	0,21^{abAB}	0,026
75°C	0,43^{ba}	0,050	0,19^{aa}	0,003	0,18^{aa}	0,008	0,18^{aA}	0,012
80°C	0,43^{ca}	0,100	0,18^{aa}	0,003	0,18^{aa}	0,006	0,23^{bb}	0,025
85°C	0,45^{ba}	0,033	0,18^{aa}	0,007	0,17^{aa}	0,004	0,17^{aAB}	0,033
90°C	0,48^{ca}	0,059	0,18^{ba}	0,004	0,15^{aa}	0,016	0,21^{bAB}	0,019

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_K - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Wartość tiksotropii, zdefiniowana jako powierzchnia pętli histerezy została przedstawiona w tabeli 16. Parametr ten obrazuje stopień zniszczenia struktury kleików na

skutek ścinania. Wraz ze wzrostem intensywności tego zjawiska zwiększała się powierzchnia pod pętlą histerezy, co skutkowało większą wartością tiksotropii. Parametr ten wykazywał różnicowanie zarówno pomiędzy badanymi układami, jak i w zależności od temperatury kleikowania, co jest zgodne z wcześniej zaobserwowanymi zmianami współczynników K i n . Największą wartością tiksotropii charakteryzowała się próba kontrolna oraz mieszanina nSzi-GK, przy czym statystycznie istotna różnica między nimi wystąpiła jedynie przy kleikowaniu w 70°C. Oba układy osiągnęły również największą wartość tiksotropii w temperaturze kleikowania wynoszącej 75°C. Próby z dodatkiem gumy konjac wykazywały najmniejszą podatność na zmiany wartości tiksotropii w zależności od temperatury kleikowania. W zakresie temperatur 75-90°C nie stwierdzono dla tych prób statystycznie istotnych różnic. Wyjątek stanowiła próba kleikowana w temperaturze 70°C, która jako jedyna osiągnęła wartość tiksotropii poniżej 0. Ujemna wartość powierzchni pętli histerezy może wskazywać na występowanie zjawiska antytiksotropii, polegającego na wzroście lepkości w wyniku ścinania. Prawdopodobną przyczyną może być zagęszczenie struktury układu podczas ścinania (Sun i in., 2020). Jednocześnie analiza współczynników konsystencji nie potwierdza jednoznacznie wystąpienia tego zjawiska – zgodnie z definicją, dla antytiksotropii wartość K_2 powinna być większa niż K_1 (Zhang i in., 2011b). Nietypowa odpowiedź reologiczna próby nSzi-GK kleikowanej w 70°C może być efektem wcześniejszego żelowania gumy konjac, które nastąpiło przed pełnym skleikowaniem skrobi, prowadząc do powstania już na tym etapie stabilnej sieci żelowej. Ma i in. (2019) wskazali, że dodatek gumy konjac powoduje wzrost powierzchni pętli histerezy w mieszaninach ze skrobią kukurydzianą – w przypadku 0,3% dodatku glukomannanu wartość ta była ponad dziewięciokrotnie większa w stosunku do próby bez jego dodatku. Tak znaczne zmiany mogą wynikać z konkurencji o wodę między komponentami układu, co ograniczało kleikowanie skrobi. Najmniejszą tiksotropię zaobserwowano dla próby nSzi-GG przy temperaturze kleikowania 90°C, była ona ponad 28 razy mniejsza niż dla próby kontrolnej. Próby te wykazały więc wysoką odporność na zniszczenie ścinaniem. W zestawieniu z małą wartością K_1 , wyniki wskazują, że struktura tych kleików przypominała bardziej ciecz niż ciało stałe - była uporządkowana, słabo usieciowana i mniej podatna na degradację podczas ścinania. Podobne obserwacje poczynili Lan i Lai (2023), badając wpływ gumy guar na układy ze skrobią z kotewki tajwańskiej. Jednak w ich przypadku obniżenie tiksotropii występowało jedynie przy określonych proporcjach gumy (0,3%) i skrobi (3,7%). Wraz ze wzrostem udziału gumy i zmniejszeniem udziału skrobi, wartość tiksotropii się zwiększała. W stosunku do pozostałych prób, kleiki nSzi-GT cechowała średnia wartość tiksotropii – przy 90°C była ona ponad dwukrotnie mniejsza niż dla próby

kontrolnej. Znaczne zmniejszenie tiksotropii w obecności gumy tarta zaobserwowali również Lee i in. (2017). Biorąc pod uwagę również wartości współczynnika K_1 można stwierdzić, że próba z gumą tarta charakteryzowała się podatnością na niszczenie struktury większą niż próba z gumą guar, ale mniejszą niż próba z gumą konjac i próba kontrolna. Dodatkowo, ich właściwości reologiczne były korzystniejsze z punktu widzenia przetwórstwa - charakteryzowały się mniejszą podatnością na zniszczenie struktury niż próba z gumą konjac, a jednocześnie miały charakter bardziej zbliżony do próby kontrolnej niż te z gumą guar, wykazując strukturę bardziej zwartą i usieciowaną, zmierzającą do ciała stałego (co potwierdzają wartości parametrów K_1 i K_2).

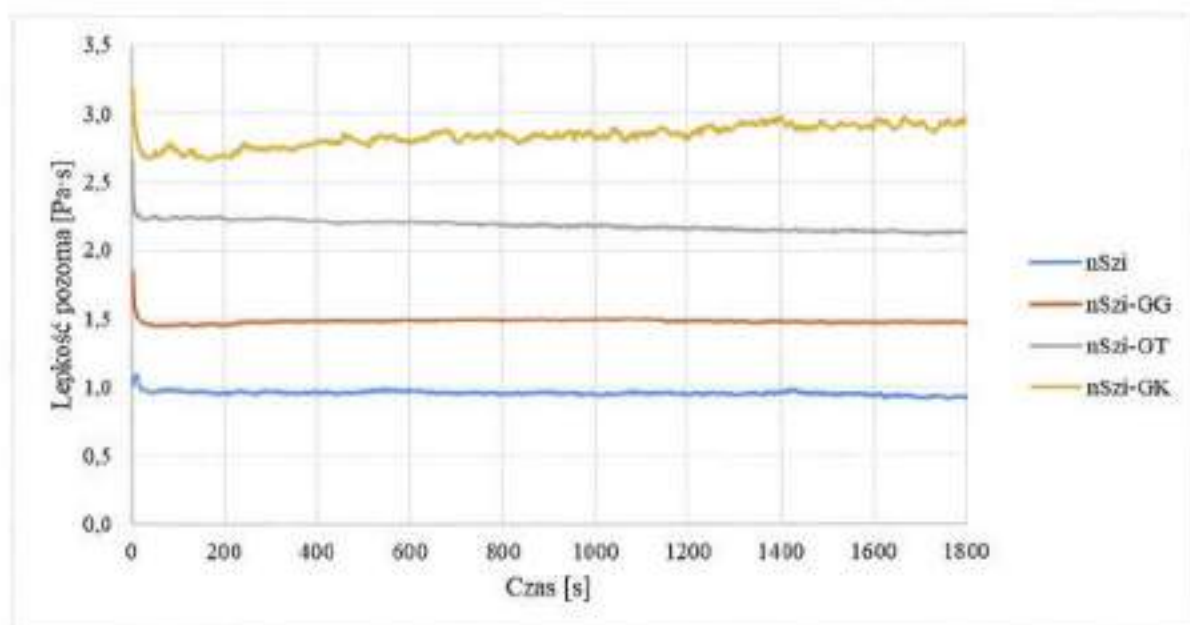
Tabela 16. Powierzchnia pętli histerezy [Pa/s] kleików kleikowanych w różnych temperaturach

T_K	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
70°C	20624^{dA}	3201,8	1555^{bA}	86,2	3995^{cA}	474,8	-4075^{aA}	196,0
75°C	79564^{bC}	2531,9	2301^{aABC}	510,7	8237^{aB}	1318,0	94675^{bB}	19366,1
80°C	73342^{cBC}	7580,4	1654^{aAB}	124,9	9771^{bB}	1736,1	71179^{cB}	6730,0
85°C	67757^{cB}	3941,8	2392^{aBC}	502,6	14015^{bC}	1814,8	72290^{cB}	3377,1
90°C	67976^{cBC}	9489,4	2356^{aC}	318,3	31410^{bC}	2678,8	74010^{cB}	16152,9

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; T_K - temperatura kleikowania; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tarta; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

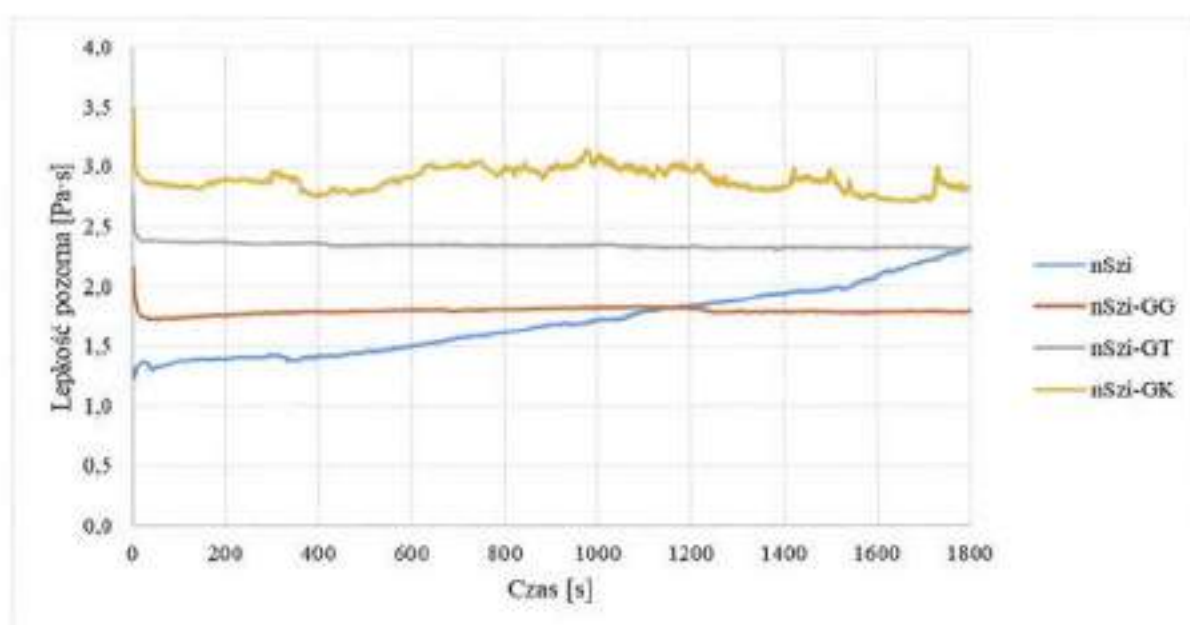
W celu dokładnej charakterystyki właściwości reologicznych kleików, ze szczególnym uwzględnieniem tiksotropii, przeprowadzono pomiar lepkości pozornej w czasie przy stałej szybkości ścinania dla prób kleikowanych w temperaturach 70°C (Rys. 22), 75°C (Rys. 23), 80°C (Rys. 24), 85°C (Rys. 25) i 90°C (Rys. 26). Szczególnie duże zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania zaobserwowano w przypadku próby kontrolnej oraz mieszaniny nSzi-GK. Dla próby kontrolnej kleikowanej w temperaturze 70°C, po niewielkim spadku lepkości na początku pomiaru, parametr ten pozostawał na względnie stałym poziomie. Jest to nietypowe dla struktur kleików i może sugerować, że w tej temperaturze nie nastąpiło jeszcze pełne skleikowanie skrobi, a tym samym nie utworzyła się usieciowana struktura kleiku. Potwierdzeniem tej hipotezy mogą być wyniki pomiarów wykonane dla tej samej próby (nSzi) kleikowanej w temperaturze 75°C. Podczas badania następował wzrost lepkości pozornej, co może świadczyć o dynamicznym procesie porządkowania struktury – przebudowa układu następowała pod wpływem ścinania. Dla próby kontrolnej otrzymanej w temperaturze 80°C

i 85°C odnotowano gwałtowny spadek lepkości pozornej na początku pomiaru, a następnie nieregularne wahania wartości parametru. W przypadku zastosowania temperatury kleikowania 90°C do otrzymania próby kontrolnej, jej lepkość pozorna obniżała się w czasie całego badania, przy czym największy spadek obserwowano w pierwszych 200 sekundach pomiaru. Mieszanina nSzi-GK kleikowana w temperaturze 70°C na początku badania wykazywała niewielki spadek lepkości pozornej, po którym następował jej systematyczny wzrost. Dla temperatury 75°C i 80°C zaobserwowano początkowy spadek lepkości pozornej, który ustabilizował się na stałym poziomie (około 3,0 Pa·s). Z kolei w przypadku prób uzyskanych w temperaturze 85°C i 90°C odnotowano gwałtowny spadek lepkości pozornej, do poziomu odpowiadającego wartościom dla próby kontrolnej. Przebieg zmian może sugerować, że w temperaturze 70-80°C dominowało żelowanie gumy konjac bez udziału skrobi, co prowadziło do powstania niespójnej struktury. W wyższej temperaturze mogło dojść do zwiększonej mobilności cząsteczek i kleikowania skrobi, jednak bez synergii z gumą konjac, co skutkowało powstaniem dwóch odrębnych faz, a nie jednorodnej sieci. Kleiki nSzi-GG kleikowane we wszystkich zadanych temperaturach wykazywały początkowy spadek lepkości pozornej, po czym parametr ten stabilizował się. Wyjątek stanowiła temperatura 90°C, gdzie zaobserwowano dodatkowy spadek w połowie pomiaru. Jednocześnie nie odnotowano znacznej zmiany lepkości pozornej w wyższych temperaturach, co może sugerować małą wrażliwość układu na zmiany temperatury kleikowania. Dla kleików nSzi-GT charakterystyczny był spadek lepkości pozornej na początku badania oraz jej dalsze zmniejszanie się w trakcie pomiaru. W temperaturze kleikowania 85°C i 90°C mieszaniny z gumą tara osiągały największe wartości lepkości pozornej. Dodatkowo obserwowano systematyczny wzrost tego parametru w zakresie temperatur kleikowania 70-85°C. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że próby z dodatkiem gumy guar i gumy tara charakteryzowały się największą odpornością na zniszczenie struktury ścinaniem, co czyni je potencjalnie korzystnymi składnikami funkcjonalnymi w aplikacjach technologicznych wymagających struktury żelowej.



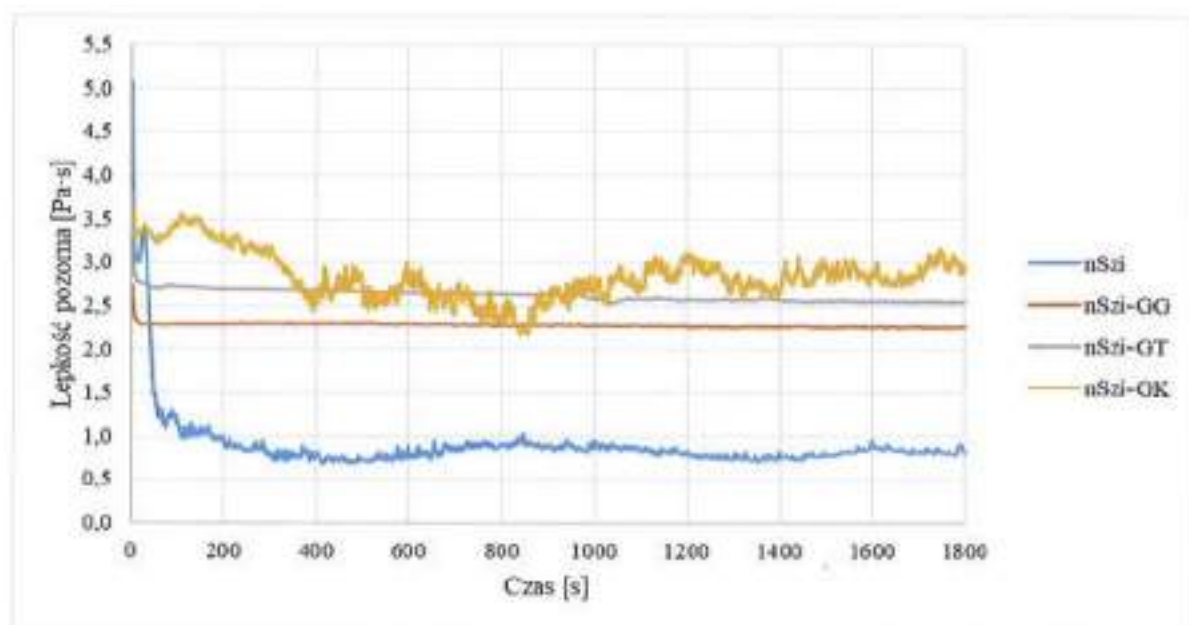
Rysunek 22. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 70°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac



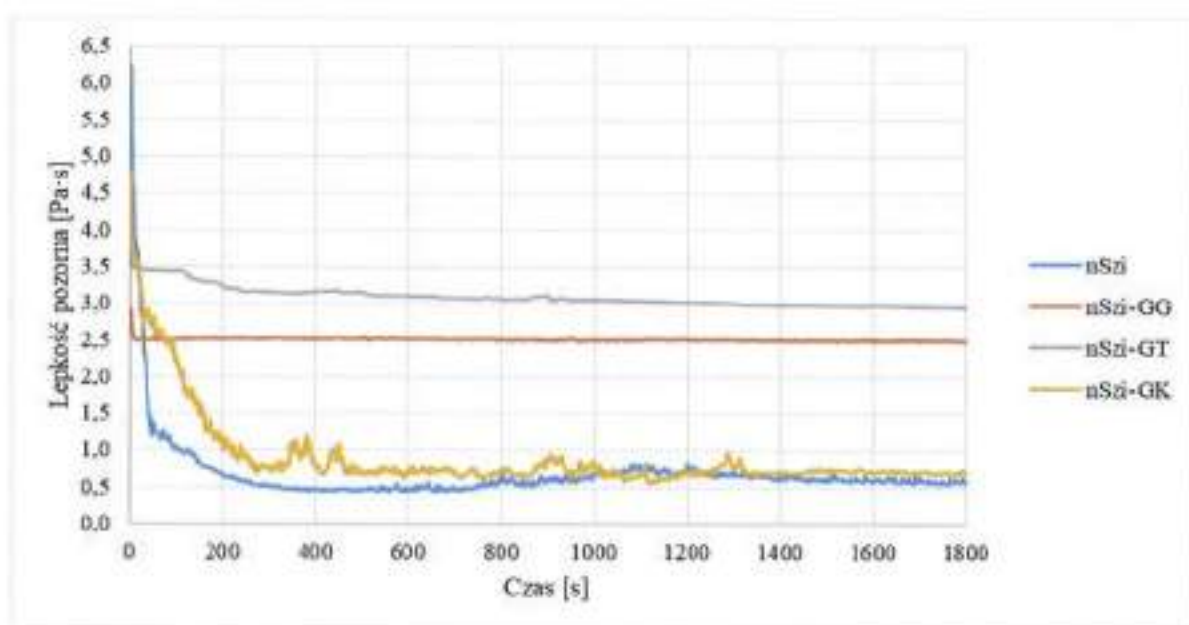
Rysunek 23. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 75°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac



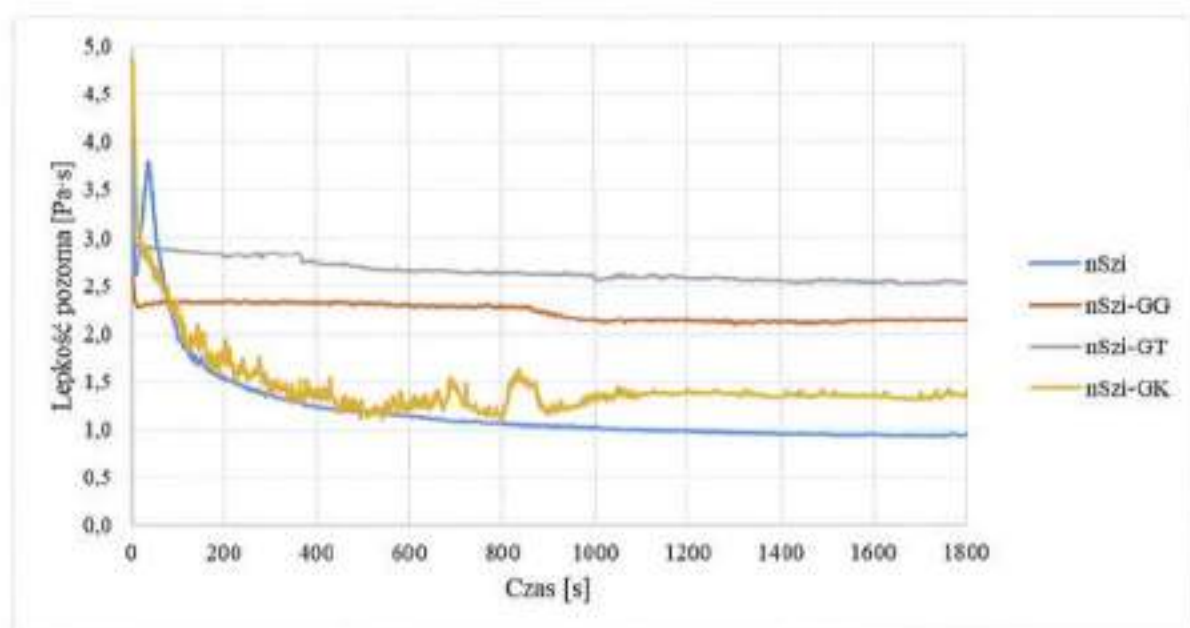
Rysunek 24. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 80°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac



Rysunek 25. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 85°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac



Rysunek 26. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 90°C

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac

Na podstawie analizy wyników uzyskanych w etapie I stwierdzono, że zastosowanie gum wpływa na modyfikację właściwości fizykochemicznych kleików skrobiowych, zmniejszając synerezę oraz w wybranych przypadkach poprawiając odporność struktury kleiku na działanie sił zewnętrznych. Zastosowane dodatki nie wpływały na przebieg procesu kleikowania poprzez zmianę właściwości termodynamicznych zawiesin. Wyjątek stanowiła guma konjac, której silne właściwości hydrofilowe mogły już w niższych temperaturach prowadzić do związania znacznej ilości dostępnej wody, co w konsekwencji mogło ograniczać stopień skleikowania skrobi. Wskazują na to zaobserwowane zmiany entalpii oraz zwiększona ilość wody niezwiązanej. Wpływ dodatków na właściwości kleików był w niektórych przypadkach silnie zależny od zadanej temperatury kleikowania i nie zawsze miał charakter korzystny. Niemniej jednak, biorąc pod uwagę zakres badań etapu II oraz opracowanie modelowych układów mięsnych o złożonej matrycy (obejmującej wodę dodaną i naturalnie obecną w mięsie, białka, tłuszcze, sól oraz inne składniki), uznano, że wszystkie analizowane mieszaniny wykazują potencjał aplikacyjny i zostały włączone do dalszych badań.

4.2. Etap II – Wpływ mieszanin polisacharydów na właściwości modelowych przetworów mięsnych

W etapie II pracy przygotowano modelowe przetwory mięsne z dodatkiem mieszanin skrobi z wybranymi polisacharydami:

- nSzi-GG - skrobia ziemniaczana z gumą guar,
- nSzi-GT - skrobia ziemniaczana z gumą tara,
- nSzi-GK - skrobia ziemniaczana z gumą konjac.

Dodatkowo sporządzono próbę kontrolną zawierającą wyłącznie skrobię ziemniaczaną (nSzi). W modelowych przetworach oceniono wpływ zastosowanych mieszanin na następujące parametry:

- wartość pH w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień),
- wartość energetyczną przetworów, w tym zawartość białka, tłuszczu i wody,
- wielkość wycieku cieplnego,
- zdolność utrzymania wody własnej i dodanej w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień),
- wielkość wycieku przechowalniczego w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień),
- barwę w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień), oraz po 2-godzinym naświetlaniu,
- cechy tekstury w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień),
- jakość organoleptyczną w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień).

4.2.1. Właściwości fizykochemiczne

Wartości pH przetworów

Wartość pH modelowych przetworów mięsnych przechowywanych przez 1, 10 i 20 dni zestawiono w tabeli 17. W pierwszym dniu badania nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic pomiędzy próbkami, przy czym najwyższą wartość pH (6,18) zmierzono w próbce kontrolnej. Wraz z upływem czasu przechowywania zaobserwowano wzrost wartości pH we wszystkich badanych wariantach. Po 10 dniach przechowywania najwyższą wartością tego parametru charateryzowała się próbka nSzi-GG, jednak różnica względem próby kontrolnej nie była istotna statystycznie. Po 20 dniach przechowywania najwyższe wartości pH (6,91) - zbliżone do obojętnego (7,00) - osiągnęła próbka kontrolna. Jednocześnie to właśnie w tej próbce odnotowano największą zmianę wartości pH w całym okresie przechowywania. Najmniejszy przyrost wartości pH wystąpił natomiast w próbce nSzi-GK. We wszystkich próbkach z dodatkiem mieszanin polisacharydów wartość pH w 20. dniu przechowywania mieściła się w zakresie 6,28-6,37, co wskazuje na utrzymanie lekko kwaśnego odczynu -

charakterystycznego dla przetworów mięsnych. Obserwowane niższe wartości pH dla prób z dodatkiem polisacharydów mogą być efektem ich lekko kwasowego odczynu, co potwierdzają wyniki analizy pH kleików (pkt 4.1.2.1). Uzyskane w niniejszej pracy wyniki są niższe niż wartości pH odnotowane dla niskotłuszczowych kielbas drobiowych z dodatkiem gumy guar i izolatów białek serwatkowych badanych przez Hamid i Navaranjan (2023), lecz wyższe od tych odnotowanych w badaniach Rather, Masoodi, Akhter, Rather, Amin (2017) dla niskotłuszczowych emulsji mięsnych z baraniny z dodatkiem gumy guar. Wzrost pH w trakcie przechowywania jest zjawiskiem typowym i wynika z aktywności enzymów proteolitycznych oraz ograniczenia rozwoju mikroflory kwasotwórczej. W warunkach beztlenowych, w których przechowywano badane produkty, dochodzi do proteolizy białek mięśniowych i uwalniania zasadowych produktów degradacji (m.in. amin), co prowadzi do podwyższenia wartości pH (Rao, Sachindra, 2002; Berardo i in., 2017).

Tabela 17. Wartości pH przetworów modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
1. dzień	6,18^{aA}	0,679	6,04^{aA}	0,532	6,03^{aA}	0,343	6,05^{aA}	0,178
10. dzień	6,59^{bAB}	0,299	6,73^{bB}	0,239	6,26^{aA}	0,119	6,06^{aAB}	0,193
20. dzień	6,91^{bB}	0,357	6,37^{aAB}	0,345	6,34^{aA}	0,208	6,28^{aB}	0,161

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Skład chemiczny, wartość energetyczna i wyciek cieplny

Wyniki oznaczeń wartości energetycznej, zawartości białka, tłuszczu i wody, a także wielkości wycieku cieplnego zestawiono w tabeli 18. Różnice między próbami były w większości przypadków niewielkie, przy czym tylko niektóre z nich wykazywały istotność statystyczną. Najwyższą wartość energetyczną (694,72 kcal/100 g) odnotowano dla próby kontrolnej (nSzi). Wartość ta była statystycznie istotnie wyższa w porównaniu z pozostałymi próbami, choć różnice między wszystkimi wariantami nie przekraczały 31 kcal/100 g. Zawartość białka mieściła się w przedziale 18,06-18,48%, natomiast tłuszczu - od 2,77 do 3,00%. Parametry te odzwierciedlają skład surowcowy wykorzystanej do przygotowania przetworów łopatki wieprzowej, dla której literatura podaje zawartość białka na poziomie 16-19% oraz tłuszczu w zakresie 13-21%, w zależności od badanego fragmentu mięsa

(Hoa i in., 2021; Duan, Tang, Zhan, Liu, Zhang, 2023). Niska zawartość tłuszczu potwierdza jego mały udział w użytym surowcu oraz brak dodatku tłuszczu mięsnego w recepturze, co klasyfikuje produkt jako niskotłuszczowy, zgodnie z zatwierdzonymi oświadczeniami żywieniowymi, dla których określenie „niska zawartość tłuszczu” stosuje się dla środków spożywczych stałych o zawartości tłuszczu nie większej niż 3 g/100 g produktu (Rozporządzenie (WE) nr 1924/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady, 2006). Zawartość wody w przetworach mieściła się w zakresie 72,18-73,43%. Najniższą zawartość odnotowano w próbie kontrolnej (nSzi), natomiast najwyższą - w próbie z dodatkiem gumy konjac (nSzi-GK). Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku wycieku cieplnego - największy wyciek odnotowano dla próby kontrolnej (4,31%), a najmniejszy dla nSzi-GK (3,15%). Uzyskane wyniki są zgodne z danymi literaturowymi, według których dodatki teksturotwórcze, takie jak guma arabska, mąka z komosy ryżowej (Ombonga, Omwamba, Oloo, 2024), guma guar, guma ksantanowa, mączka chleba świętojańskiego czy karagen (Demirci, Yılmaz, Demirci, 2014), sprzyjają zwiększeniu retencji wody oraz ograniczeniu jej strat podczas obróbki cieplnej.

Tabela 18. Wartość energetyczna, skład chemiczny oraz wielkość wycieku cieplnego modelowych przetworów mięsnych

Parametr	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Wartość energetyczna [kcal/100g]	694,72^b	5,888	664,19^a	3,376	664,16^a	20,545	652,45^a	12,771
Białko [%]	18,06^a	0,224	18,48^b	0,204	18,29^{ab}	1,017	18,26^{ab}	0,171
Tłuszcz [%]	3,00^b	0,112	2,86^{ab}	0,164	2,77^a	0,045	2,86^{ab}	0,176
Zawartość wody [%]	72,18^a	0,414	73,17^b	0,384	72,62^a	0,453	73,43^b	0,389
Wyciek cieplny [%]	4,31^b	0,472	3,78^{ab}	0,391	3,34^a	0,139	3,15^a	0,278

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Zdolność utrzymania wody własnej i dodanej

Zdolność przetworów mięsnych do zatrzymywania wody stanowi istotny parametr jakościowy, zależny m.in. od składu surowcowego, obecności dodatków funkcjonalnych oraz wartości pH. Zawartość wody wolnej, oceniona po 1, 10 i 20 dniach przechowywania (Tab.

19), wykazała statystycznie istotne zmiany w czasie magazynowania (z wyjątkiem próby nSzi-GT). Po 1 dniu przechowywania nie odnotowano obecności wycieku wody wolnej pod wpływem działania sił zewnętrznych w żadnym z analizowanych wariantów. Po 10 dniach jej zawartość wzrosła, osiągając najwyższą wartość w próbie kontrolnej (ponad 12%), oraz najniższą w próbie nSzi-GG (poniżej 0,3%), co stanowiło wartość istotnie statystycznie niższą w porównaniu do pozostałych wariantów. Po 20 dniach przechowywania zawartość wody wolnej wzrosła we wszystkich próbach. Wartości dla wariantów nSzi-GT i nSzi-GG nadal utrzymywały się na poziomie poniżej 1%, podczas gdy w przypadku próby kontrolnej osiągnęły 17,26%, co stanowiło ponad 21-krotnie wyższy poziom niż dla prób nSzi-GT i nSzi-GG. Uzyskane wyniki wskazują na wysoką skuteczność zastosowanych mieszanin skrobi i gum w ograniczaniu ilości wody wolnej. Podobne efekty opisali Pematilleke, Kaur, Wai, Adhikari, Torley (2021), Gao i in. (2024), Kim i in. (2022), Kim, Shin, Seo, Han (2019), Tong i in. (2018), którzy wykazali, że dodatek hydrokoloidów zwiększa zdolność przetworów mięsnych do retencji wody.

Tabela 19. Zawartość wody wolnej [%] w przetworach modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
1. dzień	NO		NO		NO		NO	
10. dzień	12,41 ^{aA}	0,627	0,26 ^{aA}	0,055	0,64 ^{bA}	0,148	0,99 ^{bA}	0,243
20. dzień	17,26 ^{bB}	1,496	0,80 ^{aB}	0,201	0,80 ^{aA}	0,232	1,17 ^{aB}	0,221

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; NO - nie oznaczono; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Ubytki masy podczas przechowywania

Wielkość wycieku przechowalniczego (Tab. 20), będącego wynikiem naturalnej utraty masy w czasie przechowywania, również zależała od rodzaju zastosowanych mieszanin. Po 1 dniu przechowywania najmniejszy ubytek masy (0,59%) odnotowano w próbie nSzi-GT. W pozostałych próbach wartość ta wynosiła około 0,8% i była statystycznie istotnie wyższa w porównaniu do próby nSzi-GT. Wraz z upływem czasu przechowywania wartość wycieku przechowalniczego wzrastała we wszystkich wariantach badawczych, jednak tempo tego wzrostu było zróżnicowane. Najniższy końcowy poziom wycieku stwierdzono w próbie

zawierającej gumę tara (1,77%), natomiast najwyższy w próbie kontrolnej (2,58%). Zarówno po 10, jak i 20 dniach przechowywania, różnice w poziomie wycieku między próbami z dodatkiem mieszanin nie były statystycznie istotne. Zmniejszenie wielkości wycieku przechowalniczego może świadczyć zarówno o bezpośrednim wpływie dodatków na zatrzymywanie wody, jak i o możliwym efekcie synergistycznym między składnikami mieszanin. Zjawisko to zostało potwierdzone w licznych badaniach dotyczących przechowywania chłodniczego i mroźniczego przetworów mięsnych z dodatkiem polisacharydów (Gao i in., 2024; Zhang i in., 2024; Park, Lee, Lim, Jeon, Yoon, 2021; Cegińska, Słowiński, Piłkowska, 2006; Bao, Wang, Huang, Zhang, Dai, 2025).

Tabela 20. Wielkość wycieku przechowalniczego [%] w przetworach modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
1. dzień	0,83^{ba}	0,082	0,82^{ba}	0,123	0,59^{aA}	0,108	0,79^{ba}	0,031
10. dzień	2,14^{bb}	0,322	1,76^{abb}	0,300	1,44^{aB}	0,067	1,51^{ab}	0,150
20. dzień	2,58^{bb}	0,273	2,22^{abb}	0,297	1,77^{aC}	0,251	1,92^{aC}	0,103

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

4.2.2. Barwa

Zastosowanie mieszanin nie wpłynęło istotnie statystycznie na wartości jasności (parametr L*) w żadnym z analizowanych dni przechowywania (Tab. 21), pomimo obserwowanej tendencji wzrostowej tego parametru w czasie.

W odniesieniu do udziału czerwieni (parametr a*), w 1. i 10. dniu przechowywania nie stwierdzono istotnych różnic między próbą kontrolną a wariantami z dodatkiem mieszanin (Tab. 21). Dopiero w 20. dniu próba kontrolna wykazywała istotnie niższy udział czerwieni w porównaniu do pozostałych przetworów. Różnice między wariantami z dodatkiem mieszanin w tym dniu nie były statystycznie istotne. Na przestrzeni czasu przechowywania, między 1. a 10. dniem, nie stwierdzono istotnych zmian wartości parametru a* w żadnym z wariantów. Natomiast w 20. dniu udział czerwieni wzrósł istotnie we wszystkich próbach.

Z kolei udział żółtego koloru (parametr b*) wykazał statystycznie istotne zróżnicowanie między próbą kontrolną a próbami z dodatkiem mieszanin (Tab. 21). We wszystkich dniach

pomiaru najniższą wartość parametru b^* odnotowano w próbie kontrolnej, natomiast najwyższe – w próbach nSzi-GG oraz nSzi-GT, przy czym różnice między tymi dwiema próbami nie były statystycznie istotne. W trakcie przechowywania zaobserwowano ogólną tendencję zwiększania udziału żółtego w barwie (wzrost wartości b^*) w większości wariantów, jednak istotne statystycznie zmiany stwierdzono jedynie w próbie nSzi-GG (między 1. a 10. dniem) oraz w próbie nSzi (między 1. a 20. dniem). W pozostałych próbach zmiany te nie były statystycznie istotne.

Zastosowanie mieszanin nie miało statystycznie istotnego wpływu na nasycenie barwy (parametr C^*) w 1. i 10. dniu przechowywania (Tab. 21). W 20. dniu wartość tego parametru była istotnie niższa w próbie kontrolnej w porównaniu do prób z dodatkiem mieszanin, pomiędzy którymi nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic. W trakcie przechowywania obserwowano wzrost wartości C^* , jednak statystycznie istotne zmiany we wszystkich wariantach wystąpiły dopiero po 20 dniach.

Barwa uzyskanych przetworów była typowa dla drobno rozdrobnionych, peklowanych przetworów wieprzowych o obniżonej zawartości tłuszczu. Zastosowanie mieszanin skrobi i gum spowodowało istotne zmiany, szczególnie w zakresie udziału żółtego koloru. Mimo że w niektórych przypadkach wartości poszczególnych parametrów barwy uległy statystycznie istotnym zmianom, obliczona różnica barwy (współczynnik ΔE) wskazywała, że żadna z tych zmian nie była zauważalna bezpośrednio (wzrokowo) przez obserwatora (Tab. 22). Na tej podstawie stwierdzono, że zastosowane mieszaniny związków teksturotwórczych nie wpływają negatywnie na percepcję barwy przetworów modelowych.

Zgodnie z literaturą, dodatki teksturotwórcze mogą wpływać na barwę produktów mięsnych, zwłaszcza w przypadku ograniczenia udziału niektórych składników, takich jak tłuszcz (Sarteshnizi i in., 2015; Skowyrza, Janiewicz, Salejda, Krasnowska, Almajano, 2015; Chen, Zhao, Li, Liu, Kong, 2021; Jiménez-Colmenero i in., 2012; Rather i in., 2017). Produkty o obniżonej zawartości tłuszczu, ze względu na jasną barwę tłuszczu mięsnego, zwykle charakteryzują się ciemniejszym zabarwieniem (niższą jasnością - niższą wartością parametru L^*) oraz większym udziałem czerwieni pochodzącej z białek mięśniowych (wyższą wartością parametru a^*) (Rather i in., 2017). Ostateczna barwa produktu zależy również od rodzaju zastosowanego mięsa (jego składu chemicznego, a tym samym barwy), zawartości i barwy białek mięśniowych oraz tłuszczu, technologii produkcji, stosowanych dodatków, warunków przechowywania, a także zmian chemicznych zachodzących w białkach (np. powstawanie metmioglobiny czy nitryzylomiochromogenu), które wpływają na stabilność barwy w czasie (Cierach, Stasiewicz, 2007; Jiménez-Colmenero i in., 2012).

Tabela 21. Zmiana parametrów barwy przetworów modelowych po 1., 10. i 20. dniu przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
	Parametr barwy							
	L*							
1. dzień	58,59 ^{aA}	1,098	58,52 ^{aA}	0,838	57,99 ^{aA}	1,004	57,81 ^{aA}	0,945
10. dzień	58,53 ^{aA}	1,201	58,29 ^{aA}	0,450	58,20 ^{aA}	0,840	58,09 ^{aA}	1,039
20. dzień	60,52 ^{aA}	3,357	59,90 ^{aA}	2,234	59,31 ^{aA}	1,981	59,22 ^{aA}	1,914
	a*							
1. dzień	16,00 ^{aA}	0,750	16,25 ^{aA}	0,564	16,43 ^{aA}	0,522	16,46 ^{aA}	0,592
10. dzień	16,12 ^{aAB}	0,711	16,16 ^{aA}	0,613	16,28 ^{aA}	0,588	16,04 ^{aA}	0,520
20. dzień	16,74 ^{aB}	0,138	17,04 ^{bB}	0,116	17,03 ^{bB}	0,157	17,11 ^{bB}	0,092
	b*							
1. dzień	6,09 ^{aA}	0,268	6,68 ^{aA}	0,160	6,76 ^{aA}	0,197	6,38 ^{bA}	0,146
10. dzień	6,33 ^{aAB}	0,355	7,12 ^{bB}	0,388	7,07 ^{bA}	0,281	6,56 ^{aA}	0,308
20. dzień	6,68 ^{aB}	0,285	7,13 ^{bB}	0,335	6,99 ^{abA}	0,378	6,79 ^{abA}	0,459
	C*							
1. dzień	17,13 ^{aA}	0,635	17,57 ^{aA}	0,521	17,77 ^{aA}	0,503	17,66 ^{aA}	0,512
10. dzień	17,32 ^{aA}	0,536	17,67 ^{aA}	0,413	17,75 ^{aA}	0,438	17,33 ^{aA}	0,402
20. dzień	18,03 ^{aB}	0,109	18,47 ^{bB}	0,187	18,42 ^{bB}	0,182	18,41 ^{bB}	0,107

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

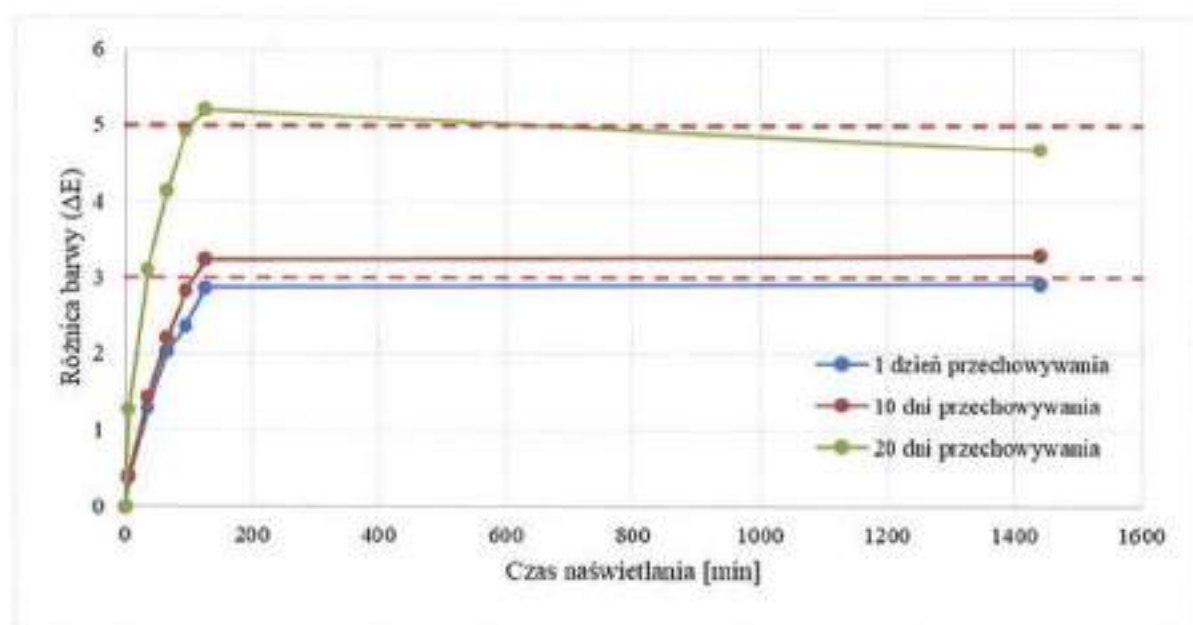
Tabela 22. Różnica barwy (ΔE) przetworów modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Material badany/Czas przechowywania	nSzi/1. dzień	nSzi/10. dzień	nSzi/20. dzień	nSzi- GG/1. dzień	nSzi- GG/10. dzień	nSzi- GG/20. dzień	nSzi- GT/1. dzień	nSzi- GT/10. dzień	nSzi- GT/20. dzień	nSzi- GK/1. dzień	nSzi- GK/10. dzień	nSzi- GK/20. dzień
nSzi/1. dzień	0,0 ⁺											
nSzi/10. dzień	0,3 ⁺	0,0 ⁺										
nSzi/20. dzień	2,1 ⁺	2,1 ⁺	0,0 ⁺									
nSzi-GG/1. dzień	0,6 ⁺	0,4 ⁺	2,1 ⁺	0,0 ⁺								
nSzi-GG/10. dzień	1,5 ⁺	1,3 ⁺	2,3 ⁺	1,1 ⁺	0,0 ⁺							
nSzi-GG/20. dzień	2,0 ⁺	1,8 ⁺	0,8 ⁺	1,7 ⁺	1,9 ⁺	0,0 ⁺						
nSzi-GT/1. dzień	1,0 ⁺	0,8 ⁺	2,7 ⁺	0,8 ⁺	1,7 ⁺	2,3 ⁺	0,0 ⁺					
nSzi-GT/10. dzień	1,0 ⁺	0,9 ⁺	1,9 ⁺	0,8 ⁺	0,7 ⁺	1,7 ⁺	1,5 ⁺	0,0 ⁺				
nSzi-GT/20. dzień	1,5 ⁺	1,3 ⁺	1,4 ⁺	1,1 ⁺	1,8 ⁺	0,8 ⁺	1,6 ⁺	1,5 ⁺	0,0 ⁺			
nSzi-GK/1. dzień	1,0 ⁺	0,8 ⁺	2,5 ⁺	0,6 ⁺	1,3 ⁺	2,0 ⁺	0,4 ⁺	1,3 ⁺	1,4 ⁺	0,0 ⁺		
nSzi-GK/10. dzień	1,0 ⁺	0,9 ⁺	1,9 ⁺	0,8 ⁺	0,7 ⁺	1,7 ⁺	1,5 ⁺	0,0 ⁺	1,5 ⁺	1,3 ⁺	0,0 ⁺	
nSzi-GK/20. dzień	1,6 ⁺	1,4 ⁺	1,3 ⁺	1,2 ⁺	1,7 ⁺	0,6 ⁺	1,7 ⁺	1,5 ⁺	0,2 ⁺	1,5 ⁺	1,5 ⁺	0,0 ⁺

nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna oraz gumy guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna i gumy tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna i gumy konjac; ⁺ różnica barwy niezauważalna wzrokowo ($\leq 3,0$); ⁺⁺ różnica barwy zauważalna wzrokowo ($> 3,0$).

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów barwy przetworów modelowych poddanych naświetlaniu światłem mieszanym przez 0, 5, 35, 65, 95 oraz 125 minut, a następnie przechowywanych przez 24 godziny w warunkach chłodniczych (Załącznik 1), obliczono wartości różnicy barwy (ΔE). W większości przypadków uzyskane wartości ΔE nie przekraczały progu percepcji wzrokowej. Jednak w niektórych przypadkach odnotowano zmiany barwy zauważalne wzrokowo ($\Delta E > 3,0$) lub dające wrażenie dwóch różnych barw ($\Delta E > 5,0$).

W przypadku próby kontrolnej przechowywanej przez 1 dzień, nawet 125 minut naświetlania nie spowodowało zmian barwy zauważalnych wzrokowo (Rys. 27). Natomiast w wariancie przechowywanym przez 10 dni, po 125 minutach naświetlania, wartość ΔE przekraczała 3,0, co wskazywało na wyraźnie zauważalną zmianę barwy. Próba przechowywana przez 20 dni wykazywała natomiast wyraźnie mniejszą stabilność barwy. Już po 35 minutach naświetlania wartość ΔE przekraczała 3,0, a po 125 minutach wzrastała do ponad 5,0, co świadczyło o znacznej zmianie postrzeganej barwy. Dodatkowe przechowywanie chłodnicze po zakończonym naświetlaniu skutkowało zmniejszeniem wartości ΔE poniżej 5,0.

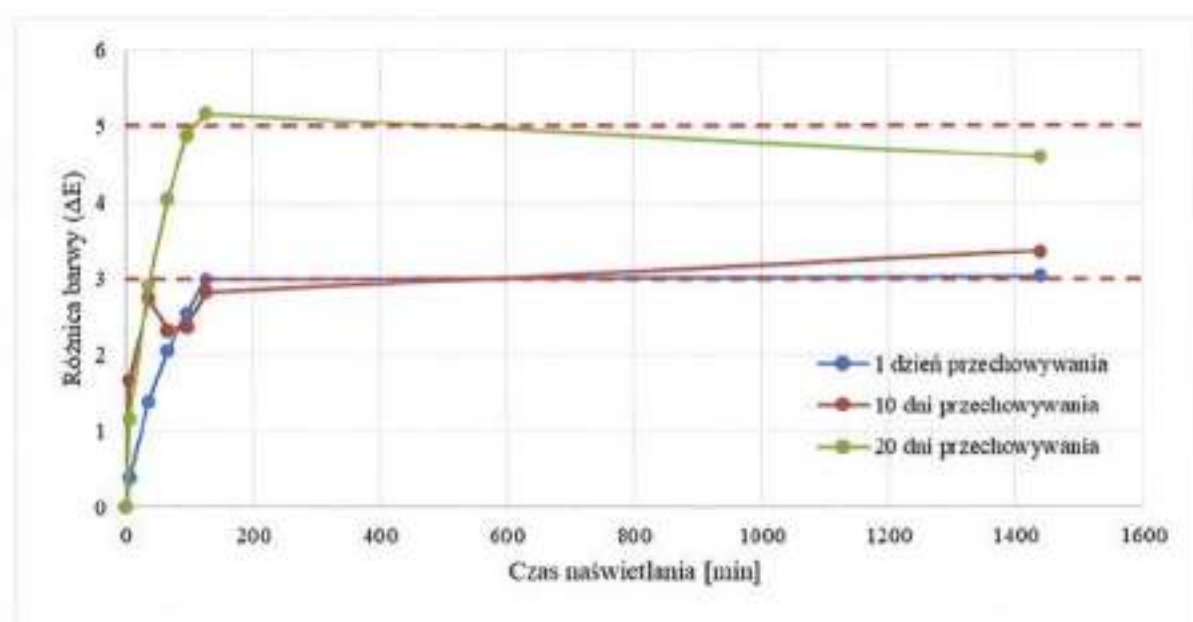


Rysunek 27. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi po naświetlaniu, w zależności od czasu przechowywania (1, 10 i 20 dni)

różnica barwy zauważalna wzrokowo ($> 3,0$); wrażenie dwóch różnych barw ($> 5,0$)

Dodatek mieszaniny z gumą guar wpłynął korzystnie na stabilność barwy przetworu podczas naświetlania. Próba nSzi-GG charakteryzowała się wyższą odpornością na zmiany

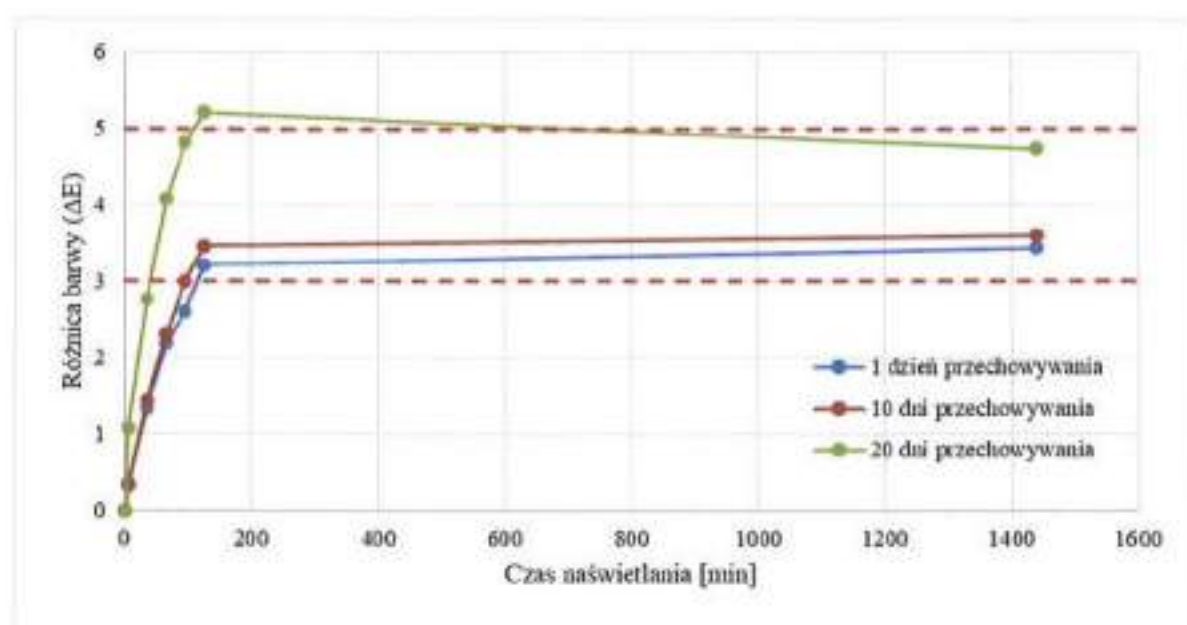
barwy w porównaniu do próby kontrolnej nSzi (Rys. 28). W obu przypadkach, po 1 dniu przechowywania, naświetlanie przez 125 minut nie spowodowało różnic barwy zauważalnych wzrokowo. W próbach przechowywanych przez 10 dni samo naświetlanie również nie wywołało widocznych zmian barwy, jednak po dodatkowym przechowywaniu chłodniczym wartość ΔE przekroczyła 3,0, co świadczy o różnicy postrzeganej wzrokowo. Największe zmiany barwy w próbce nSzi-GG odnotowano po 20 dniach przechowywania. Już po 65 minutach naświetlania wartość ΔE przekraczała 3,0, natomiast po 125 minutach wzrastała do ponad 5,0, co wskazuje na znaczne różnice w percepcji barwy. Dalsze przechowywanie chłodnicze skutkowało jednak zmniejszeniem wartości ΔE poniżej 5,0.



Rysunek 28. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GG po naświetlaniu, w zależności od czasu przechowywania (1, 10 i 20 dni)

różnica barwy zauważalna wzrokowo ($> 3,0$); wrażenie dwóch różnych barw ($> 5,0$)

W przypadku próby z dodatkiem mieszaniny z gumą tara naświetlanie przez 125 minut wywołało różnice barwy zauważalne wzrokowo po 1 oraz 10 dniach przechowywania (Rys. 29). Po zakończonym naświetlaniu i przechowywaniu chłodniczym wartość ΔE wzrosła odpowiednio do 3,4 i 3,6. W próbce przechowywanej przez 20 dni zmiana barwy widoczna wzrokowo wystąpiła już po 65 minutach naświetlania. Po 125 minutach naświetlania wartość ΔE przekroczyła 5,0, co świadczyło o wyraźnej zmianie barwy w porównaniu ze stanem sprzed naświetlania. Podobnie jak w innych przypadkach, przechowywanie chłodnicze po zakończonym naświetlaniu spowodowało zmniejszenie wartości ΔE do poziomu poniżej 5,0.



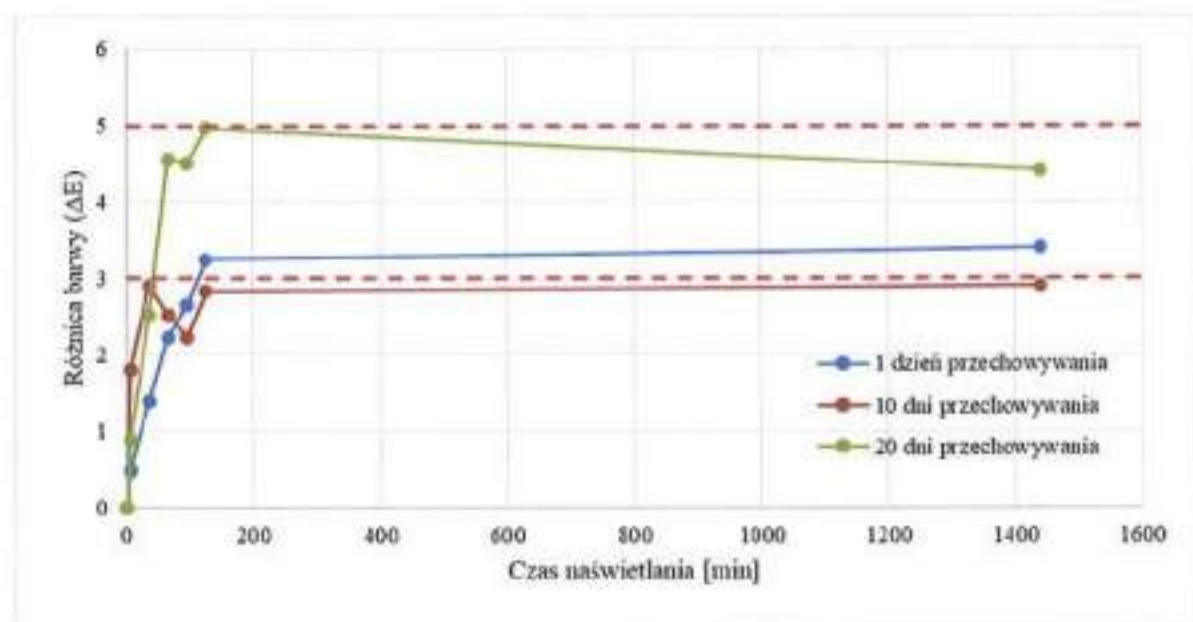
Rysunek 29. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT po naświetlaniu, w zależności od czasu przechowywania (1, 10 i 20 dni)

różnica barwy zauważalna wzrokowo ($> 3,0$); wrażenie dwóch różnych barw ($> 5,0$)

Próba z dodatkiem mieszaniny z gumą konjac wykazywały odmienny przebieg zmian barwy w wyniku naświetlania w porównaniu do pozostałych wariantów (Rys. 30). Już po 1 dniu przechowywania naświetlanie przez 125 minut powodowało zmianę barwy zauważalną wzrokowo, a dalsze przechowywanie zwiększało wartość ΔE do 3,4. Próba przechowywana przez 10 dni charakteryzowała się największą stabilnością barwy - w całym okresie naświetlania nie odnotowano różnicy ΔE przekraczającej wartość 3,0. Próba przechowywana przez 20 dni również charakteryzowała się większą stabilnością niż pozostałe układy. Zmiana barwy zauważalna wzrokowo pojawiła się dopiero po 65 minutach naświetlania ale nawet po 125 minutach wartość ΔE nie przekroczyła 5,0. Podobnie jak w przypadku innych prób, dodatkowe przechowywanie chłodnicze po zakończonym naświetlaniu przyczyniło się do obniżenia wartości ΔE .

We wszystkich analizowanych przypadkach odnotowano wzrost różnicy barwy wraz z wydłużaniem czasu naświetlania. Nie każda ze zmian była jednak dostrzegalna wzrokowo - wrażenie dwóch różnych barw zaobserwowano jedynie w próbach nSzi, nSzi-GG oraz nSzi-GT, przechowywanych przez 20 dni i naświetlanych przez 125 minut. Te same próby po 1 dniu przechowywania wykazywały natomiast największą stabilność barwy. Wraz z wydłużeniem czasu przechowywania podatność na zmiany barwy podczas naświetlania rosła we wszystkich próbach. We wcześniejszym etapie przechowywania (1 i 10 dni) najmniejszą stabilność barwy

podczas naświetlania wykazywała próba nSzi-GT, natomiast po 20 dniach przechowywania - próba kontrolna. Najwyższą odpornością na zmiany barwy pod wpływem naświetlania charakteryzowały się próby nSzi-GG oraz nSzi-GK.



Rysunek 30. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GK po naświetlaniu, w zależności od czasu przechowywania (1, 10 i 20 dni)

różnica barwy zauważalna wzrokowo ($> 3,0$); wrażenie dwóch różnych barw ($> 5,0$)

4.2.3. Tekstura

Parametry tekstury stanowią istotny element oceny jakości przetworów mięsnych. Analiza profilu tekstury, oparta na podwójnym ściśnięciu próby do określonego stopnia odkształcenia, umożliwia ilościową charakterystykę właściwości mechanicznych produktu (Nishinari, Fang, Rosenthal, 2019). Wyniki analizy profilu tekstury przedstawiono w tabeli 23.

Twardość I wykazywała istotne różnice zarówno względem próby kontrolnej, jak i między badanymi mieszaninami oraz w zależności od czasu przechowywania (Tab. 23). Po 1 i 10 dniach przechowywania najniższą wartością twardości I charakteryzowała się próba nSzi-GG (odpowiednio 8,69 i 14,78 N), natomiast najwyższą - próba kontrolna (odpowiednio 16,62 i 21,72 N). W tych samych dniach wartości uzyskane dla prób nSzi-GT i nSzi-GK nie różniły się istotnie statystycznie. Po 20 dniach przechowywania najniższą twardość I odnotowano w próbce nSzi-GK (20,57 N), a najwyższą w próbach nSzi (28,65 N) i nSzi-GT (26,49 N), między którymi nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie. Wraz z czasem przechowywania wartość twardości I wzrastała istotnie dla wszystkich prób.

Analogiczne zależności zaobserwowano dla twardości II (Tab. 23). Po 1 i 10 dniach przechowywania najniższe wartości odnotowano dla próby nSzi-GG (odpowiednio 6,45 i 10,92 N), natomiast najwyższe dla próby kontrolnej (odpowiednio 11,43 i 16,47 N). Po 20 dniach przechowywania najniższą wartość twardości II wykazała próba nSzi-GK (14,88 N), a najwyższe próby nSzi (21,38 N) i nSzi-GT (20,23 N), między którymi nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic. We wszystkich przypadkach wartości twardości II były niższe od twardości I, co wynika z częściowego uszkodzenia struktury próby w trakcie pierwszej kompresji. Wzrost twardości w czasie przechowywania jest zjawiskiem typowym i wiąże się m.in. z występowaniem wycieku przechowalniczego.

Wartość sprężystości różniła się między próbami oraz zmieniała w czasie przechowywania (Tab. 23). W każdym dniu badania próba nSzi charakteryzowała się najwyższą wartością sprężystości (0,71-0,83), statystycznie istotnie wyższą w stosunku do pozostałych prób. Z kolei najmniejszą wartość wykazywała próba nSzi-GG (0,35-0,48). W 10 dniu badania nie była ona jednak istotnie różna od wartości sprężystości próby nSzi-GK, a w 20 od próby nSzi-GT. Próby nSzi-GT oraz nSzi-GK w żadnym z dni badania nie wykazywały statystycznie istotnej różnicy. Między 1. a 10. dniem przechowywania sprężystość prób nSzi-GG oraz nSzi-GK istotnie wzrosła. W przypadku pozostałych prób czas przechowywania nie powodował istotnej zmiany tego parametru.

Wartość gumistości istotnie różniła się między próbami i wykazywała tendencję wzrostową w czasie przechowywania (Tab. 23). Najwyższe wartości odnotowano dla próby kontrolnej (od 3,31 do 9,23), natomiast najniższe dla próby z dodatkiem gumy guar (1,36-3,96). Wśród przetworów z dodatkiem mieszanin najwyższe wartości uzyskano dla próby z gumą tara (2,01-5,34). Nie stwierdzono istotnych różnic statystycznych między próbami nSzi-GG i nSzi-GK (w 10. i 20. dniu) oraz nSzi-GT i nSzi-GK (w całym okresie przechowywania). W pozostałych przypadkach różnice były istotne. Czas przechowywania każdorazowo powodował statystycznie istotny wzrost gumistości.

Wartość żujności, podobnie jak pozostałe parametry tekstury, wykazywała statystycznie istotne zróżnicowanie między próbami oraz wzrastała w czasie przechowywania (z wyjątkiem próby nSzi-GT pomiędzy 10. a 20. dniem) (Tab. 23). Najwyższą wartość w całym okresie badania uzyskała próba kontrolna (2,29-7,85), a najniższą przetwory z dodatkiem gumy guar (0,49-1,89). W próbach z dodatkiem mieszanin po 1. i 10. dniu przechowywania najwyższą żujność odnotowano w próbce nSzi-GT (odpowiednio 1,11 i 2,43), natomiast po 20. dniu w próbce nSzi-GK (3,37). Różnice między próbami nSzi-GT i nSzi-GK nie były istotne statystycznie w żadnym z badanych dni przechowywania. Wysoka wartość żujności

charakteryzuje produkt twardy oraz trudny do gryzienia, z drugiej strony niska wartość dotyczy produktów o luźnej, rozpadającej się strukturze. Obserwowane zmniejszenie żujności wskazuje na rozluźnienie struktury, które może być neagtywne szczególnie w przypadku próby nSzi-GG. Ze względu na planowane utrzymanie charakterystyki produktu na poziomie zbliżonym do kontrolnego, najkorzystniejsze dla tego parametru wydaje się więc zastosowanie gumy konjac oraz gumy tara.

Kohezja również ulegała zmianom w trakcie przechowywania (Tab. 23). Wzrost tego parametru zaobserwowano w próbach nSzi i nSzi-GK, natomiast w przypadku mieszanin nSzi-GG i nSzi-GT stwierdzono odpowiednio wzrost i spadek wartości. W całym okresie przechowywania statystycznie istotne zmiany wystąpiły jedynie w próbie kontrolnej. Dla prób z dodatkiem gumy guar i gumy tara istotne różnice odnotowano wyłącznie pomiędzy 1. a 10. dniem przechowywania, natomiast w przypadku gumy konjac - pomiędzy 1. a 10. oraz 1. a 20. dniem. Najwyższe wartości kohezji odnotowano w próbie kontrolnej (0,20-0,32); we wszystkich dniach różniła się ona istotnie od wartości mierzonych w próbach z dodatkiem mieszanin. Po 1. i 10. dniu nie stwierdzono istotnych różnic między próbami z mieszaninami, natomiast po 20. dniu odnotowano istotną różnicę jedynie między próbami nSzi-GG (0,18) i nSzi-GK (0,22).

Zastosowanie mieszanin polisacharydów miało istotny wpływ na parametry tekstury badanych przetworów. Największe zmiany dotyczyły sprężystości, gumiałości, żujności oraz kohezji, które w większości przypadków różniły się statystycznie od próby kontrolnej. W przypadku obu parametrów twardości brak istotnych różnic stwierdzono jedynie w próbie z dodatkiem gumy tara przechowywanej przez 20 dni. Wszystkie zmiany obejmowały obniżenie wartości parametrów tekstury w stosunku do próby kontrolnej.

Uzyskane przetwory charakteryzowały się bardzo niską zawartością tłuszczu, który w produktach mięsnych istotnie wpływa na parametry tekstury. Jego ograniczenie prowadzi zazwyczaj do niekorzystnego wzrostu twardości produktu (Brewer, 2012). Dlatego też obserwowane zmniejszenie tego parametru w badanych układach można uznać za zjawisko korzystne. Zastosowane mieszaniny zwiększały zdolność zatrzymywania wody w porównaniu z próbą kontrolną, co przyczyniło się do częściowego ograniczenia zmian tekstury w czasie przechowywania (Geng, Zhao, Zhao, Zhu, Zhang, 2023). Uzyskane wyniki są zgodne z obserwacjami innych autorów (Ombonga i in., 2024; Brewer, 2012; Geng i in., 2023; Ashakayeva i in., 2022).

Parametry tekstury korelowały jedynie częściowo z charakterystyką reologiczną kleików skrobiowych (pkt 4.1.2.4), co może wynikać z interakcji zachodzących w bardziej

złożonych matrycach żywnościowych, wpływających na ostateczne właściwości teksturowe gotowego wyrobu.

Tabela 23. Parametry tekstury przetworów modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT		nSzi-GK	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
	Parametr							
	Twardość I [N]							
1. dzień	16,62 ^{ca}	1,230	8,69 ^{Aa}	0,971	11,90 ^{bA}	1,635	11,40 ^{bA}	0,874
10. dzień	21,72 ^{cb}	1,288	14,78 ^{aB}	1,430	18,23 ^{bB}	0,550	16,83 ^{abB}	1,896
20. dzień	28,65 ^{cC}	2,451	23,23 ^{abC}	4,689	26,49 ^{bcC}	5,331	20,57 ^{aC}	1,593
	Twardość II [N]							
1. dzień	11,43 ^{ca}	0,635	6,45 ^{aA}	0,749	8,61 ^{bA}	1,127	7,92 ^{bA}	0,834
10. dzień	16,47 ^{cb}	1,394	10,92 ^{aB}	1,415	13,45 ^{bB}	0,565	12,28 ^{abB}	1,455
20. dzień	21,38 ^{cC}	3,181	17,52 ^{abC}	2,753	20,23 ^{bcC}	4,729	14,88 ^{aC}	1,957
	Sprężystość							
1. dzień	0,71 ^{ca}	0,116	0,35 ^{aA}	0,040	0,56 ^{bA}	0,095	0,49 ^{bA}	0,056
10. dzień	0,79 ^{ca}	0,044	0,49 ^{aB}	0,020	0,62 ^{bA}	0,066	0,56 ^{abAB}	0,087
20. dzień	0,83 ^{ca}	0,110	0,48 ^{aB}	0,074	0,54 ^{abA}	0,121	0,71 ^{bcB}	0,145
	Gumiastość							
1. dzień	3,31 ^{ca}	0,504	1,36 ^{aA}	0,209	2,01 ^{bA}	0,238	1,92 ^{bA}	0,218
10. dzień	5,64 ^{cb}	0,558	2,89 ^{aB}	0,406	3,84 ^{bB}	0,401	3,38 ^{abB}	0,503
20. dzień	9,23 ^{cC}	0,740	3,96 ^{aC}	0,722	5,34 ^{bC}	0,731	4,58 ^{abC}	0,794
	Żujność							
1. dzień	2,29 ^{ca}	0,423	0,49 ^{aA}	0,074	1,11 ^{bA}	0,288	0,93 ^{bA}	0,131
10. dzień	4,43 ^{cb}	0,506	1,41 ^{aB}	0,213	2,43 ^{bB}	0,391	1,98 ^{bB}	0,495
20. dzień	7,85 ^{cC}	1,160	1,89 ^{aC}	0,313	2,74 ^{bB}	0,492	3,37 ^{bcC}	1,008
	Kohezja							
1. dzień	0,20 ^{bA}	0,020	0,16 ^{aA}	0,016	0,17 ^{aA}	0,015	0,17 ^{aA}	0,011
10. dzień	0,26 ^{bB}	0,028	0,19 ^{aB}	0,017	0,21 ^{aB}	0,018	0,20 ^{abB}	0,016
20. dzień	0,32 ^{cC}	0,044	0,18 ^{abAB}	0,020	0,20 ^{abAB}	0,039	0,22 ^{bB}	0,040

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

4.2.4. Ocena organoleptyczna

Zastosowanie mieszanin skrobi z gumami nie wpłynęło istotnie na wybrane cechy sensoryczne modelowych przetworów mięsnych (Tab. 24). Zarówno w przypadku kruchości, jak i pożądalności barwy nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między badanymi

próbami. Mediany tych cech były zbliżone, niezależnie od rodzaju dodatku i czasu przechowywania, który również nie wpłynął istotnie na poziom pożądalności ocenianych cech.

Zastosowanie mieszanin polisacharydów istotnie wpłynęło na twardość ocenianych prób (Tab. 24). Dodatek gum, szczególnie gumy guar i tara spowodował zmniejszenie twardości wyrobów. Próba kontrolna została oceniona jako najtwardsza we wszystkich dniach badania (mediana 4,15–4,60). W 1. i 20. dniu przechowywania jej ocena nie różniła się istotnie od próby z dodatkiem gumy tara (mediana 5,65–6,35). Jako najmniej twarde we wszystkich dniach określono próby z gumą guar (6,80–7,10). W 1. i 20. dniu przechowywania próby nSzi-GG oraz nSzi-GK nie różniły się między sobą istotnie, natomiast w 10. dniu żadna z prób z dodatkiem mieszanin nie wykazała istotnych różnic. Czas przechowywania wpłynął istotnie na ocenę twardości jedynie w przypadku próby nSzi-GK, w której odnotowano zmniejszenie twardości z 5,10 do 5,85 pomiędzy 1. a 20. dniem przechowywania.

W 1. dniu badania soczystość wszystkich analizowanych wyrobów nie różniła się istotnie (Tab. 24). Jednak w 10. i 20. dniu przechowywania wszystkie próby z dodatkiem mieszanin polisacharydowych otrzymały istotnie wyższe oceny soczystości w porównaniu z próbą kontrolną, która uzyskiwała najniższe wartości (mediana 3,85–4,30). Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic pomiędzy próbami z dodatkiem mieszanin. Czas przechowywania nie wpłynął istotnie na ocenę soczystości w obrębie żadnego z układów.

Analizując wyniki oceny spójności struktury stwierdzono, że w 1. dniu badania wszystkie próby uzyskały porównywalne, wysokie noty, bez statystycznie istotnych różnic (Tab. 24). W 10. i 20. dniu próba nSzi-GG otrzymała istotnie niższe oceny w porównaniu z próbą kontrolną, co wskazuje na luźniejszą strukturę oraz słabe związanie składników wyrobu. W 20. dniu wartość stopnia związania plastra w tej próbie nie różniła się statystycznie od wartości uzyskanych dla prób nSzi-GT i nSzi-GK. Wpływ czasu przechowywania był statystycznie istotny jedynie w przypadku próby nSzi-GG. W 10. dniu jej struktura została oceniona jako mniej spójna niż w pozostałych dniach, przy czym istotna różnica wystąpiła wyłącznie pomiędzy 10. a 20. dniem przechowywania.

W odniesieniu do pożądalności smaku, wszystkie próby w 1. dniu badania uzyskały wysokie oceny (7,90–8,80) (Tab. 24). W 1. i 10. dniu różnice pomiędzy próbami nie były istotne statystycznie. W 20. dniu próba nSzi uzyskała najniższą ocenę (5,75), istotnie niższą od ocen prób nSzi-GG (7,90) oraz nSzi-GK (7,20). Między próbami z dodatkiem gum nie odnotowano istotnych różnic w żadnym dniu oceny. Chociaż w przypadku prób nSzi, nSzi-GT i nSzi-GK odnotowano spadek pożądalności smaku w czasie przechowywania, zmiany te nie były statystycznie istotne.

W zależności od dnia przechowywania badane próby charakteryzowały się zróżnicowaną pożądalnością zapachu (Tab. 24). W 1. dniu badania nie stwierdzono istotnych różnic między próbami. W 10. dniu próba nSzi-GT uzyskała istotnie wyższą ocenę zapachu (6,30) niż próba kontrolna (5,50). Natomiast w 20. dniu próba nSzi-GG została oceniona istotnie wyżej niż próba kontrolna (6,50 wobec 5,40). W tym czasie pozostałe próby z dodatkiem mieszanin nie różniły się istotnie między sobą. Wzrost pożądalności zapachu w czasie przechowywania odnotowano w próbach nSzi-GG, nSzi-GT oraz nSzi-GK, przy czym zmiana statystycznie istotna wystąpiła jedynie w przypadku próby z dodatkiem gumy guar, po 20 dniach przechowywania.

W zakresie pożądalności wyglądu na przekroju, w 1. i 20. dniu nie zaobserwowano istotnych różnic między próbami (Tab. 24). W 10. dniu oceny próby nSzi-GG i nSzi-GK były porównywalne z próbą kontrolną, natomiast próba nSzi-GT uzyskała istotnie wyższą ocenę względem pozostałych prób z dodatkami, mimo braku istotnej różnicy względem nSzi. Jedynie w przypadku prób nSzi-GT odnotowano istotnie wyższą ocenę pożądalności wyglądu w 10. dniu w porównaniu z 1. dniem badania. W pozostałych próbach czas przechowywania nie wpłynął istotnie na tę cechę.

Podsumowując, zastosowanie mieszanin skrobi z wybranymi gumami nie wpłynęło negatywnie na jakość sensoryczną modelowych wyrobów mięsnych. W przypadku cech takich jak twardość, soczystość czy pożądalność smaku uzyskano nawet wyższe oceny niż dla próby kontrolnej. Należy jednak podkreślić, że znaczne zmniejszenie twardości, szczególnie obserwowane przy dodatku mieszaniny z gumą guar, może prowadzić do modyfikacji profilu sensorycznego odbiegającego od produktu wzorcowego, a w konsekwencji do obniżenia ogólnej akceptowalności produktu.

Tabela 24. Cechy sensoryczne przetworów modelowych po 1., 10. i 20. dniu przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany											
	nSzi			nSzi-GG			nSzi-GT			nSzi-GK		
	Me	min	max	Me	min	max	Me	min	max	Me	min	max
	Cecha											
Kruchość												
1. dzień	6,80 ^{aA}	3,70	8,80	7,85 ^{aA}	2,80	10,00	7,10 ^{aA}	3,20	8,70	6,25 ^{aA}	3,20	7,70
10. dzień	6,10 ^{aA}	1,90	8,60	5,50 ^{aA}	2,80	9,30	5,40 ^{aA}	1,80	9,30	5,00 ^{aA}	2,20	9,70
20. dzień	5,40 ^{aA}	3,20	10,00	6,15 ^{aA}	2,80	10,00	6,30 ^{aA}	2,70	10,00	6,60 ^{aA}	3,30	8,30
Twardość												
1. dzień	4,30 ^{aA}	2,50	6,30	7,05 ^{aA}	2,60	8,60	5,65 ^{aA}	1,70	7,20	5,10 ^{bcA}	3,90	7,10
10. dzień	4,60 ^{aA}	1,00	8,30	7,10 ^{bA}	2,80	9,50	6,00 ^{bA}	1,60	9,50	5,80 ^{bbB}	3,30	9,60
20. dzień	4,15 ^{aA}	1,00	9,20	6,80 ^{aA}	2,90	8,40	6,35 ^{aA}	2,70	8,40	5,85 ^{bcB}	2,90	9,70
Soczystość												
1. dzień	3,85 ^{aA}	2,20	7,30	5,60 ^{aA}	2,70	8,40	6,80 ^{aA}	2,00	7,70	5,80 ^{aA}	3,30	7,70
10. dzień	4,30 ^{aA}	2,20	7,70	6,00 ^{bA}	3,30	9,30	6,20 ^{bA}	2,90	8,30	5,80 ^{bA}	3,90	8,30
20. dzień	4,00 ^{aA}	2,00	6,30	6,75 ^{bA}	3,90	8,80	5,55 ^{bA}	3,90	7,90	5,65 ^{bA}	2,00	7,50
Związanie plastra												
1. dzień	8,45 ^{aA}	3,10	10,00	7,30 ^{aAB}	3,50	10,00	8,25 ^{aA}	4,30	10,00	6,80 ^{aA}	3,50	10,00
10. dzień	7,90 ^{bA}	5,10	10,00	5,30 ^{aA}	2,60	10,00	7,50 ^{bA}	3,50	10,00	7,30 ^{bA}	4,30	10,00
20. dzień	7,70 ^{bA}	5,00	10,00	7,65 ^{aB}	3,80	10,00	7,60 ^{aB}	5,90	10,00	7,40 ^{aB}	3,20	10,00
Pożądalność smaku												
1. dzień	8,60 ^{aB}	5,50	9,40	7,90 ^{aB}	6,80	10,00	8,10 ^{aA}	5,50	8,70	8,80 ^{bA}	6,80	10,00
10. dzień	6,90 ^{aA}	5,10	10,00	7,80 ^{aA}	5,10	10,00	7,90 ^{aA}	5,80	10,00	7,50 ^{aA}	4,80	10,00
20. dzień	5,75 ^{aA}	2,70	9,00	7,90 ^{bA}	5,70	9,90	7,35 ^{aB}	4,60	9,10	7,20 ^{bA}	5,10	9,70
Pożądalność zapachu												
1. dzień	5,70 ^{aA}	2,90	9,30	4,80 ^{aA}	1,00	7,50	4,65 ^{aA}	1,00	6,70	5,45 ^{aA}	2,00	8,40
10. dzień	5,50 ^{aA}	1,00	8,40	5,00 ^{aA}	1,00	9,30	6,30 ^{bA}	2,70	9,20	5,50 ^{aB}	1,00	9,70
20. dzień	5,40 ^{aA}	3,50	7,50	6,50 ^{bB}	3,70	10,00	5,95 ^{aB}	3,70	10,00	6,55 ^{aB}	2,50	8,10

cd. tabeli 24

Czas przechowywania	Materiał badany											
	nSzi			nSzi-GG			nSzi-GT			nSzi-GK		
	Me	min	max	Me	min	max	Me	min	max	Me	min	max
	Cecha											
	Pożądalność barwy											
1. dzień	8,35 ^{aA}	5,20	10,00	7,45 ^{aA}	5,20	9,70	7,20 ^{aA}	5,20	9,70	7,20 ^{aA}	5,20	9,70
10. dzień	6,50 ^{aA}	5,20	10,00	7,00 ^{aA}	4,30	9,40	6,90 ^{aA}	4,10	9,40	7,00 ^{aA}	4,30	9,40
20. dzień	7,10 ^{aA}	4,50	10,00	7,00 ^{aA}	4,70	10,00	7,15 ^{aA}	4,70	10,00	7,35 ^{aA}	3,50	10,00
	Pożądalność wyglądu na przekroju											
1. dzień	7,20 ^{aA}	5,20	10,00	7,60 ^{aA}	3,40	8,60	7,10 ^{aA}	1,00	8,30	5,95 ^{aA}	1,00	8,90
10. dzień	7,90 ^{abA}	4,60	10,00	6,20 ^{aA}	4,40	8,80	7,50 ^{bb}	5,60	8,80	6,90 ^{aA}	3,60	8,80
20. dzień	5,85 ^{aA}	3,60	8,80	7,00 ^{aA}	5,10	10,00	6,15 ^{aAB}	4,50	8,90	6,50 ^{aA}	2,40	8,50

Me – mediana; min – minimum; max – maksimum; nSzi – skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG – skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK – skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... – wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... – wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Na podstawie wyników uzyskanych w II etapie pracy stwierdzono, że zastosowanie gumy guar, gumy tara oraz gumy konjac wpływało na właściwości fizykochemiczne oraz jakość modelowych przetworów mięsnych. Najbardziej widoczne zmiany dotyczyły parametrów tekstury, w szczególności twardości. Dodatek badanych gum istotnie obniżał wartość tej cechy, co było szczególnie wyraźne w przypadku prób zawierających gumę konjac oraz gumę guar. W odniesieniu do próby nSzi-GG obserwowane zmniejszenie twardości zostało dodatkowo potwierdzone wynikami oceny organoleptycznej. Zastosowane mieszaniny nie wywierały negatywnego wpływu na barwę produktów - zarówno pomiary instrumentalne, jak i ocena organoleptyczna nie wykazały istotnych różnic względem próby kontrolnej. Istotnej poprawie uległa natomiast zdolność do zatrzymywania wody, oceniana na podstawie wielkości wycieku oraz zawartości wody wolnej, co znalazło odzwierciedlenie w wyższych ocenach soczystości w analizie przeprowadzonej metodą sensoryczną. Wszystkie analizowane układy spełniły zatem założenia przyjęte w II etapie pracy, potwierdzając potencjał mieszanin polisacharydowych do wykorzystania jako składniki teksturotwórcze, przyczyniające się do poprawy jakości przetworów mięsnych. Należy jednak podkreślić, że nie wszystkie układy wykazały równie korzystne działanie we wszystkich analizowanych aspektach. W przypadku próby nSzi-GG poprawa właściwości fizykochemicznych była widoczna, jednak wartość twardości względem próby kontrolnej była znaczna, co może ograniczać akceptowalność produktu. Podobne obserwacje dotyczyły próby nSzi-GK, która w ocenie organoleptycznej uzyskiwała istotnie niższe noty za pożądalność wyglądu na przekroju. Uwzględniając subtelne różnice między próbami w szczególności w zakresie twardości, dla której układ nSzi-GT uzyskał najwyższe noty w ocenie sensorycznej przy jednoczesnym zachowaniu wartości najbardziej zbliżonych do próby kontrolnej w pomiarach instrumentalnych, a także biorąc pod uwagę soczystość, pożądalność wyglądu na przekroju oraz zawartość wody wolnej, zdecydowano o wyborze mieszaniny z dodatkiem gumy tara do kolejnego etapu pracy. Wybór ten był zgodny z przyjętymi założeniami badawczymi, zakładającymi poprawę jakości przetworów po reformulacji przy jednoczesnym zachowaniu cech jak najbardziej zbliżonych do produktu kontrolnego.

4.3. Etap III – Wpływ mieszaniny skrobi ziemniaczanej natywnej i gumy tara na przetwory mięsne o obniżonej zawartości sodu

W etapie III pracy przygotowano modelowe przetwory mięsne o obniżonej zawartości chlorku sodu z dodatkiem wytypowanej w etapie II mieszaniny skrobi ziemniaczanej natywnej z gumą tara. Przygotowane wyroby różniły się stężeniem chlorku sodu, które wynosiło odpowiednio:

- 0,57% - próba nSzi-GT_25,
- 1,14% - próba nSzi-GT_50,
- 1,71% - próba nSzi-GT_75,

Dodatkowo, w celu odniesienia, sporządzono próbę kontrolną zawierającą pełną dawkę chlorku sodu (2,28%) – nSzi-GT_100.

W badanych przetworach oceniono wpływ zastosowanych mieszanin na:

- wartość pH w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień),
- wartość energetyczną przetworów oraz zawartość białka, tłuszczu, wody i sodu,
- wielkość wycieku cieplnego,
- zdolność utrzymania wody własnej i dodanej w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień),
- wielkość wycieku przechowalniczego w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień),
- barwę w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień) oraz po 2 godzinach naświetlania,
- cechy tekstury w kolejnych dniach przechowywania (1., 10. i 20. dzień),
- jakość organoleptyczną w czasie przechowywania (1., 10. i 20. dzień).

4.3.1. Właściwości fizykochemiczne

Wartości pH

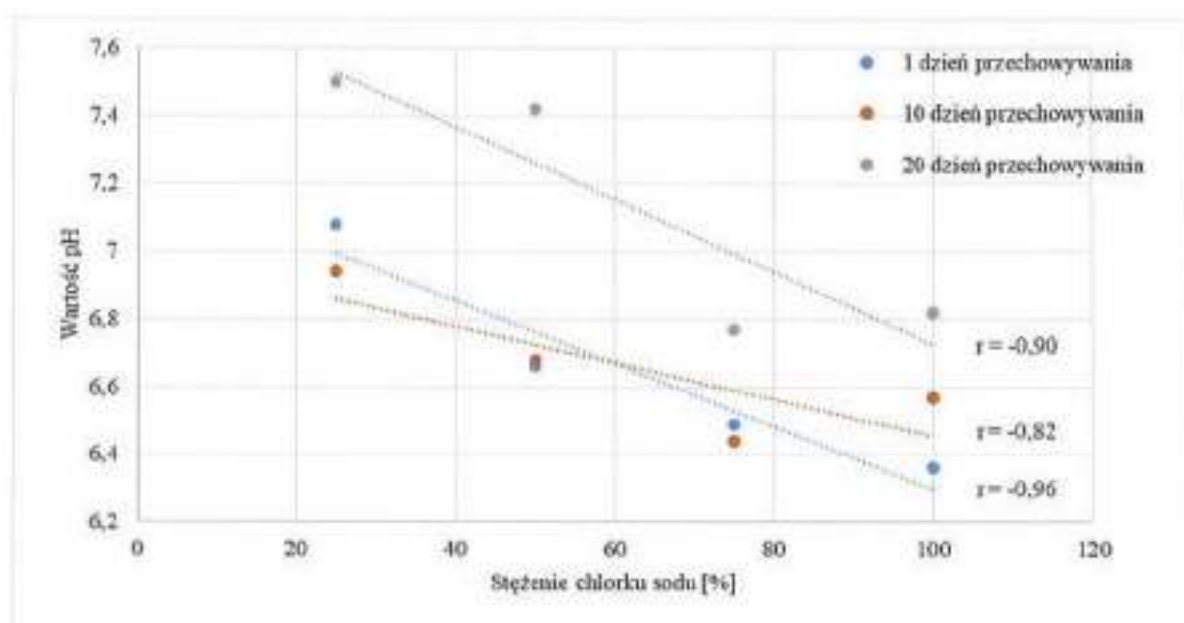
Wartości pH modelowych przetworów mięsnych o obniżonej zawartości chlorku sodu, przechowywanych przez 1., 10. i 20. dzień, przedstawiono w tabeli 25. Obniżenie ilości dodatku chlorku sodu do poziomu 75% i 50% względem próby kontrolnej nie wpłynęło istotnie statystycznie na wartość pH po 1. oraz 10. dniu przechowywania. Różnice zaobserwowano dopiero po 20 dniach, kiedy próba nSzi-GT_50 charakteryzowała się istotnie wyższą wartością pH (7,42) w porównaniu do prób nSzi-GT_75 (6,77) oraz nSzi-GT_100 (6,82). We wszystkich analizowanych dniach stwierdzono, że im niższa zawartość NaCl tym wyższa wartość pH. Próba nSzi-GT_25 (o najniższym udziale chlorku sodu) charakteryzowała się wartością pH zbliżoną do obojętnego (7,08 oraz 6,94 odpowiednio dla 1 i 10 dnia przechowywania) lub wyższą (7,50 - 20. dzień). W czasie przechowywania następowały zmiany wartości pH

w badanych układach, jednak nie były one istotne statystycznie między 1. a 10. dniem. Próba nSzi-GT_75 nie wykazywała istotnych różnic także po 20 dniach, natomiast w pozostałych próbach, w tym również w próbie kontrolnej, po 20 dniach odnotowano statystycznie istotny wzrost pH - do poziomu ok. 7,5 w próbach nSzi-GT_25 i nSzi-GT_50. Utrzymanie odpowiedniego pH w produktach mięsnych jest kluczowe z punktu widzenia zarówno jakości sensorycznej, jak i stabilności mikrobiologicznej. Obniżenie zawartości chlorku sodu nawet do 50% względem wartości wyjściowej nie wpłynęło istotnie na pH w ciągu pierwszych 10 dni przechowywania. Istotny wzrost pH w próbach o niższym stężeniu soli może wynikać z obniżenia siły jonowej środowiska mięsnego. Adsorpcja anionów Cl^- pochodzących z NaCl na dodatnio naładowanych grupach miozyny powoduje przesunięcie punktu izoelektrycznego w kierunku niższych wartości pH, co osłabia oddziaływania elektrostatyczne między przeciwstawnie naładowanymi grupami białek mięśniowych i zwiększa ich wzajemne odpychanie (Desmond, 2006; Offer, Trinick, 1983). Ograniczenie tego efektu w wyniku zmniejszenia stężenia soli skutkowało wzrostem wartości pH. Zależność między pH a zawartością NaCl potwierdzono również na podstawie analizy korelacji (Rys. 31). Linie trendu wskazywały na wyraźną, ujemną zależność wartości pH od stężenia soli. Wysokie wartości współczynnika korelacji Pearsona (r), -0,96 dla 1. dnia, -0,82 dla 10. dnia oraz -0,90 dla 20. dnia przechowywania - dowodzą, że zawartość soli istotnie determinowała wartość pH, zwłaszcza w początkowym i końcowym okresie przechowywania.

Tabela 25. Wartość pH przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1., 10. i 20. dniu przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75		nSzi-GT_100	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
1. dzień	7,08^{ba}	0,304	6,66^{aA}	0,333	6,49^{aA}	0,290	6,36^{aA}	0,114
10. dzień	6,94^{ba}	0,414	6,68^{aA}	0,396	6,44^{aA}	0,203	6,57^{aA}	0,127
20. dzień	7,50^{bb}	0,295	7,42^{bb}	0,339	6,77^{aA}	0,276	6,82^{ab}	0,051

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi-GT_25 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 25% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_50 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 50% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_75 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 75% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_100 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 100% dodatkiem chlorku sodu; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).



Rysunek 31. Korelacja wartości pH ze stężeniem chlorku sodu w przetworach modelowych po 1., 10. i 20. dniu przechowywania

Skład chemiczny, wartość energetyczna i wyciek cieplny

Wartość energetyczna, zawartość białka, tłuszczu, wody i sodu oraz wielkość wycieku cieplnego w modelowych przetworach mięsnych zostały przedstawione w tabeli 26. Wraz ze zmniejszaniem udziału chlorku sodu odnotowano statystycznie istotny wzrost zawartości białka. Jednocześnie uzyskane wyniki były zbliżone do wartości uzyskanych w etapie II (pkt 4.2.1). Zmiany zawartości białka były powiązane ze zmianami wielkości wycieku cieplnego - wraz z redukcją stężenia soli wielkość wycieku cieplnego wzrastała. Spośród badanych wariantów jedynie próba zawierająca nSzi-GT_75 nie różniła się istotnie statystycznie od próby kontrolnej pod względem wielkości wycieku cieplnego. Zwiększony wyciek cieplny w wyniku redukcji zawartości soli został już wcześniej opisany w literaturze (Choi, Chin, 2020; Zhang, Fu, Chen, Jin, 2023; Aprilia, Kim, 2022; Yin, Zhang, Fang, 2023; Yang i in., 2015; Macharáčková i in., 2021). Zjawisko to wyjaśnia się nakładaniem kilku mechanizmów fizykochemicznych. Obniżenie siły jonowej układu, wynikające ze zmniejszonej zawartości soli, skutkuje ograniczonym odpychaniem elektrostatycznym pomiędzy filamentami miofibrilarnymi, co z kolei zmniejsza ich pęcznienie oraz redukuje objętość przestrzeni kapilarnych odpowiedzialnych za zatrzymywanie wody w matrycy białkowej. Ponadto niższa zawartość soli ogranicza rozpuszczalność białek miofibrilarnych, a tym samym zmniejsza ilość białek dostępnych do tworzenia żelowej struktury wiążącej wodę podczas obróbki cieplnej. Niewystarczająco rozwinięta matryca białkowa oraz ograniczone pęcznienie włókien

mięśniowych sprzyjają wypieraniu wody z przestrzeni międzyfilamentarych, a dodatkowo zwiększona kurczliwość cieplna włókien mięśniowych potęguje straty wody (Wang i in., 2023).

Zawartość tłuszczu we wszystkich badanych wariantach mieściła się w przedziale 2-3% i była porównywalna z wartościami uzyskanymi w etapie II (Tab. 26). Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy badanymi próbami a próbą kontrolną. Podobną zależność odnotowano dla zawartości wody, która oscylowała w zakresie od 73-76%. Wartość energetyczna analizowanych wyrobów wynosiła od ok. 631 do ok. 657 kcal/100 g, przy czym również w tym przypadku nie stwierdzono istotnych różnic statystycznych pomiędzy badanymi wariantami. Zawartość sodu w przetworach mięsnych wynikała ze składu surowcowego oraz zastosowanych dodatków funkcjonalnych. W badanych układach głównymi jego źródłami były mięso wieprzowe, azotan (III) sodu, askorbinian sodu oraz chlorek sodu, przy czym NaCl stanowił dominujące źródło tego pierwiastka. Redukcja jego udziału skutkowała istotnym statystycznie obniżeniem zawartości sodu w produktach - od 4,47 g/100 g s.m. w próbie kontrolnej do 1,77 g/100 g s.m. w wariancie nSzi-GT_25. Różnice te były istotne statystycznie pomiędzy wszystkimi poziomami dodatku soli. Produkty mięsne zazwyczaj charakteryzują się wysoką zawartością sodu, co wynika z technologicznej i sensorycznej roli soli. Jednak aktualne rekomendacje żywieniowe jednoznacznie wskazują na konieczność ograniczenia jego spożycia w diecie, w celu zmniejszenia ryzyka rozwoju chorób dietozależnych, takich jak nadciśnienie tętnicze czy choroby układu sercowo-naczyniowego (WHO, 2013). Uzyskane wyniki potwierdzają, że reformulacja polegająca na obniżeniu zawartości NaCl skutecznie zmniejsza ilość sodu w gotowym produkcie, co podkreśla jej efektywność w kontekście żywieniowym. Z tego punktu widzenia spożycie produktów mięsnych o obniżonej zawartości sodu może stanowić istotny element profilaktyki zdrowotnej i przyczynić się do poprawy stanu zdrowia populacji (Petit i in., 2019).

Tabela 26. Wartość energetyczna oraz zawartość białka, tłuszczu, wody i sodu, a także wielkość wycieku cieplnego w przetworach modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu

Parametr	Materiał badany							
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75		nSzi-GT_100	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Białko [%]	19,65 ^d	0,351	19,29 ^c	0,193	18,69 ^b	0,218	17,96 ^a	0,158
Tłuszcz [%]	2,90 ^b	0,685	2,51 ^{ab}	0,623	2,18 ^a	0,104	2,59 ^{ab}	0,520
Zawartość wody [%]	74,30 ^a	0,855	76,09 ^a	1,827	73,87 ^a	0,468	73,70 ^a	0,648
Wartość energetyczna [kcal/100g]	657,11 ^a	27,281	631,61 ^a	9,345	641,17 ^a	11,505	638,61 ^a	34,466
Sód [g/100g s.m.]	1,77 ^a	0,152	2,43 ^b	0,166	3,22 ^c	0,386	4,47 ^d	0,609
Wyciek cieplny [%]	5,72 ^c	1,490	3,22 ^b	0,247	2,76 ^{ab}	0,386	2,66 ^a	0,186

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi-GT_25 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 25% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_50 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 50% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_75 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 75% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_100 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 100% dodatkiem chlorku sodu; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Zdolność utrzymania wody własnej i dodanej

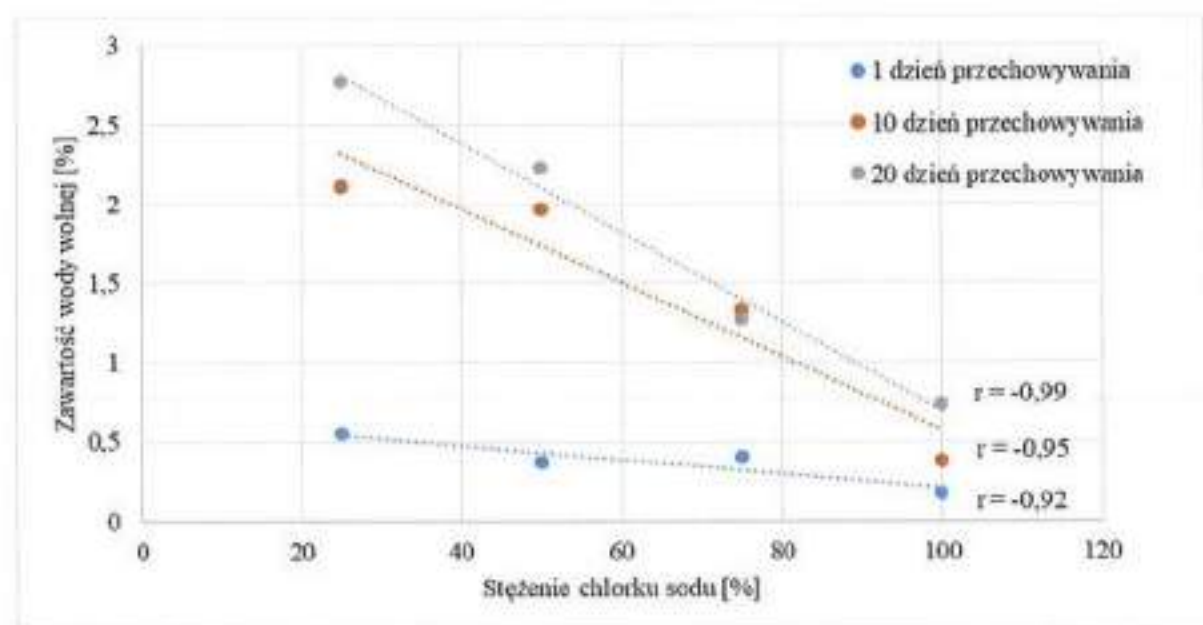
Zawartość wody wolnej w modelowych przetworach mięsnych różniła się istotnie zarówno w zależności od udziału chlorku sodu, jak i czasu przechowywania (Tab. 27). Obniżenie dodatku NaCl prowadziło do zmniejszenia zdolności układu do zatrzymywania wody, czego konsekwencją był wzrost zawartości wody wolnej. We wszystkich dniach przechowywania próby o obniżonej zawartości soli wykazywały istotnie wyższe wartości tego parametru w porównaniu do próby kontrolnej. W 1. dniu badania nie odnotowano istotnych różnic między wariantami nSzi-GT_25, nSzi-GT_50 i nSzi-GT_75. Natomiast w 10. i 20. dniu brak istotnych różnic dotyczył jedynie prób nSzi-GT_25 i nSzi-GT_50. W przypadku próby kontrolnej zawartość wody wolnej rosła istotnie w całym okresie przechowywania, podczas gdy w pozostałych wariantach wzrost ten był istotny jedynie pomiędzy 1. a 10. dniem. Wykres korelacji pomiędzy zawartością wody wolnej a stężeniem chlorku sodu (Rys. 32) potwierdził ujemną zależność pomiędzy tymi zmiennymi. Wykazywał on silny i wzrastający wpływ stężenia soli na zawartość wody wolnej: -0,92 w 1. dniu, -0,95 w 10. dniu oraz -0,99 w 20. dniu przechowywania. Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdzają odwrotnie proporcjonalną zależność, zgodnie z którą zmniejszenie stężenia chlorku sodu prowadzi do zwiększenia udziału wody wolnej w produkcie. Zjawisko to związane jest z osłabieniem solubilizacji i sieciowania białek miofibrylarnych, co ogranicza zdolność mięsa do wiązania wody. Jest to efekt typowy

dla procesów reformulacji receptur mięsnych o obniżonej zawartości soli i został potwierdzony również w literaturze (Guo i in., 2020; Tamm, Bolumar, Bajovic, Toepfl, 2016; Yang i in., 2015; Lee i in., 2023b).

Tabela 27. Zawartość wody wolnej w przetworach modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75		nSzi-GT_100	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
1. dzień	0,55^{ba}	0,151	0,37^{ba}	0,034	0,40^{ba}	0,081	0,17^{aA}	0,011
10. dzień	2,11^{cb}	0,163	1,97^{cb}	0,194	1,33^{bb}	0,289	0,38^{aB}	0,101
20. dzień	2,77^{cb}	0,633	2,23^{cb}	0,159	1,27^{bb}	0,231	0,73^{aC}	0,135

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi-GT_25 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 25% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_50 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 50% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_75 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 75% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_100 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 100% dodatkiem chlorku sodu; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).



Rysunek 32. Korelacja zawartości wody wolnej ze stężeniem chlorku sodu w przetworach modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Ubytki masy podczas przechowywania

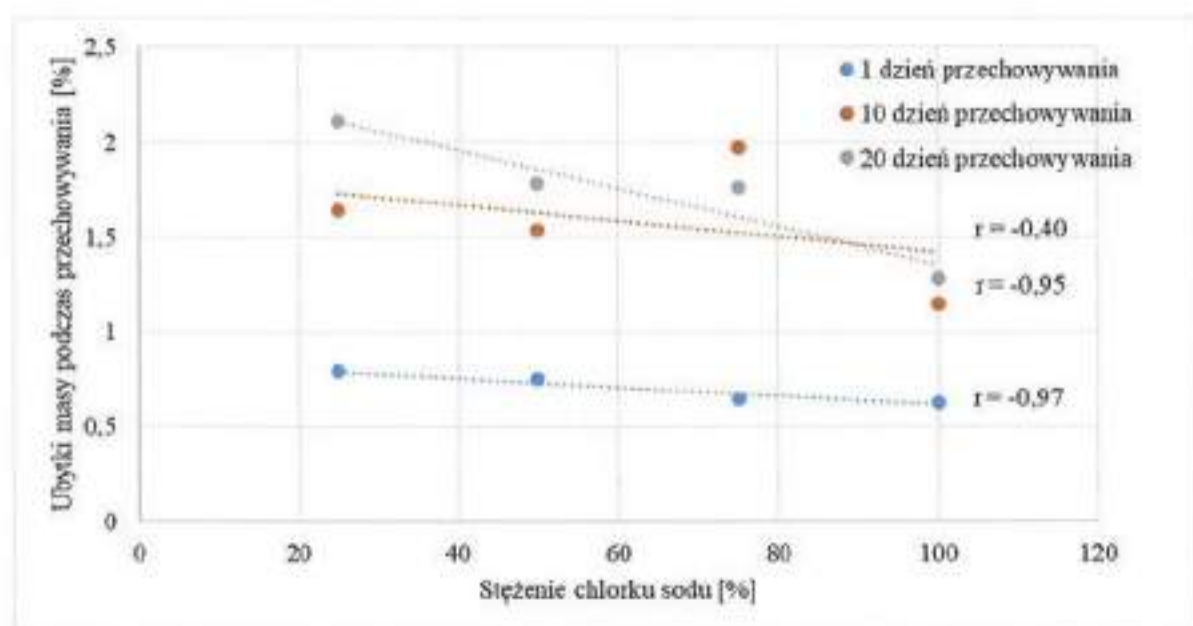
Wielkość ubytków masy przetworów modelowych o obniżonej zawartości soli, przechowywanych przez 1, 10 i 20 dni, przedstawiono w tabeli 28. Obniżenie stężenia chlorku sodu skutkowało nieznacznym, statystycznie nieistotnym wzrostem wycieku

przechowalniczego w całym okresie badania. Niezależnie od składu, we wszystkich próbach obserwowano stopniowy wzrost wycieku w czasie przechowywania. W przypadku próby kontrolnej zmiany te nie były istotne statystycznie. W próbach nSzi-GT_75 i nSzi-GT_50 wzrost wycieku nie był istotny pomiędzy 10. a 20. dniem przechowywania, natomiast w próbie nSzi-GT_25 istotny statystycznie wzrost odnotowano jedynie pomiędzy 1. a 20. dniem przechowywania. Najwyższą wartość wycieku przechowalniczego odnotowano dla wariantu nSzi-GT_25 po 20 dniach przechowywania i wynosiła ona 2,11%. Jak wskazano wcześniej, chlorek sodu odgrywa kluczową rolę w długotrwałym utrzymaniu wody w strukturze mięsa, dlatego zmniejszenie jego udziału wiąże się z pogorszeniem tej zdolności (Larsen, Elvevoll, 2008). Uzyskane wyniki wskazują, jednak że mieszanina nSzi-GT wykazuje korzystne działanie stabilizujące wodę w strukturze, ograniczając ubytki masy związane z przechowywaniem nawet przy obniżonym dodatku soli. Efekt ten można przypisać właściwościom galaktomannanu tara, który charakteryzuje się wysoką zdolnością wiązania wody. W połączeniu ze skrobią ziemniaczaną mógł on tworzyć stabilną strukturę żelową w przestrzeniach między włóknami miofibrylarnymi, ograniczając migrację wody. Dodatkowo synergistyczne działanie obu składników mogło zwiększać stabilność żelu, co miało szczególne znaczenie w warunkach ograniczonej siły jonowej, przy zmniejszonej rozpuszczalności i pęcznieniu białek mięśniowych. Zależność pomiędzy wielkością wycieku przechowalniczego a stężeniem soli potwierdzono również na podstawie analizy korelacji (Rys. 33). Linie trendu oraz wartości współczynnika korelacji Pearsona (r) wskazywały na silną, ujemną korelację w 1. i 10. dniu przechowywania (odpowiednio $r = -0,97$ i $r = -0,40$). W 20. dniu siła tej zależności była znacznie mniejsza ($r = -0,95$), co sugeruje, że wpływ obniżonego stężenia soli na wielkość wycieku malał wraz z wydłużaniem czasu przechowywania. Może to wynikać ze stabilizującego działania zastosowanej mieszaniny skrobi ziemniaczanej i gumy tara, która w dłuższym okresie mogła skutecznie ograniczać negatywne skutki obniżonej zawartości chlorku sodu w kontekście retencji wody.

Tabela 28. Wielkość ubytków masy [%] przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75		nSzi-GT_100	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
1. dzień	0,79^{aA}	0,074	0,75^{aA}	0,072	0,65^{aA}	0,008	0,63^{aA}	0,085
10. dzień	1,64^{aAB}	0,363	1,54^{aB}	0,018	1,97^{aB}	0,383	1,15^{aA}	0,288
20. dzień	2,11^{aB}	0,255	1,78^{aB}	0,291	1,76^{aB}	0,294	1,28^{aA}	0,376

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi-GT_25 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 25% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_50 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 50% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_75 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 75% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_100 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 100% dodatkiem chlorku sodu; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).



Rysunek 33. Korelacja ubytków masy z zawartością chlorku sodu w przetworach po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

4.3.2. Barwa

Obniżenie zawartości chlorku sodu w przetworach modelowych miało istotny wpływ na ich barwę (Tab. 29). Wartość jasności (parametr L^*) wzrastała wraz ze zmniejszaniem dodatku NaCl. W 1. dniu przechowywania statystycznie istotnie wyższą jasność w porównaniu z próbą kontrolną wykazywał jedynie wariant z 25% udziału soli. W 10. i 20. dniu przechowywania istotnie wyższe wartości L^* odnotowano natomiast w próbce nSzi-GT_75. Próby nSzi-GT_50 oraz nSzi-GT_75 nie różniły się między sobą statystycznie w żadnym z dni analizy, podobnie jak wszystkie warianty o obniżonym dodatku NaCl w dniu 1. Pomimo, że

jasność wykazywała tendencję spadkową w czasie przechowywania, zmiany te nie były istotne statystycznie.

Odwrotną zależność zaobserwowano dla wartości czerwieni (parametr a^*) (Tab. 29), która malała wraz ze zmniejszaniem zawartości NaCl, przy czym efekt ten nasilał się wraz z dalszym obniżaniem ilości soli. Już próba nSzi-GT_75 charakteryzowała się istotnie niższą wartością a^* w porównaniu z kontrolą we wszystkich dniach przechowywania. Także w tym przypadku próby nSzi-GT_50 i nSzi-GT_75 nie różniły się między sobą istotnie. Czas przechowywania powodował statystycznie istotne obniżenie wartości czerwieni pomiędzy 1, a kolejnymi dniami badania, natomiast różnice pomiędzy 10. a 20. dniem nie były istotne.

W przypadku żółci (parametr b^*) odnotowano tendencję wzrostową wartości wraz z redukcją zawartości soli (Tab. 29). W 1. i 20. dniu przechowywania zmiany te nie były jednak statystycznie istotne w próbach nSzi-GT_50, nSzi-GT_75 i nSzi-GT_100. W 10. dniu żadna z analizowanych prób, w tym kontrolna, nie wykazywała istotnych różnic. Czas przechowywania powodował niewielki wzrost wartości parametru b^* , jednak w żadnym przypadku zmiana ta nie osiągnęła istotności statystycznej.

Wartość nasycenia barwy (parametr C^*) malała wraz ze zmniejszaniem zawartości NaCl (Tab. 29). We wszystkich dniach analizy próba kontrolna charakteryzowała się istotnie wyższym nasyceniem barwy niż pozostałe warianty. Próby nSzi-GT_50 oraz nSzi-GT_75 nie różniły się istotnie między sobą w żadnym z dni przechowywania. Czas przechowywania powodował obniżenie wartości parametru C^* , jednak istotne statystycznie różnice odnotowano jedynie pomiędzy 1. dniem a kolejnymi dniami analizy. Pomiedzy 10. a 20. dniem nie zaobserwowano dalszego, istotnego obniżenia nasycenia barwy.

Redukcja zawartości chlorku sodu prowadziła do zwiększenia jasności i żółci, a jednocześnie do zmniejszenia czerwieni oraz nasycenia barwy badanych przetworów modelowych. Uzyskane wyniki są zgodne z danymi literaturowymi (Zhu, Yan, Yu, Wu, Bennett, 2022). Wzrost jasności w produktach o obniżonej zawartości soli można tłumaczyć zmniejszoną rozpuszczalnością białek mięśniowych, co zwiększa dostępność wody na powierzchni mięsa w konsekwencji intensyfikuje odbicie światła. Spadek wartości parametru a^* może być natomiast związany z niższym stężeniem mioglobiny na powierzchni (wynikającym z obecności wolnej wody) oraz z ograniczoną ekstrakcją tego barwnika w warunkach zmniejszonej zawartości soli. Ponadto efekt ten może wynikać z obniżonej efektywności procesu peklowania, skutkującej ograniczonym wytwarzaniem nitrozylomioglobiny oraz jej zdenaturowanej formy - nitrozylochromogenu (Fernández-López, Sayas-Barberá, Pérez-Alvarez, Aranda-Catalá, 2004; Chen i in., 2025; Petit i in., 2019).

Pomimo statystycznie istotnych różnic w poszczególnych współrzędnych barwy, analiza różnicy całkowitej (ΔE) wykazała, że tylko w nielicznych przypadkach zmiany były dostrzegalne wizualnie (Tab. 30). Wartości ΔE przekraczające próg percepcji wzrokowej ($> 3,0$) odnotowano wyłącznie w porównaniach:

- nSzi-GT_25 (1. dzień przechowywania) vs. nSzi-GT_100 (we wszystkich dniach przechowywania),
- nSzi-GT_25 (10. dzień przechowywania) vs. nSzi-GT_100 (10. dzień przechowywania),
- nSzi-GT_50 (1. dzień przechowywania) vs. nSzi-GT_100 (10. dzień przechowywania).

We wszystkich pozostałych przypadkach wartości ΔE pozostawały poniżej granicy percepcji wzrokowej, co oznacza, że różnice barwy, mimo ich istotności statystycznej, nie były rozpoznawalne dla obserwatora.

Tabela 29. Parametry barwy przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75		nSzi-GT_100	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
	Parametr barwy							
	L^*							
1. dzień	62,46 ^{ba}	1,910	61,57 ^{abA}	1,968	60,75 ^{abA}	1,054	59,15 ^{aA}	2,498
10. dzień	61,16 ^{ca}	0,292	60,69 ^{cbA}	0,528	60,23 ^{ba}	0,319	58,52 ^{aA}	0,848
20. dzień	61,51 ^{ca}	0,218	60,40 ^{ba}	0,406	59,96 ^{ba}	0,498	58,69 ^{aA}	0,779
	a^*							
1. dzień	15,16 ^{aB}	0,129	15,40 ^{bb}	0,129	15,64 ^{bb}	0,394	16,32 ^{cb}	0,355
10. dzień	14,85 ^{aA}	0,204	14,94 ^{aA}	0,243	15,06 ^{aA}	0,170	15,76 ^{ba}	0,497
20. dzień	14,69 ^{aA}	0,149	14,96 ^{ba}	0,215	15,09 ^{ba}	0,148	15,63 ^{ca}	0,473
	b^*							
1. dzień	7,57 ^{ba}	0,129	7,47 ^{abA}	0,195	7,27 ^{aA}	0,150	7,20 ^{aA}	0,240
10. dzień	7,43 ^{aA}	0,123	7,38 ^{aA}	0,211	7,41 ^{aA}	0,233	7,30 ^{aA}	0,182
20. dzień	7,62 ^{ba}	0,186	7,48 ^{abA}	0,095	7,40 ^{abA}	0,227	7,35 ^{aA}	0,134
	C^*							
1. dzień	16,95 ^{abB}	0,100	17,12 ^{bb}	0,056	17,25 ^{abB}	0,372	17,84 ^{cb}	0,293
10. dzień	16,61 ^{aA}	0,144	16,67 ^{aA}	0,185	16,78 ^{aA}	0,215	17,37 ^{ba}	0,384
20. dzień	16,55 ^{aA}	0,120	16,73 ^{abA}	0,168	16,81 ^{ba}	0,211	17,28 ^{ca}	0,387

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi-GT_25 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 25% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_50 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 50% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_75 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 75% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_100 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 100% dodatkiem chlorku sodu; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

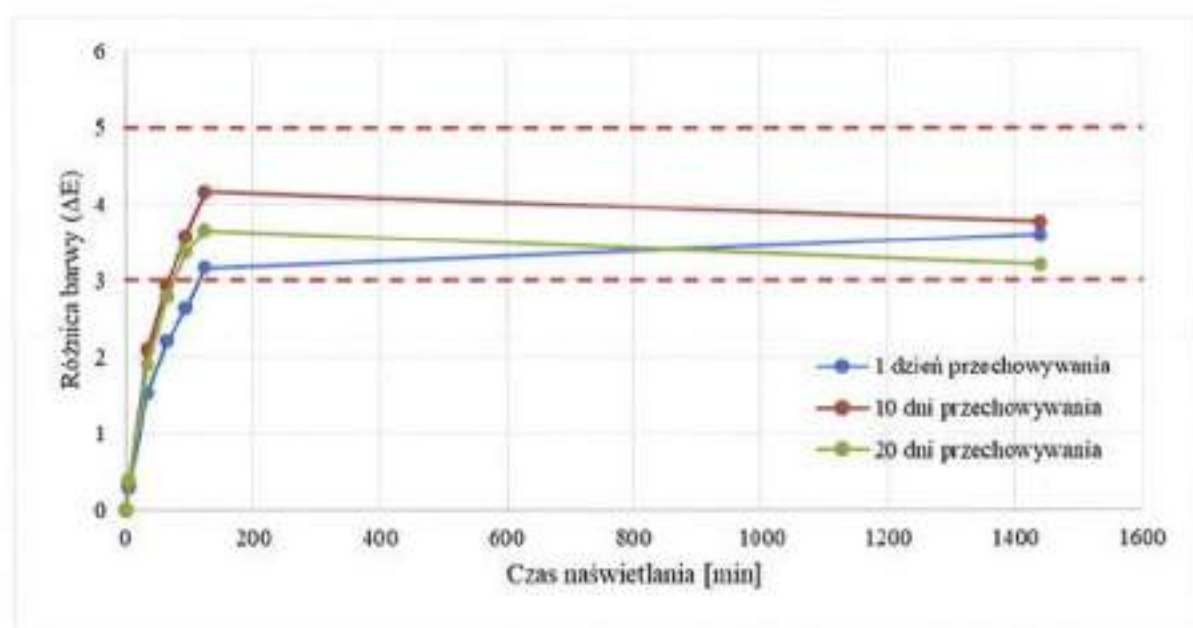
Tabela 30. Różnica barwy (ΔE) przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Material badany/Czas przechowywania	nSzi- GT_25/1. dzień	nSzi- GT_25/10. dzień	nSzi- GT_25/20. dzień	nSzi- GT_50/1. dzień	nSzi- GT_50/ 10. dzień	nSzi- GT_50/ 20. dzień	nSzi- GT_75/ 1. dzień	nSzi- GT_75/ 10. dzień	nSzi- GT_75/ 20. dzień	nSzi- GT_100/ 1. dzień	nSzi- GT_100/ 10. dzień	nSzi- GT_100/ 20. dzień
nSzi-GT_25/ 1. dzień	0,0 [*]											
nSzi-GT_25/ 10. dzień	1,1 [*]	0,0 [*]										
nSzi-GT_25/ 20. dzień	1,3 [*]	0,4 [*]	0,0 [*]									
nSzi-GT_50/ 1. dzień	0,9 [*]	0,7 [*]	0,7 [*]	0,0 [*]								
nSzi-GT_50/ 10. dzień	1,8 [*]	0,9 [*]	0,5 [*]	1,0 [*]	0,0 [*]							
nSzi-GT_50/ 20. dzień	2,1 [*]	1,2 [*]	0,8 [*]	1,3 [*]	0,3 [*]	0,0 [*]						
nSzi-GT_75/ 1. dzień	1,8 [*]	1,3 [*]	0,9 [*]	0,9 [*]	0,7 [*]	0,8 [*]	0,0 [*]					
nSzi-GT_75/ 10. dzień	2,2 [*]	1,3 [*]	1,0 [*]	1,4 [*]	0,5 [*]	0,2 [*]	0,8 [*]	0,0 [*]				
nSzi-GT_75/ 20. dzień	2,5 [*]	1,6 [*]	1,2 [*]	1,6 [*]	0,7 [*]	0,5 [*]	1,0 [*]	0,3 [*]	0,0 [*]			
nSzi-GT_100/ 1. dzień	3,5⁺⁺	2,9 ⁺	2,5 [*]	2,6 [*]	2,1 ⁺	1,9 ⁺	1,7 ⁺	1,7 ⁺	1,5 ⁺	0,0 ⁺		
nSzi-GT_100/ 10. dzień	4,0⁺⁺	3,2⁺⁺	2,8 [*]	3,1⁺⁺	2,3 ⁺	2,1 ⁺	2,2 ⁺	1,9 ⁺	1,6 ⁺	0,8 ⁺	0,0 ⁺	
nSzi-GT_100/ 20. dzień	3,8⁺⁺	3,0 ⁺	2,6 [*]	2,9 [*]	2,1 ⁺	1,8 ⁺	2,1 ⁺	1,7 ⁺	1,4 ⁺	0,8 ⁺	0,2 ⁺	0,0 ⁺

nSzi-GT_25 – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tarcą oraz 25% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_50 – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tarcą oraz 50% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_75 – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tarcą oraz 75% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_100 – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tarcą oraz 100% dodatkami chlorku sodu; * różnicę barwy niezarazdąlną wzrokowo ($\leq 3,0$); ** różnicę barwy zarazdąlną wzrokowo ($> 3,0$).

Na podstawie wyników pomiarów barwy przetworów o obniżonym stężeniu chlorku sodu, poddanych działaniu światła mieszanego przez 0, 5, 35, 65, 95 i 125 minut oraz przechowywanych następnie w warunkach chłodniczych przez 24 godziny (Załącznik 2), obliczono wartość różnicy barwy (ΔE). Różnice przekraczające wartość 3,0 (dostrzegalne wzrokowo) oraz 5,0 (postrzegane jako dwa różne kolory) występowały jedynie w wybranych przypadkach.

W przypadku próby nSzi-GT_25 obserwowano stopniowy wzrost wartości ΔE wraz z wydłużaniem czasu naświetlania (Rys. 34). W 1. dniu przechowywania różnice zauważalne wzrokowo wystąpiły po 125 minutach naświetlania, a dodatkowe przechowywanie chłodnicze powodowało dalszy wzrost wartości ΔE . W próbach przechowywanych przez 10 i 20 dni zauważalne różnice barwy wystąpiły już po 95 minutach ekspozycji na światło, przy czym w tym przypadku przechowywanie chłodnicze prowadziło do obniżenia wartości ΔE . Najwyższe wartości ΔE po naświetlaniu odnotowano w próbie przechowywanej przez 10 dni. Ani czas przechowywania, ani naświetlanie nie spowodowały jednak przekroczenia wartości granicznej $\Delta E = 5,0$.

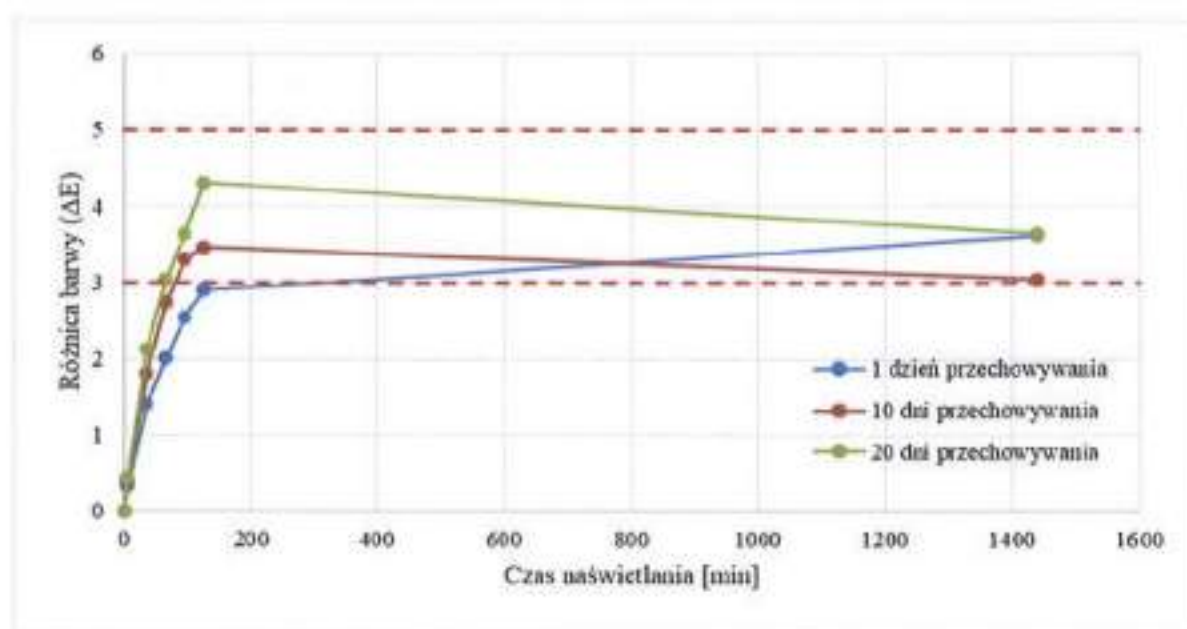


Rysunek 34. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT_25 poddanej naświetlaniu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

różnica barwy zauważalna wzrokowo ($> 3,0$); wrażenie dwóch różnych barw ($> 5,0$)

W przypadku próby nSzi-GT_50 przechowywanej przez 1 dzień, naświetlanie nie spowodowało zauważalnej zmiany barwy, jednak po dodatkowym przechowywaniu

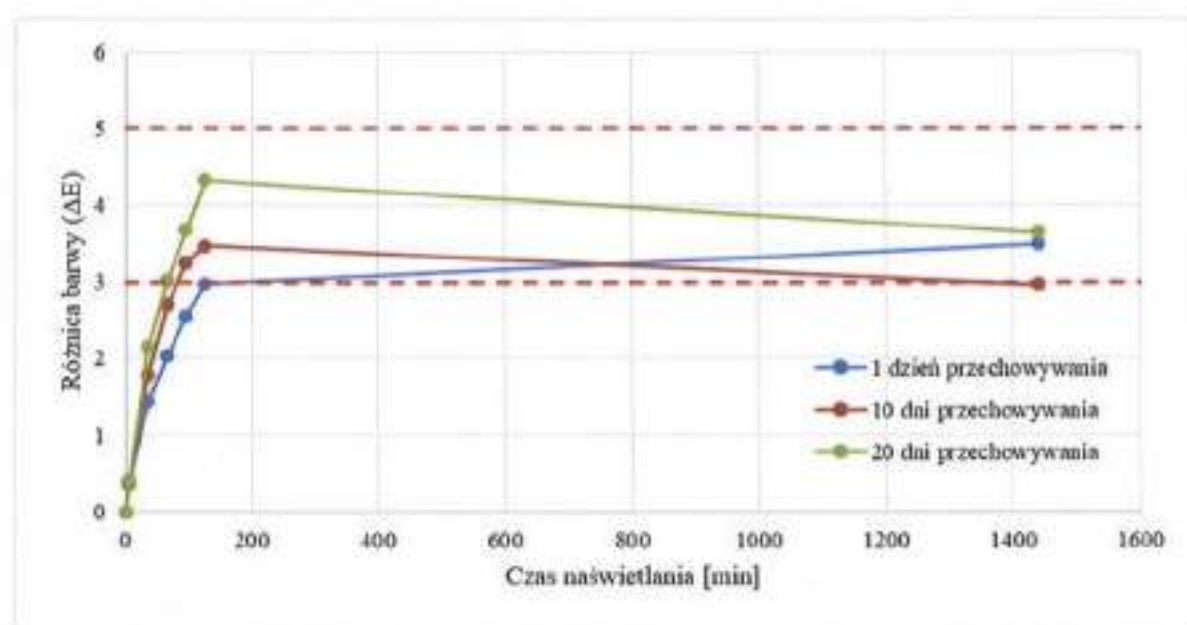
chłodniczym wartość ΔE wzrosła do 3,6 (Rys. 35). Dla prób przechowywanych przez 10 i 20 dni różnica barwy zauważalna wzrokowo wystąpiła po 95 minutach naświetlania. Dalsze przechowywanie po zakończeniu ekspozycji skutkowało obniżeniem wartości ΔE - w przypadku próby 10-dniowej do poziomu 3,0. W żadnym z analizowanych wariantów nie odnotowano wartości ΔE przekraczającej 5,0.



Rysunek 35. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT_50 poddanej naświetlaniu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

różnica barwy zauważalna wzrokowo ($> 3,0$); wrażenie dwóch różnych barw ($> 5,0$)

Podobną tendencję zaobserwowano dla próby nSzi-GT_75. Wariant przechowywany przez 1 dzień nie wykazywał zauważalnej zmiany barwy po naświetlaniu, jednak wartość ΔE po dodatkowym przechowywaniu chłodniczym wzrosła do 3,5 (Rys. 36). W przypadku prób przechowywanych 10 i 20 dni, zmiany barwy zauważalne wzrokowo pojawiły się już po 95 minutach naświetlania, natomiast przechowywanie chłodnicze prowadziło do obniżenia wartości ΔE . Przykładowo, dla próby przechowywanej 10 dni ΔE osiągnęła wartość graniczną 3,0. W żadnym przypadku nie odnotowano wartości ΔE powyżej 5,0.

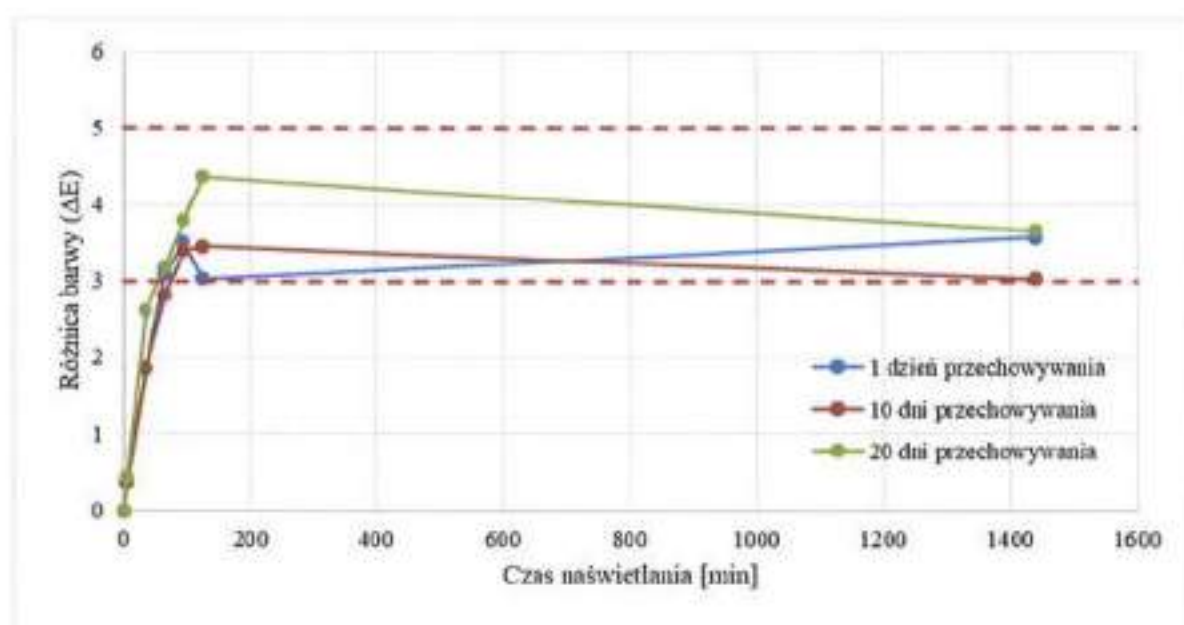


Rysunek 36. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT_75 poddanej naświetlaniu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

różnica barwy zauważalna wzrokowo ($> 3,0$); wrażenie dwóch różnych barw ($> 5,0$)

W przypadku próby nSzi-GT_100 przechowywanej przez 1 dzień, zauważalna różnica barwy pojawiła się już po 65 minutach naświetlania ($\Delta E = 3,1$) (Rys. 37). Dalsze wydłużenie czasu naświetlania spowodowało przejściowe zmniejszenie wartości ΔE do 3,0, jednak po dodatkowym przechowywaniu chłodniczym wzrosła ona do 3,6. W pozostałych wariantach różnica barwy przekraczała próg widoczności (3,0) po 95 minutach w przypadku próby przechowywanej 10 dni oraz po 65 minutach dla próby przechowywanej 20 dni. W obu przypadkach dodatkowe przechowywanie chłodnicze skutkowało obniżeniem wartości ΔE , osiągając 3,0 dla próby 10-dniowej. W żadnej z analizowanych prób nie odnotowano wartości ΔE przekraczających 5,0.

Zmiany barwy wynikające z naświetlania miały zbliżony charakter i porównywalne wartości ΔE we wszystkich analizowanych próbach. We wszystkich przypadkach przechowywanie chłodnicze po naświetlaniu prowadziło do wzrostu ΔE w próbach przechowywanych 1 dzień, natomiast w wariantach 10- i 20-dniowych skutkowało jego obniżeniem. W żadnym przypadku nie odnotowano zmian barwy przekraczających próg 5,0. Największą odporność na działanie światła w 1 dniu przechowywania wykazywały próby nSzi-GT_50 i nSzi-GT_75. Jednocześnie redukcja zawartości chlorku sodu nie miała istotnego wpływu na podatność przetworów na zmiany barwy pod wpływem naświetlania.



Rysunek 37. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT_100 poddanej naświetlaniu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

różnica barwy zauważalna wzrokowo ($> 3,0$); wrażenie dwóch różnych barw ($> 5,0$)

4.3.3. Tekstura

Parametry tekstury przetworów modelowych o obniżonej zawartości soli, przechowywanych przez 1, 10 i 20 dni, przedstawiono w tabeli 31. Zmniejszenie dodatku chlorku sodu skutkowało obniżeniem wartości twardości I. W 1. dniu badania najwyższą wartością tego parametru charakteryzowała się próba kontrolna (12,76 N), natomiast najniższą próba nSzi-GT_25 (7,54 N). W 1. i 20. dniu przechowywania pomiędzy wszystkimi próbami występowały statystycznie istotne różnice. W 10. dniu różnice te nie były istotne jedynie pomiędzy parami nSzi-GT_25 a nSzi-GT_50 oraz nSzi-GT_75 a nSzi-GT_100. Niezależnie od zawartości soli, w trakcie przechowywania odnotowano statystycznie istotny wzrost wartości twardości I. Największy, niemal dwukrotny przyrost wystąpił w przypadku próby nSzi-GT_25, natomiast w pozostałych układach mieścił się w zakresie 1,63-1,80 razy.

Analogiczny trend zaobserwowano dla twardości II. Zmniejszenie zawartości NaCl skutkowało obniżeniem wartości tego parametru, natomiast wydłużenie okresu przechowywania prowadziło do jego wzrostu (Tab. 31). W 1. dniu przechowywania wszystkie próby różniły się od siebie w sposób statystycznie istotny. W 10. dniu brak istotnych różnic odnotowano jedynie między parami nSzi-GT_25 i nSzi-GT_50 oraz nSzi-GT_75 a nSzi-GT_100, natomiast w 20. dniu - między próbami nSzi-GT_50 i nSzi-GT_75. Podobnie jak w etapie II, wartości twardości II były niższe niż wartości twardości I, co wynikało

z częściowego uszkodzenia struktury po pierwszym cyklu pomiarowym oraz jej niepełnego odtworzenia w trakcie relaksacji.

Zawartość soli miała istotny wpływ na sprężystość przetworów (Tab. 31). Jej redukcja powodowała obniżenie wartości tego parametru z 0,66 (próba kontrolna) do 0,39 (próba nSzi-GT_25) w 1. dniu przechowywania. W 1. i 10. dniu wszystkie próby różniły się między sobą w sposób statystycznie istotny. W 20. dniu brak istotnych różnic odnotowano jedynie między próbami nSzi-GT_50 i nSzi-GT_75. Czas przechowywania miał statystycznie istotny wpływ wyłącznie na prób nSzi-GT_75 i nSzi-GT_100, w których w 20. dniu odnotowano obniżenie sprężystości. W pozostałych przypadkach czas przechowywania nie powodował istotnych zmian tego parametru.

Redukcja zawartości soli miała istotny wpływ na gumistość badanych przetworów (Tab. 31). W 1. dniu przechowywania wartość tego parametru spadła z 2,81 (nSzi-GT_100) do 1,38 (nSzi-GT_25). W 1. i 10. dniu wszystkie próby różniły się między sobą w sposób statystycznie istotny, natomiast w 20. dniu brak istotnych różnic odnotowano jedynie między próbami nSzi-GT_50 i nSzi-GT_75. Niezależnie od poziomu dodatku chlorku sodu, dla wszystkich prób stwierdzono statystycznie istotny wzrost gumistości wraz z wydłużeniem czasu przechowywania.

Wartość żujności obniżała się wraz z redukcją zawartości soli (Tab. 31). W 1. i 10. dniu przechowywania wszystkie próby różniły się istotnie statystycznie pod względem tego parametru. W czasie przechowywania istotne zmiany żujności zaobserwowano jedynie w przypadku prób nSzi-GT_75, dla której pomiędzy 1. a 10. dniem wystąpił statystycznie istotny wzrost, natomiast między 10. a 20. dniem odnotowano nieistotny spadek. Próby nSzi-GT_100 i nSzi-GT_25 nie wykazały istotnych zmian w końcowym okresie przechowywania, w przeciwieństwie do próby nSzi-GT_50, w której żujność rosła istotnie statystycznie w całym analizowanym okresie.

W przypadku kohezji, zmniejszenie zawartości NaCl skutkowało jej obniżeniem, jednak zmiany te nie były istotne statystycznie pomiędzy próbą kontrolną a próbą nSzi-GT_75 w żadnym z dni pomiaru (Tab. 31). Brak istotnych różnic odnotowano również między próbami nSzi-GT_25 i nSzi-GT_50, a także między próbami nSzi-GT_50 i nSzi-GT_75 w 10. i 20. dniu przechowywania. Czas przechowywania nie miał istotnego wpływu na wartość kohezji.

Reformulacja przetworów mięsnych w kierunku redukcji zawartości soli i tłuszczu wiąże się z naturalnymi zmianami cech teksturalnych, które mają istotne znaczenie zarówno z punktu technologicznego, jak i konsumenckiego. Zmniejszenie zawartości tłuszczu zwykle skutkuje wzrostem twardości oraz obniżeniem sprężystości, co wynika z właściwości

fizykochemicznych tłuszczu mięsnego nadającego produktom miękkość i elastyczność. Redukcja chlorku sodu prowadzi natomiast do obniżenia zarówno twardości, jak i sprężystości, co jest konsekwencją ograniczonej rozpuszczalności białek miofibrylarnych, zmniejszonej hydratacji oraz osłabienia ich właściwości emulgujących w warunkach niskiego stężenia NaCl (Wang i in., 2023).

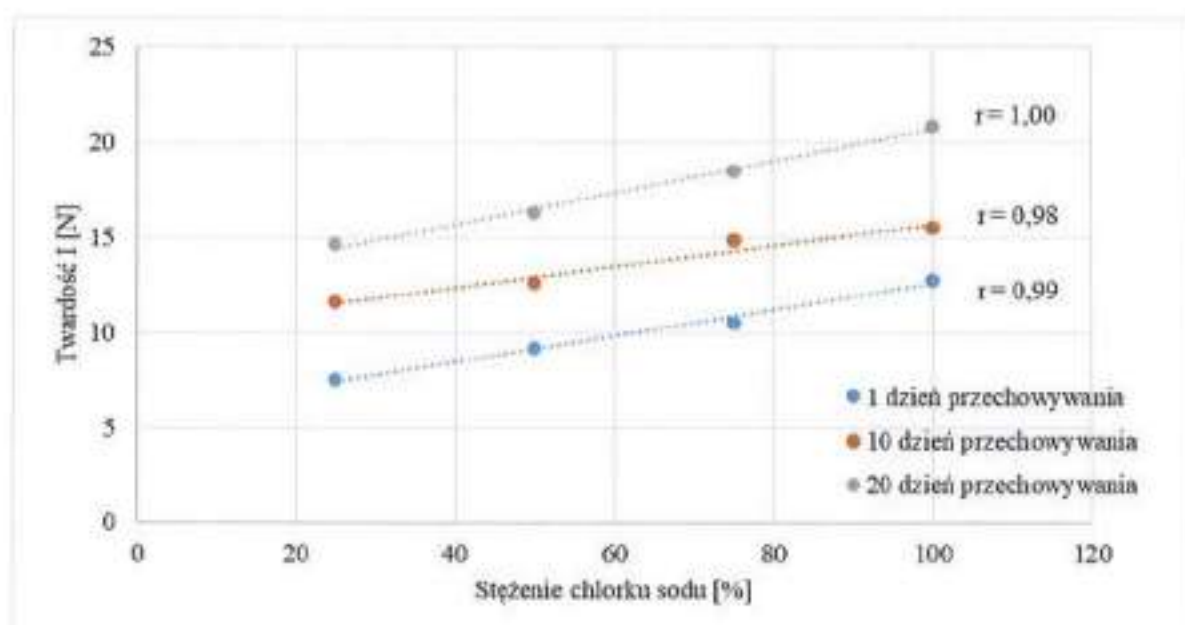
Zależność pomiędzy twardością I a stężeniem soli potwierdził również wykres korelacji (Rys. 38). Obliczone wartości współczynnika korelacji Pearsona (r) wskazują na bardzo silny związek pomiędzy analizowanymi zmiennymi ($r = 0,99$ dla 1 dnia, $0,98$ dla 10 dnia oraz $1,00$ dla 20 dnia przechowywania). Otrzymane wyniki jednoznacznie potwierdzają istotny wpływ zawartości soli na strukturę i teksturę produktów, niezależnie od czasu przechowywania. Efekt ten można tłumaczyć intensyfikacją solubilizacji białek miofibrylarnych i tworzeniem bardziej zwartej struktury żelowej w obecności NaCl, nawet przy jednoczesnym zastosowaniu mieszaniny skrobi ziemniaczanej i gumy tara.

Tekstura wyrobu istotnie wpływa na percepcję smaku i aromatu, a jej pogorszenie może prowadzić do obniżenia akceptowalności sensorycznej (Vidal, Paglarini, Lorenzo, Munekata, Pollonio, 2021; Żochowska-Kujawska, 2016). W celu ograniczenia negatywnych skutków redukcji soli stosuje się różne dodatki teksturotwórcze, których skuteczność zależy od rodzaju, stężenia oraz charakterystyki produktu (Fellendorf, O'Sullivan, Kerry, 2016). Przykładowo, w angielskim black pudding dodatek karagenu powodował wzrost twardości, podczas gdy karboksymetyloceluloza obniżała ten parametr (Fellendorf i in., 2016). W przypadku surimi z tilapii obniżenie udziału soli prowadziło do wzrostu twardości, który nasilał się po zastosowaniu gumy konjac (do poziomu $0,1\%$), natomiast dalsze zwiększanie dodatku skutkowało jej ponownym spadkiem (Shi i in., 2024). Odwrotna zależność została opisana w innych badaniach, gdzie redukcja soli zmniejszała twardość, lecz dodatek karagenu w ilości $0,1\text{--}0,16\%$ przywracał ją do poziomu próby kontrolnej, a jego dalsze zwiększanie ponownie obniżało twardość (Lan i in., 2023). Zjawiska te wskazują na konieczność indywidualnego podejścia do projektowania i reformulacji produktów o obniżonej zawartości soli, z uwzględnieniem rodzaju surowca, typu zastosowanego dodatku teksturotwórczego oraz zakresu redukcji NaCl i/lub tłuszczu.

Tabela 31. Parametry tekstury przetworów modelowych z obniżoną zawartością chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany							
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75		nSzi-GT_100	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
	Parametr							
	Twardość I [N]							
1. dzień	7,54 ^{aA}	0,398	9,17 ^{bA}	0,555	10,54 ^{cA}	0,415	12,76 ^{dA}	0,611
10. dzień	11,63 ^{aB}	1,352	12,60 ^{aB}	0,991	14,83 ^{bB}	1,232	15,50 ^{bB}	1,962
20. dzień	14,64 ^{aC}	1,468	16,28 ^{bC}	0,898	18,47 ^{cC}	1,095	20,84 ^{dC}	1,903
	Twardość II [N]							
1. dzień	5,61 ^{aA}	0,326	6,75 ^{bA}	0,476	7,68 ^{cA}	0,451	9,17 ^{dA}	0,522
10. dzień	8,65 ^{aB}	0,958	9,34 ^{aB}	0,770	10,81 ^{bB}	1,112	11,37 ^{bB}	1,595
20. dzień	10,56 ^{aC}	1,018	12,08 ^{bC}	0,835	13,22 ^{bC}	1,042	15,30 ^{cC}	1,670
	Sprężystość							
1. dzień	0,39 ^{aA}	0,038	0,44 ^{bA}	0,032	0,57 ^{cB}	0,087	0,66 ^{dB}	0,043
10. dzień	0,41 ^{aA}	0,029	0,48 ^{bA}	0,044	0,54 ^{cB}	0,064	0,67 ^{dB}	0,042
20. dzień	0,38 ^{aA}	0,048	0,48 ^{bA}	0,050	0,45 ^{bA}	0,043	0,54 ^{cA}	0,061
	Gumiastość							
1. dzień	1,38 ^{aA}	0,079	1,71 ^{bA}	0,084	2,17 ^{cA}	0,207	2,81 ^{dA}	0,295
10. dzień	2,22 ^{aB}	0,204	2,46 ^{bB}	0,262	2,94 ^{cB}	0,320	3,50 ^{dB}	0,620
20. dzień	2,66 ^{aC}	0,338	3,43 ^{bC}	0,333	3,50 ^{bC}	0,403	4,37 ^{cC}	0,388
	Żujność							
1. dzień	0,54 ^{aA}	0,071	0,76 ^{bA}	0,075	1,24 ^{cA}	0,275	1,87 ^{dA}	0,295
10. dzień	0,92 ^{aB}	0,081	1,19 ^{bB}	0,222	1,61 ^{cB}	0,290	2,34 ^{dB}	0,525
20. dzień	1,01 ^{aB}	0,216	1,64 ^{bC}	0,296	1,57 ^{bB}	0,330	2,38 ^{cB}	0,387
	Kohezja							
1. dzień	0,18 ^{aA}	0,013	0,19 ^{aA}	0,011	0,21 ^{bA}	0,020	0,22 ^{bA}	0,016
10. dzień	0,19 ^{aA}	0,012	0,20 ^{aA}	0,012	0,21 ^{abA}	0,014	0,22 ^{bA}	0,017
20. dzień	0,18 ^{aA}	0,014	0,19 ^{aA}	0,010	0,20 ^{abA}	0,015	0,21 ^{bA}	0,017

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi-GT_25 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 25% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_50 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 50% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_75 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 75% dodatkiem chlorku sodu; nSzi-GT_100 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 100% dodatkiem chlorku sodu; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).



Rysunek 38. Korelacja ubytków masy podczas przechowywania z zawartością chlorku sodu w przetworach po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

4.3.4. Ocena organoleptyczna

Redukcja stężenia chlorku sodu wpłynęła na wartość ocen przyznanych przez panel podczas analizy organoleptycznej (Tab. 32). W 1. oraz 10. dniu przechowywania nie zaobserwowano statystycznie istotnych różnic w kruchości między próbami o różnym poziomie dodatku soli. Natomiast w 20. dniu przechowywania próba nSzi-GT_25 została oceniona istotnie najniżej. Panel sensoryczny określił ją jako najbardziej smarowną i najmniej kruchą. Wraz ze wzrostem zawartości chlorku sodu odnotowano tendencję wzrostową w kierunku struktury bardziej kruchej. Pomimo tej zależności, próby nSzi-GT_50, nSzi-GT_75 oraz nSzi-GT_100 nie różniły się między sobą w sposób istotny statystycznie. Czas przechowywania nie wpłynął istotnie na ocenianą kruchość.

Obniżenie stężenia soli skutkowało zmniejszeniem twardości przetworów (Tab. 32). W 1. i 20. dniu badania próba kontrolna odznaczała się statystycznie istotnie wyższą twardością względem pozostałych wariantów. W 10. dniu różnica ta nie była istotna statystycznie w odniesieniu do próby nSzi-GT_75. We wszystkich dniach oceny próby nSzi-GT_50 oraz nSzi-GT_75 wykazywały zbliżone wartości mediany, mieszczące się w przedziale 4,65-6,50, natomiast wariant nSzi-GT_25 został oceniony jednoznacznie najniżej (mediana 8,20-8,55). Czas przechowywania nie miał istotnego wpływu na ocenę twardości.

W odniesieniu do soczystości, najniższe noty we wszystkich dniach przechowywania uzyskiwała próba nSzi-GT_25 (mediana 3,15-4,60) (Tab. 32). Dla pozostałych prób nie

zaobserwowano statystycznie istotnych różnic. Jedynie w przypadku wariantu nSzi-GT_50 czas przechowywania istotnie wpłynął na ocenę soczystości - najwyższą wartość uzyskała próba z 1. dnia (7,10), a najniższą z 10. dnia (4,10).

Stopień związania plastra był istotnie zależny od zawartości chlorku sodu (Tab. 32). Wraz ze zmniejszaniem dodatku soli przetwory były oceniane jako bardziej rozpadające się. Już w 1. dniu przechowywania żadna z prób o zmniejszonej zawartości soli nie osiągnęła wartości porównywalnych z próbą kontrolną. Po 10 dniach wariant nSzi-GT_75 nie różnił się istotnie od próby nSzi-GT_100, natomiast w 20. dniu brak istotnych różnic odnotowano między próbami nSzi-GT_50, nSzi-GT_75 oraz nSzi-GT_100. Czas przechowywania nie miał statystycznie istotnego wpływu na ocenę związania plastra w żadnym z analizowanych wariantów.

Redukcja zawartości soli miała istotny wpływ na pożądalność smaku (Tab. 32). W 1. i 10. dniu nie stwierdzono istotnych różnic między próbami nSzi-GT_50, nSzi-GT_75 i nSzi-GT_100. W 20. dniu brak istotnych różnic odnotowano między próbami nSzi-GT_75 i nSzi-GT_100. Najniższe noty w każdym dniu oceny uzyskiwała próba nSzi-GT_25. Czas przechowywania istotnie obniżał pożądalność smaku w próbach nSzi-GT_25 i nSzi-GT_50. W pierwszej z nich odnotowano spadek wartości mediany z 5,40 do 3,10, natomiast w drugiej z 7,40 do 5,15 w okresie 20 dni badania. W przypadku prób nSzi-GT_75 i nSzi-GT_100 czas przechowywania nie spowodował statystycznie istotnych zmian ocen pożądalności smaku.

Oceny pożądalności słoności również uległy zmianie w wyniku zmniejszenia zawartości chlorku sodu (Tab. 32). W 1. i 20. dniu przechowywania nie odnotowano istotnych różnic między wariantami nSzi-GT_50, nSzi-GT_75 i nSzi-GT_100. W 10. dniu najwyższe noty uzyskiwały próby nSzi-GT_50 i nSzi-GT_75, podczas gdy próba kontrolna została oceniona jako zbyt słona. Próba nSzi-GT_25 była w każdym przypadku oceniana jako zbyt mało słona. Czas przechowywania istotnie obniżył pożądalność słoności w próbach nSzi-GT_25 (z 4,00 do 2,25) oraz nSzi-GT_50 (z 7,50 do 4,50).

Obniżenie zawartości NaCl wpłynęło także na pożądalność zapachu (Tab. 32). Statystycznie istotne obniżenie tej cechy zaobserwowano w próbach o niższej zawartości soli. W 1. i 20. dniu przechowywania nie odnotowano jednak istotnych różnic między próbami nSzi-GT_50, nSzi-GT_75 i nSzi-GT_100. Jedynie w próbie nSzi-GT_25 odnotowano istotny spadek pożądalności zapachu w trakcie przechowywania z 5,70 do 3,55. W pozostałych próbach zauważono tendencję spadkową, jednak nie była ona statystycznie istotna.

Pożądalność barwy obniżała się wraz ze zmniejszaniem stężenia soli (Tab. 32). W 10. dniu przechowywania różnice między próbami nie były statystycznie istotne. Natomiast

w 1. i 20. dniu redukcja stężenia soli już do poziomu 75% (względem próby kontrolnej) prowadziła do istotnie niższych ocen. Przykładowo, mediany dla próby nSzi-GT_75 wyniosły odpowiednio 7,30 i 6,40, podczas gdy dla próby kontrolnej - 8,10 i 7,85. Najniższe noty we wszystkich dniach uzyskiwała próba nSzi-GT_25. Czas przechowywania nie miał istotnego wpływu na ocenę tej cechy.

Pożądalność wyglądu na przekroju również obniżała się wraz z redukcją zawartości soli, choć w mniejszym stopniu (Tab. 32). W 1. dniu przechowywania jedynie próba nSzi-GT_25 uzyskała statystycznie istotnie niższą oceną w porównaniu z próbą kontrolną. W 10. dniu różnice między próbami nie były istotne, natomiast w 20. dniu najniższą notę odnotowano dla próby nSzi-GT_50. Czas przechowywania spowodował zauważalne pogorszenie ocen w próbach nSzi-GT_50 (z 6,80 do 6,00) oraz nSzi-GT_75 (z 7,70 do 6,15), jednak zmiany te nie były statystycznie istotne w całym toku badania. Pozostałe próby nie wykazały istotnych różnic w trakcie przechowywania.

Redukcja zawartości soli w przetworach mięsnych stanowi jedno z głównych wyzwań z punktu widzenia jakości sensorycznej. Liczne doniesienia wskazują, że ograniczenie udziału NaCl jest możliwe bez istotnej utraty cech smakowo-zapachowych, jednak najbardziej podatne na negatywne zmiany pozostają właściwości teksturalne, takie jak kruchość, twardość czy soczystość (Kim, Yong, Jung, Kim, Choi, 2021; Pietrasik, Gaudette, 2014; Aaslyng, Vestergaard, Koch, 2014; Delgado-Pando i in., 2018). Wyniki uzyskane w niniejszej analizie są zgodne z doniesieniami literaturowymi i dodatkowo korespondują z wynikami analiz instrumentalnych. Szczególnie wyraźne było istotne obniżenie twardości przetworów o niższej zawartości soli. Warto podkreślić, że choć analiza instrumentalna wykazała istotne różnice między próbami nSzi-GT_50 i nSzi-GT_75 (Tab. 30), panel sensoryczny nie potwierdził ich istotności (Tab. 32). Może to sugerować, że zmiany rejestrowane metodami instrumentalnymi nie zawsze są odczuwalne przez konsumentów. Ponadto, mimo powszechnie opisywanego negatywnego wpływu redukcji soli na soczystość (Kim i in., 2021), zastosowanie mieszaniny skrobi ziemniaczanej natywnej i gumy tara umożliwiło utrzymanie akceptowalnego poziomu tej cechy nawet w wariancie nSzi-GT_25, a więc zawierającym najmniejszy udział NaCl.

Tabela 32. Cechy sensoryczne przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania

Czas przechowywania	Materiał badany									
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75		nSzi-GT_100			
	Me	min	max	Me	min	max	Me	min	max	Me
Cecha										
Kruchość										
1. dzień	6,60 ^{aA}	1,40	9,30	5,50 ^{aA}	3,80	8,50	6,10 ^{aA}	3,80	9,60	5,50 ^{aA}
10. dzień	4,05 ^{aA}	2,00	6,20	5,55 ^{aA}	4,60	6,50	7,00 ^{aA}	4,80	7,80	5,05 ^{aA}
20. dzień	3,55 ^{aA}	1,70	7,60	4,45 ^{aA}	2,50	6,20	6,20 ^{bA}	3,00	8,20	6,50 ^{aA}
Twardość										
1. dzień	8,30 ^{cA}	6,00	10,00	5,80 ^{bA}	3,50	7,40	5,20 ^{bA}	3,00	8,40	3,00 ^{aA}
10. dzień	8,20 ^{cA}	5,80	10,00	6,50 ^{bA}	5,40	7,60	4,65 ^{aA}	3,70	6,80	4,20 ^{aA}
20. dzień	8,55 ^{cA}	6,80	9,00	6,15 ^{bA}	4,30	9,40	4,65 ^{bA}	2,90	8,80	2,95 ^{aA}
Soczystość										
1. dzień	4,60 ^{aA}	2,00	9,30	7,10 ^{aB}	5,20	8,20	6,90 ^{aA}	5,60	9,10	6,80 ^{aA}
10. dzień	4,40 ^{aA}	3,50	5,90	4,10 ^{aB}	4,00	8,90	7,55 ^{aA}	4,00	10,00	7,65 ^{aA}
20. dzień	3,15 ^{aA}	1,50	7,20	5,65 ^{aA}	2,70	7,10	6,25 ^{aA}	4,50	8,90	7,20 ^{bA}
Związanie plastra										
1. dzień	4,30 ^{aA}	3,00	8,10	6,85 ^{bA}	3,60	9,70	7,40 ^{bA}	4,00	9,10	8,40 ^{cA}
10. dzień	6,85 ^{aA}	4,60	8,50	5,25 ^{aA}	4,40	8,60	7,55 ^{bA}	6,80	10,00	9,25 ^{bA}
20. dzień	3,45 ^{aA}	1,90	8,80	5,55 ^{aA}	2,30	8,70	6,40 ^{aA}	3,10	10,00	8,25 ^{bA}
Pożądalność smaku										
1. dzień	5,40 ^{aB}	1,00	8,30	7,40 ^{bB}	5,30	9,00	7,40 ^{bA}	5,50	9,40	8,00 ^{bA}
10. dzień	5,95 ^{aAB}	4,50	7,40	6,10 ^{aAB}	4,20	8,00	8,45 ^{bA}	5,30	9,90	7,85 ^{bA}
20. dzień	3,10 ^{aA}	1,00	5,60	5,15 ^{bA}	1,00	6,70	6,55 ^{cA}	1,00	9,00	7,45 ^{cA}
Pożądalność słoności										
1. dzień	4,00 ^{aB}	1,00	7,60	7,50 ^{bB}	5,00	8,30	7,00 ^{bA}	2,20	9,50	6,90 ^{aA}
10. dzień	4,20 ^{aAB}	2,70	8,10	6,30 ^{bAB}	5,00	7,60	7,10 ^{bA}	3,80	10,00	3,90 ^{aA}
20. dzień	2,25 ^{aA}	1,00	4,00	4,50 ^{bA}	1,00	6,80	6,55 ^{cA}	3,70	9,20	6,30 ^{bA}

cd. tabeli 32

Czas przechowywania	Materiał badany									
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_25		nSzi-GT_25		nSzi-GT_25		nSzi-GT_25	
	Me	min	max	Me	min	max	Me	min	max	Me
Cecha										
Pożądalność zapachu										
1. dzień	5,70 ^{ab}	1,00	7,50	7,00 ^{abA}	1,00	9,00	6,90 ^{ba}	1,70	8,60	7,80 ^{ba}
10. dzień	7,50 ^{aAB}	5,40	9,40	7,70 ^{aA}	3,40	8,00	8,25 ^{aA}	4,10	9,50	7,10 ^{aA}
20. dzień	3,55 ^{aA}	1,00	6,10	5,10 ^{ba}	1,00	6,60	5,90 ^{ba}	1,00	7,60	5,90 ^{ba}
Pożądalność barwy										
1. dzień	5,80 ^{aA}	4,70	7,80	6,55 ^{abA}	4,90	8,00	7,30 ^{ba}	4,70	8,20	8,10 ^{eA}
10. dzień	6,40 ^{aA}	5,50	7,30	6,95 ^{aA}	6,00	8,20	7,30 ^{aA}	6,90	8,50	7,05 ^{aA}
20. dzień	4,80 ^{aA}	1,30	7,90	5,60 ^{ba}	4,80	7,80	6,40 ^{ba}	5,10	8,60	7,85 ^{eA}
Pożądalność wyglądu na przekroju										
1. dzień	5,80 ^{aA}	4,90	8,40	6,80 ^{bb}	5,20	9,00	7,70 ^{bb}	5,00	8,80	8,30 ^{ba}
10. dzień	6,55 ^{aA}	3,60	7,90	5,10 ^{aAB}	3,10	7,50	7,35 ^{aAB}	6,70	8,00	7,35 ^{aA}
20. dzień	5,55 ^{abA}	3,40	7,20	6,00 ^{aA}	5,10	7,20	6,15 ^{abA}	5,10	8,50	7,80 ^{ba}

Me – mediana; min – minimum; max – maksimum; nSzi-GT_25 – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 25% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_50 – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 50% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_75 – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 75% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_100 – skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara oraz 100% dodatkami chlorku sodu; a, b, c... – wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... – wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

5. Podsumowanie wyników badań

Obecny stan wiedzy w zakresie żywienia człowieka jednoznacznie wskazuje na konieczność reformulacji receptur wielu produktów spożywczych, w tym przetworów mięsnych, w kontekście ograniczenia zawartości chlorku sodu. Uzyskane w niniejszej pracy wyniki potwierdziły postawione hipotezy. Proponowane mieszaniny skrobi ziemniaczanej natywnej z roślinnymi hydrokoloidami nie modyfikują procesu kleikowania oraz w zależności od wariantu i temperatury kleikowania zmniejszają stopień synerezy podczas przechowywania kłieków z 4,80% (w stosunku do kleiku tylko ze skrobi) do nawet 1,82% oraz zmniejszają wielkość tiksotropii (hipoteza 1). Proponowane mieszaniny skrobi ziemniaczanej natywnej z hydrokoloidami roślinnymi wykazują znaczny potencjał aplikacyjny w przetwórstwie mięsnym jako dodatki funkcjonalne. Ich zastosowanie, w zależności od wariantu, przyczyniło się do ograniczenia wycieku cieplnego (z 4,31% do 3,15%) oraz przechowalniczego po 20 dniach przechowywania chłodniczego (z 2,58% do 1,77%). Zaobserwowano także zmniejszenie zawartości wody wolnej (z 17,26% do 0,80%) oraz obniżenie parametrów tekstury, zwłaszcza twardości, przy jednoczesnym zachowaniu jakości sensorycznej produktów (hipoteza 2 i 3). Dodatkowo, badane układy mogą znaleźć zastosowanie w przetworach mięsnych o obniżonej zawartości chlorku sodu, poprawiając właściwości technologiczne produktów po reformulacji. Zastosowanie mieszaniny z dodatkiem gumy tara pozwoliło na zmniejszenie dodatku chlorku sodu do poziomu 1,71% nie powodując istotnego zwiększenia wycieku cieplnego. W przypadku 20-dniowego przechowywania nawet dla prób, dla których zawartości chlorku sodu wynosiła 0,57% wielkość wycieku przechowalniczego nie była istotnie różna. Zmniejszeniu stężenia chlorku sodu towarzyszyła modyfikacja cech tekstury - szczególnie zmniejszenie twardości, co w przypadku produktów o również obniżonej zawartości tłuszczu może być zjawiskiem korzystnym. Jednocześnie ograniczenie dodatku chlorku sodu, niezależnie od stopnia reformulacji powoduje wzrost zawartości wody wolnej z 0,73% do nawet 2,77% podczas 20-dniowego przechowywania. Przy czym zmiany w obrębie zdolności do utrzymania wody przez produkt nie powodują pogorszenia soczystości wyrobów ocenianych organoleptycznie. W tym zakresie uzyskane wyniki potwierdzają, że dodatek mieszaniny skrobi i gumy tara pozwala na zmniejszenie dodatku chlorku sodu do poziomu 1,71% oraz 1,14% bez pogorszenia cech produktu (hipoteza 4). W związku z tym mieszanina nSzi-GT ma potencjał do zastosowania w przetworach mięsnych o obniżonej zawartości chlorku sodu, zgodnie z aktualnymi zaleceniami żywieniowymi. Należy jednak pamiętać, że redukcja soli może negatywnie wpływać na jakość przetworów, dlatego dalsze działania

w zakresie reformulacji wymagają zastosowania złożonych strategii technologicznych. Do takich strategii należą m.in.: wykorzystanie mieszanin różnych dodatków funkcjonalnych, technik wspomagających dyfuzję soli do wnętrza tkanek oraz intensyfikujących odczuwanie słoności.

Wspomagające znaczenie mają także programy edukacyjne i wytyczne rządowe, skierowane zarówno do konsumentów, jak i producentów żywności. Ich celem powinno być dostarczanie konkretnych rozwiązań, takich jak materiały edukacyjne, zalecenia dietetyczne, systemy znakowania produktów czy wytyczne technologiczne dla przemysłu spożywczego, które umożliwią stopniową redukcję zawartości soli. Kluczowe znaczenie ma także edukacja społeczeństwa w zakresie wpływu nadmiernego spożycia sodu na zdrowie oraz opracowywanie receptur spełniających oczekiwania sensoryczne konsumentów przy obniżonej zawartości soli. Istotne jest również wdrażanie strategii komunikacyjnych wspierających zrozumienie korzyści wynikających z wyboru produktów o ograniczonej zawartości soli, co w dłuższej perspektywie może przyczynić się do zmniejszenia ryzyka chorób dietozależnych. Takie kompleksowe podejście umożliwi stopniową adaptację rynku oraz nawyków konsumentów do produktów o zmodyfikowanym składzie, stanowiąc istotny krok w kierunku poprawy jakości diety populacji.

6. Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Zastosowanie gumy guar, gumy tara oraz gumy konjac poprawia właściwości funkcjonalne kleików ze skrobi ziemniaczanej natywnej, w szczególności poprzez ograniczenie synerezy podczas 20-dniowego przechowywania. Największa poprawa dotyczy mieszaniny z gumą tara uzyskanej w temperaturze 90°C, dla której stopień synerezy jest o 2,98% mniejszy w porównaniu z próbą kontrolną.
2. Spośród analizowanych mieszanin skrobi ziemniaczanej natywnej z hydrokoloidami roślinnymi, mieszanina z dodatkiem gumy tara wykazuje najlepsze właściwości funkcjonalne w aplikacji do przetworów mięsnych. Dotyczy to szczególnie zmniejszenia zawartości wody wolnej oraz wycieku przechowalniczego podczas 20 dni przechowywania.
3. Zastosowanie mieszaniny skrobi ziemniaczanej natywnej z gumą tara umożliwia redukcję stężenia chlorku sodu do poziomu 1,71% i 1,14%, bez istotnego pogorszenia cech jakościowych produktów - zarówno w ocenie fizykochemicznej, instrumentalnej, jak i organoleptycznej.
4. Cechy jakościowe przetworów mięsnych o obniżonej zawartości soli pozostają stabilne przez 20 dni przechowywania w warunkach chłodniczych, w opakowaniu próżniowym.
5. Redukcja zawartości soli w przetworach mięsnych z wykorzystaniem mieszaniny skrobi i gumy tara może przyczynić się do zmniejszenia ryzyka chorób dietozależnych, związanych z nadmiernym spożyciem sodu, bez negatywnego wpływu na jakość gotowego wyrobu.

7. Bibliografia

1. Aaslyng, M. D., Vestergaard, C., Koch, A. G. (2014). The effect of salt reduction on sensory quality and microbial growth in hotdog sausages, bacon, ham and salami. *Meat Science*, 96(1), 47-55. DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.06.004.
2. Abdel-Aal, E.-S. M., Rabalski, I., Hernandez, M., L'Hocine, L., Patterson, C. A., Hucl, P. (2019): Effect of sodium chloride, sucrose, and xanthan gum on pasting properties and gel syneresis of hairless canary seed starch. *Cereal Chemistry*, 96(5), 908-919. DOI: 10.1002/cche.10194.
3. Adrogué, H. J., Madias, N. E. (2014). The Impact of Sodium and Potassium on Hypertension Risk. *Seminars in Nephrology*, 34(3), 257-272. DOI: 10.1016/j.semnephrol.2014.04.003.
4. Afsar, B., Afsar, R. E., Mowaffaq, S., Maddukuri, G., Lentine, K. L. (2025). The relationship between excess sodium intake and metabolic syndrome: Worth consideration?. *European Journal of Clinical Investigation*, e70036. DOI: 10.1111/eci.70036.
5. Ai, Y., Jane, J.-I. (2015). Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch/Stärke*, 67(3-4), 213-224. DOI: 10.1002/star.201400201.
6. Alam, F., Nawab, A., Lutfi, Z., Haider, S. Z. (2020). Effect of Non-Starch Polysaccharides on the Pasting, Gel, and Gelation Properties of Taro (*Colocasia esculenta*) Starch. *Starch/Stärke*, 73,(1-2), 2000063. DOI: 10.1002/star.202000063.
7. Alcázar-Alay, S. C., Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology (Campinas)*, 35(2), 215-236. DOI: 10.1590/1678-457X.6749.
8. Aprilia, G. H. S., Kim, H. S. (2022). Development of strategies to manufacture low-salt meat products – a review. *Journal of Animal Science and Technology*, 64(2), 218-234. DOI: 10.5187/jast.2022.e16.
9. Apriyanto, A., Compart, J., Fettke, J. (2022). A review of starch, a unique biopolymer – Structure, metabolism and *in planta* modifications. *Plant Science*, 318, 111223. DOI: 10.1016/j.plantsci.2022.111223.
10. Araya-Quesada, Y., Araya-Morice, A., Araya-Vargas, S., Redondo-Solano, M., Madrigal-Arias, E., Cubero-Castillo, E. (2020). Reduction of sodium additives in cooked sausages: effect on physicochemical, sensory and microbiological characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 3051-3059. DOI: 10.1007/s13197-020-04338-0.

11. Arns, B., Bartz, J., Radunz, M., Evangelho, J. A., Pinto, V. Z., Zavareze, E. R., Dias, A. R. G. (2015). Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. *LWT – Food Science and Technology*, 60(2), 708-713. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.10.059.
12. Ashakayeva, R., Assenova, B., Tumenova, G., Nurgazezova, A., Zhumanova, G., Atambayeva, Z., Baikadamova, A., Il, D., Dautova, A. (2022). A Pumpkin-Based Emulsion Gel as a Texture Improvement of Mixed Horsemeat Semi-Smoked Sausages. *Foods*, 11(23), 3886. DOI: 10.3390/foods11233886.
13. Ashwar, B. A., Gani, A., Shah, A., Wani, I. A., Masoodi, F. A. (2016). Preparation, health benefits and applications of resistant starch – a review. *Starch/Stärke*, 68(3-4), 287-301. DOI: 10.1002/star.201500064.
14. Ayub, H., Ahmad, A. (2019). Physicochemical changes in sous-vide and conventionally cooked meat. *International Journal of Gastronomy and Food Sciences*, 17, 100145. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2019.100145.
15. Babic, J., Šubarić, D., Ackar, D., Jozinović, A., Miličević, B., Pajin, B., Aličić, D. (2013). Application of starch based additives in meat industry. *MESO*, 3(15), 224-228.
16. Babu, A. S., Parimalavalli, R., Jagannadham, K., Rao, J. S. (2015). Chemical and structural properties of sweet potato starch treated with organic and inorganic acid. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5745-5753. DOI: 10.1007/s13197-014-1650-x.
17. Bao, H., Wang, Y., Huang, Y., Zhang, Y., Dai, H. (2025). The Beneficial Role of Polysaccharide Hydrocolloids in Meat Products: A Review. *Gels*, 11(1), 55. DOI: 10.3390/gels11010055.
18. Baozhong, G., Yiting, W., Min, P., Jianyong, W., Xiuting, H., Zhaohua, H., Haoqiang, W., Shunqian, X., Shunjing, L., Chengmei, L. (2020). Annealing treatment of amylose and amylopectin extracted from rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 3496-3500. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.08.245.
19. Behera, S. S., Ray, R. C. (2016). Nutritional and potential health benefits of konjac glucomannan, a promising polysaccharide of elephant foot yam, *Amorphophallus konjac* K. Koch: A review. *Food Reviews International*, 33(1), 22-43. DOI: 10.1080/87559129.2015.1137310.
20. Berardo, A., Devreese, B., de Maere, H., Stavropoulou, D. A., van Royen, G., Leroy, F., de Smet, S. (2017). Actin proteolysis during ripening of dry fermented sausages at different pH values. *Food Chemistry*, 221, 1322-1332. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.11.023.

21. Bernhardt, A., Krause, A., Reichardt, C., Steffen, H., Isermann, B., Völker, U., Hammer, E., Geffers, R., Philipsen, L., Dhjamandi, K., Ahmad, S., Brandt, S., Lindquist, J. A., Mertens, P. R. (2023). Excessive sodium chloride ingestion promotes inflammation and kidney fibrosis in aging mice. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 325(2), 456-470. DOI: 10.1152/ajpcell.00230.2023.
22. Bertoft, E. (2017). Understanding Starch Structure: Recent Progress. *Agronomy*, 7(3), 56-85. DOI: 10.3390/agronomy7030056.
23. Bhat, S., Marklund, M., Henry, M. E., Appel, L. J., Croft, K. D., Neal, B., Wu, J. H. Y. (2020). A Systematic Review of the Sources of Dietary Salt Around the World. *Advances in Nutrition*, 11(3), 677-686. DOI: 10.1093/advances/nmz134.
24. Bier, A., Braun, T., Khasbab, R., Segni, A. D., Grossman, E., Haberman, Y., Leibowitz, A. (2018). A High Salt Diet Modulates the Gut Microbiota and Short Chain Fatty Acids Production in a Salt-Sensitive Hypertension Rat Model. *Nutrients*, 10(9), 1154. DOI: 10.3390/nu10091154.
25. Borrelli, S., Provenzano, M., Gagliardi, I., Michael, A., Liberti, M. E., Nicola, L. D., Conte, G., Garofalo, C., Andreucci, M. (2020). Sodium Intake and Chronic Kidney Disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(13), 4744. DOI: 10.3390/ijms21134744.
26. Brewer, M. S. (2012). Reducing the fat content in ground beef without sacrificing quality: A review. *Meat Science*, 91(4), 385-395. DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.02.024.
27. Cai, X., Hong, Y., Gu, Z., Zhang, Y. (2011). The effect of electrostatic interactions on pasting properties of potato starch/xanthan gum combinations. *Food Research International*, 44(9), 3079-3086. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.07.036.
28. Cegiełka, A., Słowiński, M., Piłkowska, K. (2006). THE EFFECT OF AN ADDITION OF SELECTED HYDROCOLLOIDS ON THE TEXTURAL PARAMETRES AND SENSORY QUALITY OF CHICKEN MEAT HAM. *Acta Scientiarum Polonorum*, 5(2), 73-83.
29. Chandra, M. V., Shamasundar, B. A. (2015). Texture Profile Analysis and Functional Properties of Gelatin from the Skin of Three Species of Fresh Water Fish. *International Journal of Food Properties*, 18, 572-584. DOI: 10.1080/10942912.2013.845787.
30. Charoenrein, S., Tatirat, O., Rengsutthi, K., Thongngam, M. (2011). Effect of konjac glucomannan on syneresis, textural properties and the microstructure of frozen rice starch gels. *Carbohydrate Polymers*, 83, 291-296. DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.07.056.

31. Chatterjee, D., Brambila, G. S., Bowker, B. C., Zhuang, H. (2019). Effect of Tapioca Flour on Physicochemical Properties and Sensory Descriptive Profiles of Chicken Breast Meat Patties. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(3), 598-605. DOI: 10.3382/japr/pfy076.
32. Chen, H.-L., Sheu, W. H.-H., Tai, T.-S., Liaw, Y.-P., Chen, Y.-C. (2003). Konjac Supplement Alleviated Hypercholesterolemia and Hyperglycemia in Type 2 Diabetic Subjects—A Randomized Double-Blind Trial. *Journal of the American College of Nutrition*, 22(1), 36-42. DOI: 10.1080/07315724.2003.10719273.
33. Chen, J., Zhao, J., Li, X., Liu, Q., Kong, B. (2021). Composite Gel Fabricated with Konjac Glucomannan and Carrageenan Could Be Used as a Cube Fat Substitute to Partially Replace Pork Fat in Harbin Dry Sausages. *Foods*, 10(7), 1460. DOI: 10.3390/foods10071460.
34. Chen, Q., Coa, J., Se, W., Bai, W., Zeng, X., Dong, H. (2025). Salt reduction in cured meat products: a review on strategies and mechanisms. *Food Science and Human Wellness*, 14(3), 9250056. DOI: 10.26599/FSHW.2024.9250056.
35. Chen, Y., Xiong, X., Gao, Q. (2018). Digestibility and physicochemical properties of starch-galactomanan complexes by heat-moisture treatment. *Food Hydrocolloids*, 77, 853-862. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.11.029.
36. Choi, J. S., Chin, K. B. (2020). Evaluation of physicochemical and textural properties of chicken breast sausages containing various combinations of salt and sodium tripolyphosphate. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(4), 577-586. DOI: 10.5187/jast.2020.62.4.577.
37. Cierach, M., Stasiewicz, M. (2007). Selected quality attributes of processed meat products stored in modified atmosphere. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57(2), 41-45.
38. Colussi, R., Halal, S. L. M. E., Pinto, V. Z., Bartz, J., Gutkoski, L. C., Zavareze, E. R., Dias, A. R. G. (2015). Acetylation of rice starch in an aqueous medium for use in food. *LWT – Food Science and Technology*, 62(2), 1076-1082. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.01.053.
39. Colussi, R., Pinto, V. Z., El Halal, S. L. M., Vanier, N. L., Villanova, F. A., Silva, R. M., Zavareze, E. R., Dias, A. R. G. (2014). Structural, morphological, and physicochemical properties of acetylated high-, medium-, low-amylose rice starches. *Carbohydrate Polymers*, 103, 405-413. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.12.070.
40. Cruz-Romero, M. C., O'Flynn, C. C., Troy, D., Mullen, A. M., Kerry, J. P. (2022). The Use of Potassium Chloride and Tapioca Starch to Enhance the Flavour and Texture of

Phosphate- and Sodium-Reduced Low Fat Breakfast Sausages Manufactured Using High Pressure-Treated Meat. *Foods*, 11(1), 17. DOI: 10.3390/foods11010017.

41. da Silva Costa, R. A., Bonomo, R. C. F., Rodrigues, L. B., Santos, L. S., Velos, C. M. (2020). Improvement of texture properties and syneresis of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch gels by using hydrocolloids (guar gum and xanthan gum). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(7), 3204-3211. DOI: 10.1002/jsfa.10356.
42. Delgado-Pando, G., Fischer, E., Allen, P., Kerry, J. P., O'Sullivan, M. G., Hamill, R. M. (2018). Salt content and minimum acceptable levels in whole-muscle cured meat products. *Meat Science*, 139, 179-186. DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.01.025.
43. Demirci, Z. O., Yilmaz, I., Demirci, A. Ş. (2014). Effects of xanthan, guar, carrageenan and locust bean gum addition on physical, chemical and sensory properties of meatballs. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 936-942. DOI: 10.1007/s13197-011-0588-5.
44. Desmond, E. (2006). Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science*, 74(1), 188-196. DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.04.014.
45. Devi, R., Rasane, P., Kaur, S., Singh, J. (2019). Meat and Meat losses: influence on meat quality. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 6(1), 762-786.
46. Dobosz, A., Sikora, M., Krystyjan, M., Lach, R., Borczak, B. (2020). Influence of xanthan gum on the short- and long-term retrogradation of potato starches of various amylose content. *Food Hydrocolloids*, 102, 105618. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105618.
47. Dolik, K., Kubiak, M. S. (2013). Instrumentalny test analizy profilu tekstury w badaniu jakości wybranych produktów spożywczych. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, 3(10), 35-44.
48. Dome, K., Podgorbunskikh, E., Bychkov, A., Lomovsky, O. (2020). Changes in the Crystallinity Degree of Starch Having Different Types of Crystal Structure after Mechanical Pretreatment. *Polymers*, 12(3), 641. DOI: 10.3390/polym12030641.
49. Dong, M., Chen, H., Zhang, Y., Xu, Y., Han, M., Xu, X., Zhou, G. (2020a). Processing Properties and Improvement of Pale, Soft, and Exudative-Like Chicken Meat: a Review. *Food and Bioprocess Technology*, 13, 1280-1291. DOI: 10.1007/s11947-020-02464-3.
50. Dong, Z., Liu, Y., Pan, H., Wang, H., Wang, X., Xu, X., Xiao, K., Liu, M., Xu, Z., Li, L., Zhang, Y. (2020b). The Effects of High-Salt Gastric Intake on the Composition of the Intestinal Microbiota in Wistar Rats. *Medical Science Monitor*, 26, e922160. DOI: 10.12659/MSM.922160.

51. Donmez, D., Pinho, L., Patel, B., Desam, P., Campanella, O. H. (2021). Characterization of starch–water interactions and their effects on two key functional properties: starch gelatinization and retrogradation. *Current Opinion in Food Science*, 39, 103-109. DOI: 10.1016/j.cofs.2020.12.018.
52. Duan, S., Tang, X., Zhan, J., Liu, S., Zhang, Y. (2023). The Establishment of Evaluation Models for the Cooking Suitability of Different Pork Muscles. *Foods*, 12(4), 742. DOI: 10.3390/foods12040742.
53. Dupuis, J. H., Liu, Q. (2019). Potato Starch: a Review of Physicochemical, Functional and Nutritional Properties. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 127-138. DOI: 10.1007/s12230-018-09696-2.
54. EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens. (2019).Turek, D., Castenmiller, J., de Henaauw, S., Hirsch-Ernst, K.-I., Kearney, J., Knutsen, H. K., Maciuk, A., Mangelsdorf, I.,McArdle, H. J., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F.,Tsabouri, S., Vinceti, M., Aggett, P., Fairweather-Tait, S., Martin,A., Przyrembel, H., Ciccolallo, L., de Sesmaisons-Lecarré, A., Martinez, S. V., Martino, L., Naska, A., Dietary reference values for sodium. *EFSA Journal*, 17(9), e05778. DOI: 10.2903/j.efsa.2019.5778.
55. Egharevba, H. O. (2019). Chemical Properties of Starch and Its Application in the Food Industry. W: Chemical Properties of Starch. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.87777.
56. Farouk, M. M., Mustafa, N. Md., Wu, G., Krsinic, G. (2012). The “sponge effect” hypothesis: An alternative explanation of the improvement in the waterholding capacity of meat with ageing. *Meat Science*, 90(3), 670-677. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.10.012.
57. Fatahi, S., Namazi, N., Larijani, B., Azadbakht, L. (2018). The Association of Dietary and Urinary Sodium With Bone Mineral Density and Risk of Osteoporosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American College of Nutrition*, 37(6), 522-532. DOI: 10.1080/07315724.2018.1431161.
58. Fellendorf, S., O’Sullivan, M. G., Kerry, J. P. (2016). Impact of ingredient replacers on the physicochemical properties and sensory quality of reduced salt and fat black puddings. *Meat Science*, 113, 17-25. DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.11.006.
59. Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Pérez-Alvarez, J. A., Aranda-Catalá, V. (2004). Effect of sodium chloride, sodium tripolyphosphate and pH on color properties of pork meat. *Color Research & Application*,29(1), 67-74. DOI: 10.1002/col.10215.
60. Fonseca, L. M., Gonçalves, J. R., Halal, S. L. M. E., Pinto, V. Z., Dias, A. R. G., Jacques, A. C., Zavareze, E. R. (2015). Oxidation of potato starch with different sodium

- hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films. *LWT- Food Science and Technology*, 60(2), 714-720. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.10.052.
61. Galkowska, D., Pycia, K., Juszczak, L., Pająk, P. (2014). Influence of cassia gum on rheological and textural properties of native potato and corn starch. *Starch/Stärke*, 66(11-12), 1060-1070. DOI: 10.1002/star.201400078.
 62. Gao, X., Pourramezan, H., Ramezan, Y., Roy, S., Zhang, W., Assadpour, E., Zou, J., Jafari, S. M. (2024). Application of gums as techno-functional hydrocolloids in meat processing and preservation: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 268(część 1), 131614. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.131614.
 63. Garcia-Santos, S., L., M., Conceição, F. S., Villas Boas, F., Salotti de Souza, B. M., da Silva Barretto, A. C. (2019). Effect of the addition of resistant starch in sausage with fat reduction on the physicochemical and sensory properties. *Food Science and Technology*, 39(2), 491-497. DOI: 10.1590/fst.18918.
 64. Ge, S., Feng, X., Shen, L., Wei, Z., Zhu, Q., Sun, J. (2012). Association between Habitual Dietary Salt Intake and Risk of Gastric Cancer: A Systematic Review of Observational Studies. *Gastroenterology Research and Practice*, 2012(1), 808120. DOI: 10.1155/2012/808120.
 65. Geigenberger, P. (2011). Regulation of Starch Biosynthesis in Response to a Fluctuating Environment. *Plant Physiology*, 155(4), 1566-1577. DOI: 10.1104/pp.110.170399.
 66. Geng, X., Zhao, Y., Zhao, N., Zhu, Q., Zhang, M. (2023). Quality characteristics and gastrointestinal fate of low fat emulsified sausage formulated with konjac glucomannan/oat β -glucan composite hydrogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 239, 124251. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124251.
 67. Ghimire, K., Mishra, S. R., Satheesh, G., Neupane, D., Sharma, A., Panda, R., Kallestrup, P., McLachlan, C. S. (2021). Salt intake and salt-reduction strategies in South Asia: From evidence to action. *The Journal of Clinical Hypertension*, 23(10), 1815-1829. DOI: 10.1111/jch.14365.
 68. Giuberti, G., Rocchetti, G., Lucini, L. (2020). Interactions between phenolic compounds, amylolytic enzymes and starch: an updated overview. *Current Opinion in Food Science*, 31, 102-113. DOI: 10.1016/j.cofs.2020.04.003.
 69. Główny Urząd Statystyczny. (2024). Rocznik Statystyczny Przemysłu. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych, data dostępu: 21.05.2025 r.
 70. Główny Urząd Statystyczny. (2024). Rocznik Statystyczny Rolnictwa. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych, data dostępu: 02.04.2025 r.

71. Grillo, A., Salvi, L., Coruzzi, P., Salvi, P., Parati, G. (2019). Sodium Intake and Hypertension. *Nutrients*, 11(9), 1970. DOI: 10.3390/nu11091970.
72. Grossi, A., Søltøft-Jensen, J., Knudsen, J. C., Christensen, M., Orlén, V. (2012). Reduction of salt in pork sausages by the addition of carrot fibre or potato starch and high pressure treatment. *Meat Science*, 92, 481-489. DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.05.015.
73. Guo, L., Yokoyama, W., Chen, M., Zhong, F. (2021). Konjac glucomannan molecular and rheological properties that delay gastric emptying and improve the regulation of appetite. *Food Hydrocolloids*, 120, 106894. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.106894.
74. Guo, X., Tao, S., Pan, J., Lin, X., Ji, C., Liang, H., Dong, X., Li, S. (2020). Effects of l-Lysine on the physiochemical properties and sensory characteristics of salt-reduced reconstructed ham. *Meat Science*, 166, 108133. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108133.
75. Guo, Z., Zeng, S., Lu, X., Zhou, M., Zheng, M., Zheng, B. (2015). Structural and physicochemical properties of lotus seed starch treated with ultra-high pressure. *Food Chemistry*, 186, 223-230. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.03.069.
76. Hamad, I., Cardilli, A., Córte-Real, B. F., Dyczko, A., Vangronsveld, J., Kleinewietfeld, M. (2022). High-Salt Diet Induces Depletion of Lactic Acid-Producing Bacteria in Murine Gut. *Nutrients*, 14(6), 1171. DOI: 10.3390/nu14061171.
77. Hamid, N. H., Navaranjan, N. (2023). Quality characteristics of low-fat chicken sausages formulated with whey protein isolate and guar gum at different storage conditions. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 3544-3555. DOI: 10.1080/10942912.2023.2292470.
78. Han, Z., Li, Y., Luo, D. H., Zhao, Q., Cheng, J. H., Wang, J. H. (2021). Structural variations of rice starch affected by constant power microwave treatment. *Food Chemistry*, 359, 129887. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129887.
79. He, D., Li, Y., Wu, Y. (2024). Effects of Konjac Gum on Physicochemical, Rheological, Textural Properties, and In Vitro Digestibility of Purple Potato Starch. *Starch/Stärke*, 76(9-10), 2300076. DOI: 10.1002/star.202300076.
80. He, F. J., MacGregor, G. A. (2018). Role of salt intake in prevention of cardiovascular disease: controversies and challenges. *Nature Reviews Cardiology*, 15, 371-377. DOI: 10.1038/s41569-018-0004-1.
81. Hedayati, S., Shahidi, F., Koocheki, A., Farahnaky, A., Majzoobi, M. (2016). Physical properties of pregelatinized and granular cold water swelling maize starches at different pH values. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 730-735. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.06.020.

82. Heo, H., Lee, Y. K., Chang, Y. H. (2017). Rheological, pasting, and structural properties of potato starch by cross-linking. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 2138-2150. DOI: 10.1080/10942912.2017.1368549.
83. Hoa, V.-B., Seol, K., Seo, H., Kang, S., Kim, Y., Seong, P., Moon, S., Kim, J., Cho, S. (2021). Investigation of Physicochemical and Sensory Quality Differences in Pork Belly and Shoulder Butt Cuts with Different Quality Grades. *Food Science of Animal Resources*, 41(2), 224-236. DOI: 10.5851/kosfa.2020.e91.
84. Hong, S., Choi, J. W., Park, J.-S., Lee, C. H. (2022). The association between dietary sodium intake and osteoporosis. *Scientific Reports*, 12, 14594. DOI: 10.1038/s41598-022-18830-4.
85. Huamaní-Meléndez, V. J., Mauro, M. A., Darros-Barbosa, R. (2021). Physicochemical and rheological properties of aqueous Tara gum solutions. *Food Hydrocolloids*, 111, 106195. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106195.
86. Huang, K., Su, Y.-B., Huang, H., Xie, N. (2025). Effect of Hydrocolloids on the Pasting and Retrogradation of Starch with Different Amylose/Amylopectin Ratios. *Food Biophysics*, 20(35). DOI: 10.1007/s11483-025-09927-0.
87. Huang, Q., Jin, W., Ye, S., Hu, Y., Wang, Y., Xu, W., Li, J., Li, B. (2016). Comparative studies of konjac flours extracted from *Amorphophallus guripingensis* and *Amorphophallus rivieri*: Based on chemical analysis and rheology. *Food Hydrocolloids*, 57, 209-216. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.01.017.
88. Huff-Lonergan, E., Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194-204. DOI: 10.1016/j.meatsci.2005.04.022.
89. Hughes, J. M., Oiseth, S. K., Purslow, P. P., Warner, R. D. (2014). A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Science*, 98(3), 520-532. DOI: 10.1016/j.meatsci.2014.05.022.
90. Hui, R., Qi-he, C., Ming-liang, F., Qiong, X., Guo-qing, H. (2009). Preparation and properties of octenyl succinic anhydride modified potato starch. *Food Chemistry*, 114(1), 81-86. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.09.019.
91. Humalda, J. K., Navis, G. (2024). Dietary sodium restriction a neglected therapeutic opportunity in chronic kidney disease. *Current Opinion in Nephrology and Hypertension*, 23(6), 533-540. DOI: 10.1097/MNH.0000000000000073.

92. Hussain, R., Singh, A., Vatankhah, H., Ramaswamy, H. S. (2017). Effect of locust bean gum on the structural and rheological properties of resistant corn starch. *Journal of Food Science and Technology*, 54(3), 650-658. DOI: 10.1007/s13197-017-2497-8.
93. Ilić, K., Obradović, N., Vujasinović-Stupar, N. (2013). The Relationship Among Hypertension, Antihypertensive Medications, and Osteoporosis: A Narrative Review. *Calcified Tissue International*, 92(3), 217-227. DOI: 10.1007/s00223-012-9671-9.
94. Inguglia, E. S., Zhang, Z., Tiwari, B. K., Kerry, J. P., Burgess, C. M. (2017). Salt reduction strategies in processed meat products – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 70-78. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.10.016.
95. Institute of Health Metrics and Evaluation. (2021). Global burden of disease 2021 diet high in sodium. Waszyngton: Institute for Health Metrics and Evaluation.
96. Jairath, G., Sharma, D. P., Dabur, R. S. Singh, P. K., Bishnoi, S. (2017). Standarization of corn starch as a fat replacer in buffalo calf meat sausages and its effect on the quality attributes. *Indian Journal of Animal Research*, 52(10), 1521-1525. DOI: 10.18805/ijar.B-3381.
97. Jian, W., Siu, K. C., Wu, J. Y. (2015). Effects of pH and temperature on colloidal properties and molecular characteristics of Konjac glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 134, 285-292. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.07.050.
98. Jiang, L., Wang, A., Yang, S., Fang, H., Wang, Q., Li, H., Liu, S., Liu, A. (2023). The Burden of Gastric Cancer Attributable to High Sodium Intake: A Longitudinal Study from 1990 to 2019 in China. *Nutrients*, 15(24), 5088. DOI: 10.3390/nu15245088.
99. Jiang, X., Wang, J., Ou, Y., Zheng, B. (2021): Effect of chlorogenic acid on the structural properties and digestibility of lotus seed starch during microwave gelatinization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 474-482. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2021.09.102.
100. Jiménez-Colmenero, F., Cofrades, S., Herrero, A. M., Fernández-Martin, F., Rodríguez-Salas, L., Ruiz-Capillas, C. (2012). Konjac gel fat analogue for use in meat products: Comparison with pork fats. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 63-72. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.04.007.
101. Kang, J., Sun, X., Yu, S., Wang, Z., Zhang, J., Zhao, Y., Wang, S., Guo, Q. (2024). Effects of galactomannans of varied structural features on the functional characteristics and *in vitro* digestibility of wheat starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 281(2), 136295. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.136295.

102. Karu, A., Shevkani, K., Singh, N., Sharma, P., Kaur, S. (2015). Effect of guar gum and xanthan gum on pasting and noodle-making properties of potato, corn and mung bean starches. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 8113-8121. DOI: 10.1007/s13197-015-1954-5.
103. Kaur, M., Singh, S. (2019). Influence of heat-moisture treatment (HMT) on physicochemical and functional properties of starches from different Indian oat (*Avena sativa* L.) cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 312-319. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.197.
104. Khanna, S., Tester, R. F. (2006). Influence of purified konjac glucomannan on the gelatinisation and retrogradation properties of maize and potato starches. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 567-576. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2005.05.004.
105. Kim, D. H., Shin, D. M., Seo, H. G., Han, S. G. (2019). Effects of konjac gel with vegetable powders as fat replacers in frankfurter-type sausage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(8), 1195-1204. DOI: 10.5713/ajas.18.0781.
106. Kim, H. S., Kim, B. Y., Baik, M. Y. (2012). Application of Ultra High Pressure (UHP) in Starch Chemistry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(2), 123-141. DOI: 10.1080/10408398.2010.498065.
107. Kim, J.-H., Lim, G. E., Kang, S., Lee, K., Park, T.-J., Kim, J. (2015). The Relationship between Daily Sodium Intake and Obesity in Korean Adults. *Korean Journal of Health Promotion*, 15(4), 175-184. DOI: 10.15384/kjhp.2015.15.4.175.
108. Kim, T.-K., Yong, H. I., Jung, S., Kim, H.-W., Choi, Y.-S. (2021). Effect of reducing sodium chloride based on the sensory properties of meat products and the improvement strategies employed: a review. *Journal of Animal Science and Technology*, 63(4), 725-739. DOI: 10.5187/jast.2021.e74.
109. Kim, Y., Kim, H.-Y., Kim, J. H. (2017). Associations Between Reported Dietary Sodium Intake and Osteoporosis in Korean Postmenopausal Women: The 2008-2011 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *Asia-Pacific Journal of Public Health*, 29(5), 430-439. DOI: 10.1177/1010539517712759.
110. Kim, Y.-J., Shin, D.-M., Yune, J.-H., Jung, H.-S., Kwon, H.-C., Lee, K.-W., Oh, J.-W., Kim, B.-G., Han, S.-G. (2022). Development of β -Cyclodextrin/Konjac-Based Emulsion Gel for a Pork Backfat Substitute in Emulsion-Type Sausage. *Gels*, 8(6), 369. DOI: 10.3390/gels8060369.
111. Kissel, C., Soares, A. L., Rossa, A., Shimokomaki, M. (2009). Functional Properties of PSE (Pale, Soft, Exudative) Broiler Meat in the Production of Mortadella. *Brazilian*

- Archives of Biology and Technology*, 52, 213-217. DOI: 10.1590/S1516-89132009000700027.
112. Kloss, L., Meyer, J. D., Graeve, L., Vetter, W. (2015). Sodium intake and its reduction by food reformulation in the European Union — A review. *NFS Journal*, 1, 9-19. DOI: 10.1016/j.nfs.2015.03.001.
 113. Kong, Y. W., Baqar, S., Jerums, G., Ekinci, E. I. (2016). Sodium and Its Role in Cardiovascular Disease – The Debate Continues. *Frontiers in Endocrinology*, 7, 164. DOI: 10.3389/fendo.2016.00164.
 114. Krystyjan, M., Adameczyk, G., Sikora, M., Tomasik, P. (2013). Long-term storage stability of selected potato starch – Non-starchy hydrocolloid binary gels. *Food Hydrocolloids*, 31, 270-276. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2012.10.024.
 115. Kumar, Y., Singh, L., Sharanagat, V. S., Patel, A., Kumar, K. (2020). Effect of microwave (low power and varying time) on potato starch: Microstructure, thermo-functional, pasting and rheological properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 27-35. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.03.174.
 116. Kumbár, V., Nedomová, Š., Pytel, R., Kilián, L., Buchar, J. (2017). Study of rheology and friction factor of natural food hydrocolloid gels. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 11(1), 203-209. DOI: 10.5219/735.
 117. Kwak, J.-H., Eun, C.-S., Han, D.-S., Kim, Y.-S., Song, K.-S., Choi, B.-Y., Kim, H.-J. (2021). Gastric Cancer and the Daily Intake of the Major Dish Groups Contributing to Sodium Intake: A Case-Control Study in Korea. *Nutrients*, 13(4), 1365. DOI: 10.3390/nu13041365.
 118. Lan, H., Chen, L., Wang, Y., Lu, M., Chen, B., Ai, C., Teng, H. (2023). Effect of κ -carrageenan on saltiness perception and texture characteristic related to salt release in low-salt surimi. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(część 7), 126852. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126852.
 119. Lan, Y.-C., Lai, L.-S. (2023). Pasting and rheological properties of water caltrop starch as affected by the addition of konjac glucomannan, guar gum and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 136(część A), 108245. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.108245.
 120. Lanaspá, M. A., Kuwabara, M., Andres-Hernando, A., Li, N., Cicerchi, C., Jensen, T., Orlicky, D. J., Roncal-Jimenez, A., Ishimoto, T., Nakagawa, T., Rodriguez-Iturbe, B., MacLean, P. S., Johnson, R. J. (2018). High salt intake causes leptin resistance and obesity in mice by stimulating endogenous fructose production and metabolism. *Proceedings of*

- the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(12), 3138-3143. DOI: 10.1073/pnas.1713837115.
121. Larsen, R., Elvevoll, E. O. (2008). Water uptake, drip losses and retention of free amino acids and minerals in cod (*Gadus morhua*) fillet immersed in NaCl or KCl. *Food Chemistry*, 107(1), 369-376. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.08.031.
 122. Le Corre, D., Bras, J., Dufresne, A. (2010). Starch Nanoparticles: A Review. *Biomacromolecules*, 11(5), 1139-1153. DOI: 10.1021/bm901428y.
 123. Lee, C. H., Chin, K. B. (2019). Changes in physicochemical properties of pork myofibrillar protein combined with corn starch and application to low-fat pork patties. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 157-164. DOI: 10.1111/ijfs.14272.
 124. Lee, H. Y., Jo, W., Yoo, B. (2017). Rheological and microstructural characteristics of rice starch-tara gum mixtures. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 1879-1889. DOI: 10.1080/10942912.2017.1354884.
 125. Lee, J., Sohn, C., Kim, O.-Y., Lee, Y.-M., Yoon, M. O., Lee, M. (2023a). The association between dietary sodium intake and obesity in adults by sodium intake assessment methods: a review of systematic reviews and re-meta-analysis. *Nutrition Research and Practice*, 17(2), 175-191. DOI: 10.4162/nrp.2023.17.2.175.
 126. Lee, S., Jo, K., Jeong, S.-K.-C., Jeon, H., Choi, Y.-S., Jung, S. (2023b). Recent strategies for improving the quality of meat products. *Journal of Animal Science and Technology*, 65(5), 895-911. DOI: 10.5187/jast.2023.e94.
 127. Lee, Y., Chang, Y. H. (2015). Effects of Galactomannan Addition on Rheological, Pasting and Physical Properties of Water Chestnut Starch. *Journal of Texture Studies*, 46(1), 58-66. DOI: 10.1111/jtxs.12113.
 128. Li, C., Hu, Y. (2021). Effects of acid hydrolysis on the evolution of starch fine molecular structures and gelatinization properties. *Food Chemistry*, 353, 129449. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129449.
 129. Li, J., Zhu, M., Gu, L., Su, Y., Yang, Y., Chang, C., Han, Q. (2023). Freeze-thaw stability of konjac glucomannan hydrogels supplemented with natural tapioca/corn starch. *LWT – Food Science and Technology*, 182, 114841. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.114841.
 130. Limberger, V. M., Brum, F. B., Patias, L. D., Daniel, A. P., Comarela, C. G., Emanuelli, T., Silva, L. P. (2011). Modified bronek rice starch as fat substitute in sausages. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(3), 789-792. DOI: 10.1590/S0101-20612011000300037.

131. Lin, H.-T. V., Tsai, J.-S., Liao, H.-H., Sung, W.-C. (2023). The Effect of Hydrocolloids on Penetration Tests and Syneresis of Binary Gum Gels and Modified Corn Starch–Gum Gels. *Gels*, 9(8), 605. DOI: 10.3390/gels9080605.
132. Liu, D., Qu, P., Yan, W., Ni, X., Corke, H., Jiang, F. (2014). Konjac Polysaccharides Affect the Quality, Cell Structure, and Moisture Balance of Baked Bread. *Cereal Chemistry*, 91(6), 610-615. DOI: 10.1094/CCHEM-11-13-0229-R.
133. Liu, D., Xu, F., Liu, F., Masamba, K. G., Chen, M., Zhong, F. (2025). A comparative study of crude and refined tara gum in terms of structural parameters and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 162, 110986. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2024.110986.
134. Liu, T. Y., Ma, Y., Yu, S. F., Shi, J., Xue, S. (2011). The effect of ball milling treatment on structure and porosity of maize starch granule. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(4), 586-593. DOI: 10.1016/j.ifset.2011.06.009.
135. Liu, X., Mu, T., Yamul, K. D., Sun, H., Zhang, M., Chen, J., Fauconnier, M. L., Andrea, P. V. (2017). Evaluation of different hydrocolloids to improve dough rheological properties and bread quality of potato–wheat flour. *Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1597-1607. DOI: 10.1007/s13197-017-2591-y.
136. Liu, Y., Chao, C., Yu, J., Wang, S., Wang, S., Copeland, L. (2020). New insights into starch gelatinization by high pressure: Comparison with heat-gelatinization. *Food Chemistry*, 318, 126493. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126493.
137. Liu, Y., Chen, J., Wu, J., Luo, S., Chen, R., Liu, C., Gilbert, R. G. (2019). Modification of retrogradation property of rice starch by improved extrusion cooking technology. *Carbohydrate Polymers*, 213, 192-198. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.02.089.
138. Lu, X., Kraithong, S., Theppawong, A., Liu, Y., Sangsawad, P., Bunyameen, N., Lee, S. (2025). The multifunctional role of hydrocolloids in modulating retrogradation, starch hydrolysis, and the gut microbiota. *Food Chemistry*, 489, 144974. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.144974.
139. Ma, S., Zhu, P., Wang, M. (2019). Effects of konjac glucomannan on pasting and rheological properties of corn starch. *Food Hydrocolloids*, 89, 234-240. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.10.045.
140. Ma, Y., He, F. J., MacGregor, G. A. (2015). High Salt Intake: Independent Risk Factor for Obesity?. *Hypertension*, 66(4), 843-849. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.115.05948.

141. Macharáčková, B., Bogdanovičová, K., Ježek, F., Bednář, J., Haruštiaková, D., Kameník, J. (2021). Cooking loss in retail beef cuts: The effect of muscle type, sex, ageing, pH, salt and cooking method. *Meat Science*, 171, 108270. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108270.
142. MacNeill, G. J., Mehrpouyan, S., Minow, M. A. A., Patterson, J. A., Tetlow, I. J., Emes, M. J. (2017). Starch as a source, starch as a sink: the bifunctional role of starch in carbon allocation. *Journal of Experimental Botany*, 68(16), 4433-4453. DOI: 10.1093/jxb/erx291.
143. Mahmood, K., Kamilah, H., Shang, P. L., Sulaiman, S., Ariffin, F., Alias, A. K. (2017). A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. *Food Bioscience*, 19, 110-120. DOI: 10.1016/j.fbio.2017.05.006.
144. Marboh, V., Mahanta, C. L. (2021). Physicochemical and rheological properties and in vitro digestibility of heat moisture treated and annealed starch of sohphlang (*Flemingia vestita*) tuber. *International Journal of Biological Macromolecules*, 168, 486-495. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.12.065.
145. Marchel, J., Żmijewski, T., Cierach, M., Malczyk, E. (2013). Wpływ przechowywania mięsa wołowego w stanie zamrożonym na wielkość wycieków rozmrażalniczych i cieplnych oraz teksturę mięsa. *Acta Agrophysica*, 20(2), 377-387.
146. Marta, H., Cahyana, Y., Djali, M. (2020). The effect of starch-hydrocolloid interaction on starch digestibility, pasting and physicochemical properties: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 443(1), 012084. DOI: 10.1088/1755-1315/443/1/012084.
147. Marzec, A. (2007). Tekstura żywności. *Przemysł Spożywczy*, 61(5), 6-10.
148. Menyanu, E., Russell, J., Charlton, K. (2019). Dietary Sources of Salt in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(12), 2082. DOI: 10.3390/ijerph16122082.
149. Mirhosseini, H., Amid, B. T. (2012). A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gum. *Food Research International*, 46(1), 387-398. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.11.017.
150. Modzelewska-Kapituła, M., Cierach, M. (2012). Wykorzystanie komputerowej analizy obrazu do oznaczania zawartości wody wolnej w mięsie metodą Graua-Hamma – wpływ wielkości nacisku i czasu na wynik oznaczenia. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego*, 1(4), 23-25.
151. Moosavian, S. P., Haghighatdoost, F., Surkan, P. J., Azadbakht, L. (2016). Salt and obesity: a systematic review and metaanalysis of observational studies. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68(3), 265-277. DOI: 10.1080/09637486.2016.1239700.

152. Morais, S., Costa, A., Albuquerque, G., Araújo, N., Pelucchi, C., Rabkin, C. S., Liao, L. M., Sinha, R., Zhang, Z.-F., Hu, J., Johnson, K. C., Palli, D., Ferraroni, M., Bonzi, R., Yu, G.-P., López-Carrillo, L., Malekzadeh, R., Tsugane, S., Hidaka, A., Hamada, G. S., Zaridze, D., Maximovitch, D., Vioque, J., de la Hera, M. G., Moreno, V., Vanaclocha-Espi, M., Ward, M. H., Pakseresht, M., Hernández-Ramirez, R. U., López-Cervantes, M., Pourfarzi, F., Mu, L., Kurtz, R. C., Boccia, S., Pastorino, R., Lagiou, A., Lagiou, P., Boffetta, P., Camargo, M. C., Curado, M. P., Negri, E., La Vecchia, C., Lunet, N. (2022). Salt intake and gastric cancer: a pooled analysis within the Stomach cancer Pooling (StoP) Project. *Cancer Causes & Control*, 33(5), 779-791. DOI: 10.1007/s10552-022-01565-y.
153. Mudgil, D., Barak, S., Khatkar, B. S. (2014). Guar gum: processing, properties and food applications – A Review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(3), 409-418. DOI: 10.1007/s13197-011-0522-x.
154. Mukherjee, K., Dutta, P., Badwaik, H. R., Saha, A., Das, A., Giri, T. K. (2023). Food industry applications of Tara gum and its modified forms. *Food Hydrocolloids for Health*, 3, 100107. DOI: 10.1016/j.fhfh.2022.100107.
155. Muñoz-Garach, A., García-Fontana, B., Muñoz-Torres, M. (2020). Nutrients and Dietary Patterns Related to Osteoporosis. *Nutrients*, 12, 1986. DOI: 10.3390/nu12071986.
156. Naguleswaran, S., Li, J., Vasanthan, T., Bressler, D. (2011). Distribution of Granule Channels, Protein, and Phospholipid in Triticale and Corn Starches as Revealed by Confocal Laser Scanning Microscopy. *Cereal Chemistry*, 88(1), 87-94. DOI: 10.1094/CCEM-04-10-0062.
157. Nandi, S., Guha, P. (2018). Modelling the effect of guar gum on physical, optical, barrier and mechanical properties of potato starch based composite film. *Carbohydrate Polymers*, 200, 498-507. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.08.028.
158. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). Dietary Reference Intakes for Sodium and Potassium. Washington: The National Academies Press. DOI: 10.17226/25353.
159. Nerbass, F. B., Calice-Silva, V., Pecoits-Filho, R. (2018). Sodium Intake and Blood Pressure in Patients with Chronic Kidney Disease: A Salty Relationship. *Blood Purification*, 45(1-3), 166-172. DOI: 10.1159/000485154.
160. Niedźwiedz, J., Ostoja, H., Cierach, M. (2013). Instrumentalny pomiar parametrów tekstury i ocena organoleptyczna kruchości wołowego mięsa kulinarnego. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 52, 2, 62-64.

161. Nishinari, K., Fang, Y., Rosenthal, A. (2019). Human oral processing and texture profile analysis parameters: Bridging the gap between the sensory evaluation and the instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 50(5), 369-380. DOI: 10.1111/jtxs.12404.
162. Niu, M., Zhang, B., Jia, C., Zhao, S. (2017). Multi-scale structural and pasting characteristics of starch in whole-wheat flour treated by superfine grinding. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104(Part A), 837-845. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.06.125.
163. Nova, E., Gómez-Martínez, S., González-Soltero, R. (2022). The Influence of Dietary Factors on the Gut Microbiota. *Microorganisms*, 10(7), 1368. DOI: 10.3390/microorganisms10071368.
164. Nwosisi, S., Nandwani, D., Ravi, R. (2019). Texture Profile Analysis (TPA) of Organic Sweetpotato (*Ipomoea batatas*) Cultivars as Affected by Different Processing Methods. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 8(6), 1254-1259, DOI: 10.31015/jaefts.2019.2.7.
165. O'Donnell, M., Mente, A., Alderman, M. H., Brady, A. J. B., Diaz, R., Gupta, R., López-Jaramillo, P., Luft, F., Lüscher, T. F., Mancía, G., Mann, J. F. E., McCarron, D., McKnee, M., Messerli, F. H., Moore, L. L., Narula, J., Oparil, S., Packer, M., Prabhakaran, D., Schutte, A., Sliwa, K., Staessen, J. A., Yancy, C., Yusuf, S. (2020). Salt and cardiovascular disease: insufficient evidence to recommend low sodium intake. *European Heart Journal*, 41(35), 3363-3373. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa586.
166. Offer, G., Trinick, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, 8(4), 245-281. DOI: 10.1016/0309-1740(83)90013-X.
167. Okekunle, M. O., Adebawale, K. O., Olu-Owolabi, B. I., Lamprecht, A. (2020). Physicochemical, morphological and thermal properties of oxidized starches from Lima bean (*Phaseolus lunatus*). *Scientific African*, 8, e00432. DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00432.
168. Ombonga, M. B., Omwamba, M. N., Oloo, B. O. (2024). Quality Evaluation of Low-Fat Pork Sausages Using Quinoa Flour and Gum Arabic from *Acacia senegal* var. *kerensis*. *Food and Nutrition Sciences*, 15(12), 1230-1252. DOI: 10.4236/fns.2024.1512078.
169. Orczykowska, M. (2023). Analysis of rheological properties of potato starch pastes as a potential binding liquid in the granulation process. *Technologia i Jakość Wyróbów*, 68, 38-49. DOI: 10.57636/68.2023.1.4.
170. Osman, E. M. F., Mohamed, A. A., Ahmed, M. I. A., Alamri, M. S., Al Juhaimi, F. Y., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Qasem, A. A. (2022). Acetylated corn starch as a fat replacer:

- Effect on physiochemical, textural, and sensory attributes of beef patties during frozen storage. *Food Chemistry*, 388, 132988. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132988.
171. Park, J.-H., Lee, Y.-J., Lim, J.-G., Jeon, J.-H., Yoon, K.-S. (2021). Effect of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Starch and Seeds on the Physicochemical and Textural and Sensory Properties of Chicken Meatballs during Frozen Storage. *Foods*, 10(7), 1601. DOI: 10.3390/foods10071601.
 172. Pematilleke, N., Kaur, M., Wai, C. T. R., Adhikari, B., Torley, P. J. (2021). Effect of the addition of hydrocolloids on beef texture: Targeted to the needs of people with dysphagia. *Food Hydrocolloids*, 113, 106413. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106413.
 173. Perez, V., Chang, E. T. (2014). Sodium-to-Potassium Ratio and Blood Pressure, Hypertension, and Related Factors. *Advances in Nutrition*, 5(6), 712-741. DOI: 10.3945/an.114.006783.
 174. Petit, G., Jury, V., de Lamballerie, M., Duranton, F., Pottier, L., Martin, J.-L. (2019). Salt Intake from Processed Meat Products: Benefits, Risks and Evolving Practices. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1453-1473. DOI: 10.1111/1541-4337.12478.
 175. Petracci, M., Bianchi, M., Mudalal, S., Cavani, C. (2013). Functional ingredients for poultry meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 33(1), 27-39. DOI: 10.1016/j.tifs.2013.06.004.
 176. Piecyk, M., Domian, K. (2021). Effect of heat-moisture treatment conditions on the physicochemical properties and digestibility of field bean starch (*Vicia faba* var. minor). *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 425-433. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.04.015.
 177. Pietrasik, Z., Gaudette, N. J. (2014). The impact of salt replacers and flavor enhancer on the processing characteristics and consumer acceptance of restructured cooked hams. *Meat Science*, 96(3), 1165-1170. DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.11.005.
 178. PN-A-82109:2010 Mięso i przetwory mięsne -- Oznaczanie zawartości tłuszczu, białka i wody -- Metoda spektrometrii transmisyjnej w bliskiej podczerwieni (NIT) z wykorzystaniem kalibracji na sztucznych sieciach neuronowych (ANN).
 179. PN-EN 15505:2009 Artykuły żywnościowe. Oznaczenie pierwiastków śladowych. Oznaczenie zawartości sodu i magnezu metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS) po mineralizacji mikrofalowej.
 180. PN-EN ISO 1666:2000 Skrobia -- Oznaczanie wilgotności -- Metoda suszarkowa.
 181. PN-EN ISO 3593:2000 Skrobia -- Oznaczanie popiołu.

182. PN-EN ISO 3946:2000 Skrobia i produkty pochodne -- Oznaczanie całkowitej zawartości fosforu -- Metoda spektrofotometryczna.
183. Pohl, H. R., Wheeler, J. S., Murray, H. E. (2013). Sodium and Potassium in Health and Disease. W: A. Sigel, H. Sigel, R. K. O. Sigel. (red.), *Interrelations between Essential Metal Ions and Human Diseases* (s. 29-47). Berlin: Springer.
184. Prajapati, V. D., Jani, G. K., Moradiya, N. G., Randeria, N. P., Nagar, B. J., Naikwadi, N. N., Variya, B. C. (2013). Galactomannan: A versatile biodegradable seed polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 60, 83-92. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2013.05.017.
185. Przetaczek-Rożnowska, I. (2017). Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 536-542. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.092.
186. Przygoda, B. (2024). Referencyjne wartości spożycia (RWS) w etykietowaniu żywności. W: E. Rychlik, K. Stoś, A. Woźniak, H. Mojska (red.), *Normy żywienia dla populacji Polski* (s. 401-408). Warszawa: Wydawnictwo NIZP-PZH.
187. Punia, S. (2020). Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic – A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 578-585. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.12.088.
188. Qu, J., Xu, S., Zhang, Z., Chen, G., Zhong, Y., Liu, L., Zhang, R., Xue, J., Guo, D. (2018). Evolutionary, structural, and expression, analysis of core genes involved in starch synthesis. *Scientific Reports*, 8(1), 12736. DOI: 10.1038/s41598-018-30411-y.
189. Raigond, P., Ezekiel, R., Raigond, B. (2015). Resistant starch in food: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), 1968-1978. DOI: 10.1002/jsfa.6966.
190. Rao, D. N., Sachindra, N. M. (2002). MODIFIED ATMOSPHERE AND VACUUM PACKAGING OF MEAT AND POULTRY PRODUCTS. *Food Reviews International*, 18(4), 263-293. DOI: 10.1081/FRI-120016206.
191. Rao, T. P. (2016). Role of guar fiber in appetite control. *Physiology & Behavior*, 164(cz. A), 277-283. DOI: 10.1016/j.physbeh.2016.06.014.
192. Rather, S. A., Masoodi, F. A., Akhter, R., Rather, J. A., Amin, F. (2017) Effects of guar gum as a fat substitute in low fat meat emulsions. *Journal of Food Processing and Preservation* 41(6), e13249. DOI: 10.1111/jfpp.13249.
193. Resconi, V. C., Keenan, D. F., Barahona, M., Guerrero, L., Kerry, J. P., Hamill, R. M. (2016a). Rice starch and fructo-oligosaccharides as substitutes for phosphate and dextrose

- in whole muscle cooked hams: Sensory analysis and consumer preferences. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 284-292. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.10.048.
194. Resconi, V. C., Keenan, D. F., García, E., Allen, P., Kerry, J. P., Hamill, R. M. (2016b). The effect of potato and rice starch as substitute for phosphate in and degree of comminution on the technological, instrumental and sensory characteristic of restructured ham. *Meat Science*, 121, 127-134. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.05.017.
195. Rigano, L., Deola, M., Zaccariotto, F., Colleoni, T., Lionetti, N. (2019). A New Gelling Agent and Rheology Modifier in Cosmetics: *Caesalpinia spinosa* Gum. *Cosmetics*, 6(2), 34. DOI: 10.3390/cosmetics6020034.
196. Rios-Mera, J. D., Selani, M. M., Patinho, I., Saldaña, E., Contreras-Castillo, C. J. (2021). Modification of NaCl structure as a sodium reduction strategy in meat products: An overview. *Meat Science*, 108417. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108417.
197. Rolandelli, G., Rodríguez, S. D., del Pilar Buera, M. (2024). Modulation of the retrogradation kinetics of sweet potato starch by the addition of pectin, guar gum, and gallic acid. *Food Hydrocolloids*, 146A, 109211. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109211.
198. Rozporządzenie (WE) nr 1924/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 grudnia 2006 r. w sprawie oświadczeń żywieniowych i zdrowotnych dotyczących żywności. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, L 404, 9–25. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006R1924>
199. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności.
200. Sandhu, K. S., Siroha, A. K., Punia, S., Sangwan, L., Nehra, M., Purewal, S. S. (2021a). Effect of degree of cross linking on physicochemical, rheological and morphological properties of Sorghum starch. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100073. DOI: 10.1016/j.carpta.2021.100073.
201. Sandhu, K. W., Kaur, M., Ahmed, J. (2021b). Rheological, thermal, and structural properties of high-pressure treated Litchi (*Litchi chinensis*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 175, 229-234. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.02.030.
202. Santos, M. B., Santos, C. H. C., Carvalho, M. G., Carvalho, C. W. P., Garcia-Rojas, E. E. (2019). Physicochemical, thermal and rheological properties of synthesized carboxymethyl tara gum (*Caesalpinia spinosa*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 595-603. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.025.

203. Sarteshnizi, A. R., Hosseini, H., Khaneghah, M. A., Karim, N. (2015). A review on application of hydrocolloids in meat and poultry products. *International Food Research Journal*, 22(3), 872-887.
204. Schwartz, J. M., Bail, K. L., Garnier, C., Llamas, G., Queveau, D., Pontoire, B., Srzednicki, G., Le Bail, P. (2014). Available water in konjac glucomannan-starch mixtures. Influence on the gelatinization, retrogradation and complexation properties of two starches. *Food Hydrocolloids*, 41, 71-78. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.12.014.
205. Sharahi, M., Bahrami, S. H., Karimi, A. (2025). A comprehensive review on guar gum and its modified biopolymers: Their potential applications in tissue engineering. *Carbohydrate Polymers*, 347, 122739. DOI: 10.1016/j.carbpol.2024.122739.
206. Sharma, G., Sharma, S., Kumar, A., Al-Muhtaseb, A. H., Naushad, M., Ghfar, A. A., Mola, G. T., Stadler, F. J. (2018). Guar gum and its composites as potential materials for diverse applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 199, 534-545. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.07.053.
207. Sharma, S., Singh, N., Singh, B. (2015). Effect of extrusion on morphology, structural, functional properties and in vitro digestibility of corn, field pea and kidney bean starches. *Starch/Stärke*, 67(9-10), 721-728. DOI: 10.1002/star.201500021.
208. Shi, H., Zhang, M., Liu, X.-C., Yao, X., Wang, W., Zheng, J., Tomasevic, I., Sun, W. (2024). Improved qualities of salt-reduced tilapia surimi by adding konjac glucomannan: Insight into the edible traits, gel properties and anti-freezing ability. *Food Hydrocolloids*, 153, 109971. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2024.109971.
209. Shi, X., Yin, J., Cui, S. W., Wang, Q., Wang, S., Nie, S. (2020). Plant-derived glucomannans: Sources, preparation methods, structural features, and biological properties. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 101-116. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.016.
210. Sikora, M., Adamczyk, G., Krystyjan, M., Dobosz, A., Tomasik, P., Berski, W., Lukaszewicz, M., Izak, P. (2015). Thixotropic properties of normal potato starch depending on the degree of the granules pasting. *Carbohydrate Polymers*, 121, 254-264. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.12.059.
211. Sikora, M., Dobosz, A., Krystyjan, M., Adamczyk, G., Tomasik, P., Berski, W., Kutyla-Kupidura, E. M. (2017). Thixotropic properties of the normal potato starch – Locust bean gum blends. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 590-598. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.10.011,

212. Šimková, D., Lachman, J., Hamouz, K., Vokál, B. (2013). Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chemistry*, 141(4), 3872-3880. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.06.080.
213. Singh, S., Singh, G., Arya, S. K. (2018). Mannans: An overview of properties and application in food products. *International Journal of Biological Macromolecules*, 119, 79-95. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.07.130.
214. Skowrya, M., Janiewicz, U., Salejda, A. M., Krasnowska, G., Almajano, M. P. (2015). Effect of Tara (*Caesalpinia spinosa*) Pod Powder on the Oxidation and Colour Stability of Pork Meat Batter During Chilled Storage. *Food Technology & Biotechnology*, 53(4), 419-427. DOI: 10.17113/ftb.53.04.15.3932.
215. Soltani, S., Mohammadi, R. K., Shab-Bidar, S., Vafa, M., Salehi-Abargouci, A. (2017). Sodium status and the metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(2), 196-206. DOI: 10.1080/10408398.2017.1363710.
216. Song, J. H., Kim, Y. S., Heo, N. J., Lim, J. H., Yang, S. Y., Chung, G. E., Kim, J. S. (2017). High Salt Intake Is Associated with Atrophic Gastritis with Intestinal Metaplasia. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 26(7), 1133-1138. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-16-1024.
217. Stoś, K., Woźniak, A., Wojtasik, A., Rychlik, E., Ziółkowska, I., Glowala, A. (2024). Składniki mineralne. W: E. Rychlik, K. Stoś, A. Woźniak, H. Mojska (red.), *Normy żywienia dla populacji Polski* (s. 255-342). Warszawa: Wydawnictwo NIZP-PZH.
218. Strazzullo, P., Abate, V. (2025). Sodium. *Advances in Nutrition*, 100409. DOI: 10.1016/j.advnut.2025.100409.
219. Su, C., Saleh, A. S. M., Zhang, B., Zhao, K., Ge, X., Zhang, Q., Li, W. (2020). Changes in structural, physicochemical, and digestive properties of normal and waxy wheat starch during repeated and continuous annealing. *Carbohydrate Polymers*, 247, 116675. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.116675.
220. Sun, Y., Wang, M., Ma, S., Wang, H. (2020). Physicochemical characterization of rice, potato, and pea starches, each with different crystalline pattern, when incorporated with Konjac glucomannan. *Food Hydrocolloids*, 101, 105499. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105499.
221. Takase, H., Hayashi, K., Kin, F., Nakano, S., Machii, M., Takayama, S., Sugiura, T., Dohi, Y. (2022). Dietary salt intake predicts future development of metabolic syndrome in the

- general population. *Hypertension Research*, 46, 236-243. DOI: 10.1038/s41440-022-01035-7.
222. Takase, H., Macchi, M., Nonaka, D., Ohno, K., Takayama, S., Sugiura, T., Ohte, N., Dohi, T. (2020). Excessive salt intake is a significant predictor for future development of metabolic syndrome in the general population. *European Heart Journal*, 41(2). DOI: 10.1093/ehjci/ehaa946.3058.
223. Tamm, A., Bolumar, T., Bajovic, B., Toepfl, S. (2016). Salt (NaCl) reduction in cooked ham by a combined approach of high pressure treatment and the salt replacer KCl. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 36, 294-302. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.07.010.
224. Tester, R. F., Al-Ghazzewi, F. H. (2013). Mannans and health, with special focus on glucomannans. *Food Research International*, 50(1), 384-391. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.10.037.
225. Teucher, B., Dainty, J. R., Spinks, C. A., Majsak-Newman, G., Berry, D. J., Hoogewerff, J. A., Foxall, R. J., Jakobsen, J., Cashman, K. D., Flynn, A., Fairweather-Tait, S. (2009). Sodium and bone health: impact of moderately high and low salt intakes on calcium metabolism in postmenopausal women. *Journal of Bone and Mineral Research*, 23(9), 1477-1485. DOI: 10.1359/jbmr.080408.
226. Thombare, N., Jha, U., Mishra, S., Siddiqui, M. Z. (2016). Guar gum as a promising starting material for diverse applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 361-372. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.04.001.
227. Tong, C., Ma, Z., Chen, H., Gao, H. (2023). Toward an understanding of potato starch structure, function, biosynthesis, and applications. *Food Frontiers*, 4(3), 980-1000. DOI: 10.1002/fft2.223.
228. Tong, Q., Chen, L., Wang, W., Zhang, Z., Yu, X., Ren, F. (2018). Effects of konjac glucomannan and acetylated distarch phosphate on the gel properties of pork meat myofibrillar proteins. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 2899-2909. DOI: 10.1007/s13197-018-3208-9.
229. Tripathy, S., Das, M. K. (2013). Guar Gum: Present Status and Applications. *Journal of Pharmaceutical and Scientific Innovation*, 4(4), 24-28. DOI: 10.7897/2277-4572.02447.
230. Umesawa, M., Iso, H., Fujino, Y., Kikuchi, S., Tamakoshi, A. (2016). Salty Food Preference and Intake and Risk of Gastric Cancer: The JACC Study. *Journal of Epidemiology*, 26(2), 92-97. DOI: 10.2188/jea.JE20150023.

231. Utrilla-Coello, R. G., Hernández-Jaimes, C., Carrillo-Navas, H., González, F., Rodríguez, E., Bello-Pérez, L. A., Vernon-Carter, E. J., Álvarez-Ramírez, J. (2014). Acid hydrolysis of native corn starch: Morphology, crystallinity, rheological and thermal properties. *Carbohydrate Polymers*, 103, 596-602. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.01.046.
232. Vamadevan, V., Bertoft, E. (2015). Structure-function relationship of starch components. *Starch/Stärke*, 67(1-2), 55-68. DOI: 10.1002/star.201400188.
233. Vanier, N. L., Zavareze, E. R., Pinto, V. Z., Klein, B., Botelho, F. T., Dias, A. R. G., Elias, M. C. (2012). Physicochemical, crystallinity, pasting and morphological properties of bean starch oxidised by different concentrations of sodium hypochlorite. *Food Chemistry*, 131(4), 1255-1262. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.09.114.
234. Varela, M. S., Navarro, A. S., Yamul, D. K. (2016). Effect of hydrocolloids on the properties of wheat/potato starch mixtures. *Starch/Stärke*, 68(7), 753-761. DOI: 10.1002/star.201400257.
235. Verma, A. K., Chatli, M. K., Kumar, D., Kumar, P., Mehta, N. (2015). Efficacy of Sweet Potato Powder and Added Water as Fat Replacer on the Quality Attributes of Low-fat Pork Patties. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28, 252-259. DOI: 10.5713/ajas.14.0291.
236. Vidal, V. A. S., Paglarini, C. S., Lorenzo, J. M., Muneke, P. E. S., Pollonio, M. A. R. (2021). Salted Meat Products: Nutritional Characteristics, Processing and Strategies for Sodium Reduction. *Food Reviews International*, 39(4), 2183-2202. DOI: 10.1080/87559129.2021.1949342.
237. Vidaurre-Ruiz, J., Matheus-Díaz, S., Salas-Valerio, F., Barraza-Jauregui, G., Schoenlechner, R., Repto-Carrasco-Valencia, R. (2019). Influence of tara gum and xanthan gum on rheological and textural properties of starch-based gluten-free dough and bread. *European Food Research and Technology*, 245, 1347-1355. DOI: 10.1007/s00217-019-03253-9.
238. von Borries-Medrano, E., Jaime-Fonseca, M. R., Aguilera-Méndez, M. A. (2019). Tapioca starch-galactomannan systems: Comparative studies of rheological and textural properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 1173-1183. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.09.067.
239. Walsh, S. K., Lucey, A., Walter, J., Zannini, E., Arendt, E. K. (2022). Resistant starch – An accessible fiber ingredient acceptable to the Western palate. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2930-2955. DOI: 10.1111/1541-4337.12955.

240. Wang, C., Huang, Z., Yu, K., Ding, R., Ye, K., Dai, C., Xu, X., Zhou, G., Li, C. (2017). High-Salt Diet Has a Certain Impact on Protein Digestion and Gut Microbiota: A Sequencing and Proteome Combined Study. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1838. DOI: 10.3389/fmicb.2017.01838.
241. Wang, J., Huang, X.-H., Zhang, Y.-Y., Li, S., Dong, X., Qin, L. (2023). Effect of sodium salt on meat products and reduction sodium strategies — A review. *Meat Science*, 205, 109296. DOI: 10.1016/j.meatsci.2023.109296.
242. Wang, J., Jiang, X., Guo, Z., Zheng, B., Zhang, Y. (2021): Insights into the multi-scale structural properties and digestibility of lotus seed starch-chlorogenic acid complexes prepared by microwave irradiation. *Food Chemistry*, 361, 130171. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.130171.
243. Wang, S., Chao, C., Cai, J., Niu, B., Copeland, L., Wang, S. (2020a). Starch-lipid and starch-lipid-protein complexes: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(3), 1056-1079. DOI: 10.1111/1541-4337.12550.
244. Wang, S., Copeland, L. (2013). Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. *Food & Function*, 4(11), 1564-1580. DOI: 10.1039/c3fo60258c.
245. Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., Wang, S. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568-585. DOI: 10.1111/1541-4337.12143.
246. Wang, X., Lang, F., Liu, D. (2022). High-Salt Diet and Intestinal Microbiota: Influence on Cardiovascular Disease and Inflammatory Bowel Disease. *Biology*, 13(9), 674. DOI: 10.3390/biology13090674.
247. Wang, Y.-J., Yeh, T.-L., Shih, M.-C., Tu, Y.-K., Chien, K.-L. (2020b). Dietary Sodium Intake and Risk of Cardiovascular Disease: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis. *Nutrients*, 12(10), 2934. DOI: 10.3390/nu12102934.
248. Wani, I. A., Farooq, G., Qadir, N., Wani, T. A. (2019). Physico-chemical and rheological properties of Bengal gram (*Cicer arietinum* L.) starch as affected by high temperature short time extrusion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131(16), 850-857. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.135.
249. Wani, I. A., Sogi, D. S., Gill, B. S. (2012). Physicochemical properties of acetylated starches from some Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(9), 1993-1999. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03062.x.

250. Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J. A. (2014). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch/Stärke*, 67(1-2), 14-29. DOI: 10.1002/star.201300238.
251. Weber, F. H., Clerici, M. T. P. S., Collares-Queiroz, F. P., Chang, Y. K. (2009). Interaction of Guar and Xanthan Gums with Starch in the Gels Obtained from Normal, Waxy and High-amylose Corn Starches. *Starch/Stärke*, 61(1), 28-34. DOI: 10.1002/star.200700655.
252. Wongsagonsup, R., Pujchakarn, T., Jitrakbumrung, S., Chaiwat, W., Fuongfuchat, A., Varavinit, S., Dangtip, S., Suphantharika, M. (2014). Effect of cross-linking on physicochemical properties of tapioca starch and its application in soup product. *Carbohydrate Polymers*, 101, 656-665. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.09.100.
253. World Health Organization. (2012). Guideline: Sodium intake for adults and children. Geneva: World Health Organization (WHO). <https://www.who.int/publications/i/item/9789241504836> (Pierwsza publikacja 2012).
254. World Health Organization. (2013). Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013-2020. Geneva: World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/94384>.
255. World Health Organization. (2023). WHO global report on sodium intake reduction. Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240069985>.
256. Wu, B., Yang, D., Yang, S., Zhang, G. (2021). Dietary Salt Intake and Gastric Cancer Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Nutrition*, 8, 801228. DOI: 10.3389/fnut.2021.801228.
257. Wu, K., Tao, Y., Cheng, J., Zeng, Y., Wang, R., Yan, X., Jiang, F., Chen, S., Zhao, X. (2024). Impacts of Konjac Glucomannan on the Pasting, Texture, and Rheological Properties of Potato Starch with Different Heat-Moisture Treatments. *Starch/Stärke*, 76(9-10), 2300242. DOI: 10.1002/star.202300242.
258. Wu, X., Chen, L., Cheng, J., Qian, J., Fang, Z., Wu, J. (2022). Effect of Dietary Salt Intake on Risk of Gastric Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of Case-Control Studies. *Nutrients*, 14(20), 4260. DOI: 10.3390/nu14204260.
259. Wu, Y., Ding, W., Jia, L., He, Q. (2015). The rheological properties of tara gum (*Caesalpinia spinosa*). *Food Chemistry*, 168, 366-371. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.07.083.

260. Xie, Y., Yan, M., Yuan, S., Sun, S., Huo, Q. (2013). Effect of microwave treatment on the physicochemical properties of potato starch granules. *Chemistry Central Journal*, 7(1), 113. DOI: 10.1186/1752-153X-7-113.
261. Xu, X., Ye, S., Zuo, X., Fang, S. (2022). Impact of Guar Gum and Locust Bean Gum Addition on the Pasting, Rheological Properties, and Freeze–Thaw Stability of Rice Starch Gel. *Foods*, 11(16), 2508. DOI: 10.3390/foods11162508.
262. Yang, D., Yuan, Y., Wang, L., Wang, X., Mu, R., Pand, J., Xiao, J., Zheng, Y. (2017). A Review on Konjac Glucomannan Gels: Microstructure and Application. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11), 2250. DOI: 10.3390/ijms18112250.
263. Yang, H., Han, M., Wang, X., Han, Y., Wu, J., Xu, X., Zhou, G. (2015). Effect of high pressure on cooking losses and functional properties of reduced-fat and reduced-salt pork sausage emulsions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 125-133. DOI: 10.1016/j.ifset.2015.02.013.
264. Yang, W., Kong, X., Zheng, Y., Sun, W., Chen, S., Liu, D., Zhang, H., Fang, H., Tian, J., Ye, X. (2019). Controlled ultrasound treatments modify the morphology and physical properties of rice starch rather than the fine structure. *Ultrasonic – Sonochemistry*, 59, 104709. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.104709.
265. Yilmaz, E. E., Vural, H., Yadigari, R. J. (2017). Thermal, microscopic, and quality properties of low-fat frankfurters and emulsions produced by addition of different hydrocolloids. *International Journal of Food Properties*, 20:9, 1987-2002. DOI: 10.1080/10942912.2016.1230743.
266. Yin, J. Zhang, P., Fang, Z. (2023). Methods to improve the quality of low-salt meat products: a meta-analysis. *Food Quality and Safety*, 7, 1-12. DOI: 10.1093/fqsafe/fyac076.
267. Yoo, S.H., Chang, Y. H. (2018). Effect of Tara Gum Addition on Steady and Dynamic Shear Rheological Properties of Rice Starch Isolated from the Korean Rice Variety ‘Boramchan’. *Preventive Nutrition and Food Science*, 23(3), 254-259. DOI: 10.3746/pnf.2018.23.3.254.
268. Yu, W., Yu, Y., Li, J., Liang, H., Li, Y., Li, B. (2025). Effects of deacetylated konjac glucomannan on the retrogradation properties of pea, mung bean and potato starches during the storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 304(część 2), 140922. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.140922.
269. Yusefi, A. R., Lankarani, K. B., Bastani, P., Radinmanesh, M., Kavosi, Z. (2018). Risk Factors for Gastric Cancer: A Systematic Review. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 19(3), 591-603. DOI: 10.22034/APJCP.2018.19.3.591.

270. Zakaria, N. H., Muhammad, N., Abdullah, M. M. A. B. (2017). Potential of Starch Nanocomposites for Biomedical Applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 209(1), 012087. DOI: 10.1088/1757-899X/209/1/012087.
271. Zhang, B., Huang, Q., Luo, F. X., Fu, X., Jiang, H., Jane, J. L. (2011a). Effect of octenylsuccinylation on the structure and properties of high-amylose maize starch. *Carbohydrate Polymers*, 84(2), 1276-1281. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.01.020.
272. Zhang, C., Li, X.-Y., Li, J.-J., Zhang, Y.-Y., Wu, C.-Y., Wang, Z.-J., Zhang, L.-Z., Wu, C., Liu, Q.-Q., Qian, J.-Y. (2025). The dynamic changes in physicochemical properties, functionalities, and gel properties of the starch-konjac gum mixture during the melting process: Based on three typical melting temperatures of DSC. *Food Hydrocolloids*, 158, 110495. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2024.110495.
273. Zhang, M., Fu, C., Chen, M., Jin, C. (2023). The Effect of Sodium Chloride on the Physicochemical and Textural Properties and Flavor Characteristics of Sous Vide Cooked Duck Meat. *Foods*, 12(18), 3452. DOI: 10.3390/foods12183452.
274. Zhang, S., Wang, L., Wang, Q., Wang, Y., Wang, L., Du, R. (2024). Effects of Different Types of Starch on Physicochemical Properties and Microstructure of Beef during Cold Storage. *Foods*, 13(17), 2767. DOI: 10.3390/foods13172767.
275. Zhang, Y., Erbjerg, P. (2019). On the origin of thaw loss: Relationship between freezing rate and protein denaturation. *Food Chemistry*, 299, 125104. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125104.
276. Zhang, Y., Gu, Z., Hong, Y., Li, Z., Cheng, L. (2011b). Pasting and rheologic properties of potato starch and maize starch mixtures. *Starch/Stärke*, 63(1), 11-16. DOI: 10.1002/star.200900255.
277. Zhou, N., Zheng, S., Xie, W., Cao, G., Wang, L., Pang, J. (2022). Konjac glucomannan: A review of structure, physicochemical properties, and wound dressing applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(11), 51780. DOI: 10.1002/app.51780.
278. Zhu, H., O'Farrell, M., Hansen, E. W., Andersen, P. V., Berg, P., Egelanddal, B. (2017). The potential for predicting purge in packaged meat using low field NMR. *Journal of Food Engineering*, 206, 98-105. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.03.008.
279. Zhu, Y., Yan Y., Yu, Z., Wu, T., Bennett, L. E. (2022). Effects of high pressure processing on microbial, textural and sensory properties of low-salt emulsified beef sausage. *Food Control*, 133(część A), 108596. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108596.

280. Zielbauer, B. I., Franz, J., Viezens, B., Vilgis, T. A. (2016). Physical Aspects of Meat Cooking: Time Dependent Thermal Protein Denaturation and Water Loss. *Food Biophysics*, 11, 34-42. DOI: 10.1007/s11483-015-9410-7.
281. Żochowska-Kujawska, J. (2016). Effects of fibre type and structure of longissimus lumborum (LI), biceps femoris (BF) and semimembranosus (Sm) deer muscles salting with different NaCl addition on proteolysis index and texture of dry-cured meats. *Meat Science*, 121, 390-396. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.07.001.

8. Aneks

8.1. Spis rysunków

Rysunek 1. Struktura chemiczna amylozy i amylopektyny (Kim i in., 2012)	12
Rysunek 2. Schemat budowy ziarna skrobiowego: (A) semikrystaliczne i amorficzne pierścienie wzrostu wewnątrz ziarna skrobiowego, (B) blok małych i dużych blocklets, (C) lamelle krystaliczne i amorficzne wewnątrz blocklet'u, (D) układ podwójnych helis (zawierający boczne łańcuchy amylopektyny) wewnątrz lameli krystalicznych i punkty rozgałęzień amylopektyny wewnątrz lameli amorficznych (Kim i in., 2012)	15
Rysunek 3. Rozkład łańcuchów amylopektyny (Kim i in., 2012)	16
Rysunek 4. Typy krystaliczne skrobi: (A) typ krystaliczny A, (B) typ krystaliczny B (Kim i in., 2012).....	17
Rysunek 5. Zdjęcia elektronowego mikroskopu skaningowego skrobi z kukurydzy (a), manioku jadalnego (b), pszenicy (c), ziemniaków (d), ryżu (e). Słupek odpowiada 10µm (Waterschoot i in., 2014).....	21
Rysunek 6. Struktura chemiczna gumy guar (Prajapati i in., 2013).....	23
Rysunek 7. Struktura chemiczna gumy konjac (Guo i in., 2021)	26
Rysunek 8. Struktura chemiczna gumy tara (Prajapati i in., 2013).....	28
Rysunek 9. Przegląd modyfikacji skrobi (Punia, 2020).....	31
Rysunek 10. Wpływ spożycia sodu na organizm człowieka.....	46
Rysunek 11. Wykaz chorób dietozależnych związanych z nadmiernym spożyciem sodu	49
Rysunek 12. Schemat technologiczny produkcji modelowych przetworów mięsnych	60
Rysunek 13. Zdjęcie przykładowych przetworów modelowych po obróbce termicznej	61
Rysunek 14. Zdjęcie przykładowych przetworów modelowych przygotowanych do badań .	62
Rysunek 15. Termogram DSC dla układów skrobia-woda (Wang, Copeland, 2013)	65
Rysunek 16. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 70°C..	85
Rysunek 17. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 75°C..	86
Rysunek 18. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 80°C..	86
Rysunek 19. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 85°C..	87
Rysunek 20. Krzywe płynięcia kleików skrobiowych kleikowanych w temperaturze 90°C..	87
Rysunek 21. Różnica współczynnika konsystencji (ΔK) - różnica średnich wartości K_1 i K_2	92
Rysunek 22. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 70°C	98

Rysunek 23. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 75°C.....	98
Rysunek 24. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 80°C.....	99
Rysunek 25. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 85°C.....	99
Rysunek 26. Zmiany lepkości pozornej w czasie ścinania kleików otrzymanych w temperaturze 90°C.....	100
Rysunek 27. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi po naświetlaniu, w zależności od czasu przechowywania (1, 10 i 20 dni).....	109
Rysunek 28. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GG po naświetlaniu, w zależności od czasu przechowywania (1, 10 i 20 dni).....	110
Rysunek 29. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT po naświetlaniu, w zależności od czasu przechowywania (1, 10 i 20 dni).....	111
Rysunek 30. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GK po naświetlaniu, w zależności od czasu przechowywania (1, 10 i 20 dni).....	112
Rysunek 31. Korelacja wartości pH ze stężeniem chlorku sodu w przetworach modelowych po 1., 10. i 20. dniu przechowywania.....	123
Rysunek 32. Korelacja zawartości wody wolnej ze stężeniem chlorku sodu w przetworach modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	126
Rysunek 33. Korelacja ubytków masy z zawartością chlorku sodu w przetworach po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	128
Rysunek 34. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT_25 poddanej naświetlaniu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	132
Rysunek 35. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT_50 poddanej naświetlaniu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	133
Rysunek 36. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT_75 poddanej naświetlaniu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	134
Rysunek 37. Różnica barwy (ΔE) próby nSzi-GT_100 poddanej naświetlaniu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	135
Rysunek 38. Korelacja ubytków masy podczas przechowywania z zawartością chlorku sodu w przetworach po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	139

8.2. Spis tabel

Tabela 1. Zawartość amylozy i amylopektyny w skrobiach różnego pochodzenia (Zakaria i in., 2017).....	13
Tabela 2. Wykaz stosowanych skrótów	57
Tabela 3. Wilgotność, zawartość popiołu i fosforu w skrobi ziemniaczanej natywnej oraz wilgotność i zawartość popiołu w gumie guar, gumie tara i gumie konjac	76
Tabela 4. Wartości pH kleików po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	77
Tabela 5. Właściwości termodynamiczne zawiesin skrobiowych	78
Tabela 6. Zawartość wody niezwiązanej w kleikach otrzymanych w różnych temperaturach [%].....	80
Tabela 7. Zawartość wody wydzielonej z kleików skleikowanych w różnych temperaturach i przechowywanych przez 1 dzień, 10 i 20 dni [%]	81
Tabela 8. Zawartość wody zaabsorbowanej w kleikach skleikowanych w różnych temperaturach i przechowywanych przez 1, 10 i 20 dni [%]	82
Tabela 9. Stopień synerезy kleików skrobiowych w zależności od temperatury kleikowania i czasu przechowywania [%].....	84
Tabela 10. Wartości współczynnika dopasowania R^2 modelu Ostwalda-de Waele'a do krzywych płynięcia przy wzrastającej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania	88
Tabela 11. Wartości współczynnika dopasowania R^2 modelu Ostwalda-de Waele'a do krzywych płynięcia przy malejącej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania	89
Tabela 12. Wartości współczynnika konsystencji K_1 ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) modelu Ostwalda-de Waele'a dla krzywych płynięcia przy wzrastającej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania	90
Tabela 13. Wartości współczynnika konsystencji K_2 ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) modelu Ostwalda-de Waele'a dla krzywych płynięcia przy malejącej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania	91
Tabela 14. Wartości wskaźnika płynięcia n_1 [-] modelu Ostwalda-de Waele'a dla krzywych płynięcia przy wzrastającej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania	93
Tabela 15. Wartości wskaźnika płynięcia n_2 [-] modelu Ostwalda-de Waele'a dla krzywych płynięcia przy malejącej szybkości ścinania w różnych temperaturach kleikowania	94

Tabela 16. Powierzchnia pętli histerezy [Pa/s] kleików kleikowanych w różnych temperaturach	96
Tabela 17. Wartości pH przetworów modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania ..	102
Tabela 18. Wartość energetyczna, skład chemiczny oraz wielkość wycieku cieplnego modelowych przetworów mięsnych.....	103
Tabela 19. Zawartość wody wolnej [%] w przetworach modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania.....	104
Tabela 20. Wielkość wycieku przechowalniczego [%] w przetworach modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	105
Tabela 21. Zmiana parametrów barwy przetworów modelowych po 1., 10. i 20. dniu przechowywania.....	107
Tabela 22. Różnica barwy (ΔE) przetworów modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	108
Tabela 23. Parametry tekstury przetworów modelowych po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	115
Tabela 24. Cechy sensoryczne przetworów modelowych po 1., 10. i 20. dniu przechowywania	118
Tabela 25. Wartość pH przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1., 10. i 20. dniu przechowywania.....	122
Tabela 26. Wartość energetyczna oraz zawartość białka, tłuszczu, wody i sodu, a także wielkość wycieku cieplnego w przetworach modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu	125
Tabela 27. Zawartość wody wolnej w przetworach modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	126
Tabela 28. Wielkość ubytków masy [%] przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	128
Tabela 29. Parametry barwy przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	130
Tabela 30. Różnica barwy (ΔE) przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	131
Tabela 31. Parametry tekstury przetworów modelowych z obniżoną zawartością chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	138
Tabela 32. Cechy sensoryczne przetworów modelowych o obniżonej zawartości chlorku sodu po 1, 10 i 20 dniach przechowywania	142

Tabela 33. Zmiany parametru L^* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania.....	181
Tabela 34. Zmiany parametru a^* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania.....	182
Tabela 35. Zmiany parametru b^* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania.....	183
Tabela 36. Zmiany parametru L^* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania.....	185
Tabela 37. Zmiany parametru a^* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania.....	186
Tabela 38. Zmiany parametru b^* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania.....	187

8.3. Załącznik 1 – Wyniki pomiaru barwy modelowych przetworów mięsnych po naświetlaniu

Tabela 33. Zmiany parametru L* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania

Czas naświetlania [min.]	Materiał badany					
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Czas przechowywania						
1. dzień						
5	58,41 ^{aA}	1,149	58,29 ^{aA}	0,830	57,74 ^{aA}	0,952
35	58,12 ^{aA}	1,088	57,98 ^{aA}	0,700	57,63 ^{aA}	0,974
65	57,87 ^{aA}	0,972	57,86 ^{aA}	0,684	57,44 ^{aA}	0,819
95	57,84 ^{aA}	1,114	57,71 ^{aA}	0,621	57,40 ^{aA}	0,895
125	57,63 ^{aA}	1,031	57,63 ^{aA}	0,710	57,24 ^{aA}	0,882
Przechowywanie chłodnicze [24h]	58,61 ^{aA}	1,159	58,57 ^{aA}	0,796	58,14 ^{aA}	0,851
10. dzień						
5	59,51 ^{aA}	2,067	58,92 ^{aA}	1,365	58,42 ^{aA}	1,284
35	58,58 ^{aA}	1,464	58,29 ^{aA}	0,883	57,94 ^{aA}	0,903
65	58,43 ^{aA}	1,453	58,14 ^{aA}	0,801	57,75 ^{aA}	0,912
95	58,19 ^{aA}	1,388	57,99 ^{aA}	0,766	57,60 ^{aA}	0,837
125	58,07 ^{aA}	1,408	57,94 ^{aA}	0,846	57,54 ^{aA}	0,872
Przechowywanie chłodnicze [24h]	58,61 ^{aA}	1,230	58,54 ^{aA}	0,632	58,21 ^{aA}	0,649
20. dzień						
5	58,31 ^{aA}	1,178	58,14 ^{aAB}	0,575	58,06 ^{aA}	0,891
35	58,15 ^{aA}	1,280	58,00 ^{aAB}	0,560	57,96 ^{aA}	0,871
65	58,05 ^{aA}	1,218	57,89 ^{aAB}	0,610	57,92 ^{aA}	0,897
95	57,92 ^{aA}	1,321	57,84 ^{aAB}	0,651	57,80 ^{aA}	0,899
					57,66 ^{aA}	1,210

cd. tabeli 33

Czas naświetlania [min.]	Materiał badany							
	nSzi	nSzi-GG	nSzi-GT	nSzi-GK	nSzi	nSzi-GG	nSzi-GT	nSzi-GK
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
125	57,76 ^{aA}	1,461	57,63 ^{aA}	0,742	57,66 ^{aA}	0,973	57,33 ^{aA}	1,336
Przechowywanie chłodnicze [24h]	58,43 ^{aA}	1,461	58,64 ^{aB}	0,617	59,08 ^{aB}	0,408	58,24 ^{aA}	1,237

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Tabela 34. Zmiany parametru a* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania

Czas naświetlania [min.]	Materiał badany							
	nSzi	nSzi-GG	nSzi-GT	nSzi-GK	nSzi	nSzi-GG	nSzi-GT	nSzi-GK
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Czas przechowywania								
1. dzień								
5	16,00 ^{aB}	0,646	16,17 ^{aB}	0,504	16,34 ^{aE}	0,525	16,39 ^{aD}	0,531
35	15,27 ^{aCD}	0,558	15,43 ^{aC}	0,402	15,53 ^{aD}	0,417	15,60 ^{aC}	0,410
65	14,76 ^{aBC}	0,486	14,88 ^{aB}	0,404	14,89 ^a	0,351	14,98 ^{aB}	0,382
95	14,40 ^{aAB}	0,495	14,48 ^{aB}	0,362	14,46 ^{aB}	0,304	14,58 ^{aB}	0,267
125	14,04 ^{aA}	0,156	14,07 ^{aA}	0,103	14,05 ^{aA}	0,066	14,10 ^{aA}	0,085
Przechowywanie chłodnicze [24h]	13,69 ^{aA}	0,765	13,71 ^{aA}	0,715	13,54 ^{aA}	0,575	13,66 ^{aA}	0,603
10. dzień								
5	16,40 ^{aE}	0,405	16,67 ^{aBE}	0,109	16,74 ^{aBE}	0,144	16,79 ^{aE}	0,098
35	15,04 ^{aD}	0,181	15,32 ^{aBD}	0,345	15,32 ^{aBD}	0,372	15,49 ^{aD}	0,396
65	13,83 ^{aBC}	0,386	14,06 ^{aBC}	0,091	13,95 ^{aC}	0,088	14,18 ^{aC}	0,104
95	13,12 ^{aAB}	0,445	13,26 ^{aAB}	0,215	13,22 ^{aB}	0,161	13,47 ^{aB}	0,188

cd. tabeli 34

Czas naświetlania [min.]	Material badany					
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
125	12,87 ^{aA}	0,155	12,93 ^{aA}	0,147	12,86 ^{aA}	0,180
Przechowywanie chłodnicze [24h]						
	13,36 ^{aAB}	0,297	13,45 ^{aB}	0,139	13,22 ^{aB}	0,080
20. dzień						
5	16,00 ^{aD}	0,602	16,08 ^{aD}	0,541	16,15 ^{aE}	0,508
35	15,19 ^{aCD}	0,825	15,27 ^{aC}	0,714	15,24 ^{aD}	0,705
65	14,47 ^{aBC}	0,706	14,48 ^{aBC}	0,530	14,43 ^{aC}	0,510
95	13,93 ^{aAB}	0,656	13,97 ^{aAB}	0,496	13,83 ^{aBC}	0,430
125	13,56 ^{aA}	0,677	13,54 ^{aA}	0,498	13,41 ^{aAB}	0,456
Przechowywanie chłodnicze [24h]						
	13,54 ^{aA}	0,469	13,50 ^{aA}	0,414	13,08 ^{aA}	0,127

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Tabela 35. Zmiany parametru b* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania

Czas naświetlania [min.]	Material badany					
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Czas przechowywania						
1. dzień						
5	6,24 ^{aA}	0,092	6,85 ^{aA}	0,072	6,95 ^{aA}	0,088
35	7,00 ^{aB}	0,177	7,63 ^{aB}	0,180	7,65 ^{aB}	0,151
65	7,49 ^{aC}	0,318	8,05 ^{aBC}	0,156	8,17 ^{aC}	0,144
95	7,62 ^{aCD}	0,185	8,30 ^{aD}	0,166	8,32 ^{aC}	0,129

cd. tabeli 35

Czas naświetlania [min.]	Material badany					
	nSzi		nSzi-GG		nSzi-GT	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Czas przechowywania						
125	7,88 ^{ab}	0,230	8,50 ^{bd}	0,161	8,74 ^{bd}	0,278
Przechowywanie chłodnicze [24h]	7,81 ^{acD}	0,270	8,32 ^{bd}	0,198	8,59 ^{cd}	0,233
10. dzień						
5	6,62 ^{aA}	0,383	7,33 ^{bA}	0,150	7,27 ^{bA}	0,188
35	7,55 ^{aB}	0,224	8,19 ^{bb}	0,332	8,13 ^{bb}	0,275
65	8,12 ^{aC}	0,168	8,80 ^{bC}	0,127	8,86 ^{bC}	0,172
95	8,56 ^{aD}	0,333	9,21 ^{bd}	0,267	9,15 ^{bd}	0,213
125	8,58 ^{ab}	0,158	9,20 ^{bd}	0,156	9,28 ^{cd}	0,126
Przechowywanie chłodnicze [24h]	8,62 ^{ad}	0,303	9,21 ^{bd}	0,210	9,25 ^{bd}	0,336
20. dzień						
5	6,60 ^{aA}	0,532	7,30 ^{bA}	0,382	7,27 ^{bA}	0,305
35	7,34 ^{aB}	0,543	7,98 ^{abB}	0,471	8,01 ^{bb}	0,441
65	7,72 ^{aBC}	0,578	8,44 ^{bbC}	0,298	8,41 ^{bbC}	0,318
95	7,97 ^{aBC}	0,508	8,64 ^{bCD}	0,288	8,74 ^{bCD}	0,323
125	8,12 ^{aC}	0,464	8,94 ^{bd}	0,211	8,91 ^{bd}	0,297
Przechowywanie chłodnicze [24h]	8,33 ^{aC}	0,366	8,65 ^{aBCD}	0,682	8,22 ^{aBCD}	0,887
					8,18 ^{aBCD}	0,568

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi - skrobia ziemniaczana natywna; nSzi-GG - skrobia ziemniaczana natywna z gumą guar; nSzi-GT - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tara; nSzi-GK - skrobia ziemniaczana natywna z gumą konjac; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

8.4. Załącznik 2 – Wyniki pomiaru barwy modelowych przetworów mięsnych o obniżonej zawartości chlorku sodu po naświetlaniu

Tabela 36. Zmiany parametru L* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania

Czas naświetlania [min.]	Materiał badany					
	nSzi-GT 25		nSzi-GT 50		nSzi-GT 75	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Czas przechowywania						
1. dzień						
5	62,36 ^{ab}	1,909	61,57 ^{abA}	1,968	60,61 ^{abA}	1,052
35	62,21 ^{ba}	1,943	61,47 ^{abA}	2,141	60,59 ^{abA}	1,137
65	62,04 ^{ba}	1,991	61,33 ^{abA}	2,131	60,44 ^{abA}	1,122
95	61,89 ^{ba}	1,994	61,10 ^{abA}	2,100	60,26 ^{abA}	1,099
125	61,62 ^{ba}	1,916	61,01 ^{abA}	2,081	60,06 ^{abA}	1,030
Przechowywanie chłodnicze [24h]	61,22 ^{da}	0,596	60,51 ^{ca}	0,462	59,59 ^{ba}	0,445
10. dzień						
5	61,07 ^{cAB}	0,375	60,54 ^{bcA}	0,532	60,09 ^{bb}	0,331
35	60,90 ^{cAB}	0,510	60,41 ^{bcA}	0,582	59,93 ^{baB}	0,304
65	60,72 ^{cAB}	0,569	60,23 ^{bcA}	0,639	59,78 ^{baB}	0,295
95	60,59 ^{ca}	0,590	60,08 ^{bcA}	0,691	59,64 ^{ba}	0,264
125	60,62 ^{cAB}	0,789	60,16 ^{bcA}	0,905	59,67 ^{ba}	0,199
Przechowywanie chłodnicze [24h]	61,45 ^{cb}	0,594	61,02 ^{bcA}	0,858	60,68 ^{bc}	0,233
20. dzień						
5	61,43 ^c	0,200	60,27 ^{bc}	0,354	59,87 ^{ba}	0,531
35	61,28 ^{cBC}	0,212	60,06 ^{bbc}	0,360	59,66 ^{ba}	0,531
65	61,17 ^{cABC}	0,266	59,93 ^{baBC}	0,393	59,51 ^{ba}	0,521
95	61,08 ^{cAB}	0,272	59,83 ^{baB}	0,325	59,38 ^{ba}	0,554
125	60,87 ^{ca}	0,225	59,60 ^{ba}	0,178	59,10 ^{ba}	0,701
					57,55 ^{aa}	0,559
					58,52 ^{ab}	0,779
					58,29 ^{aAB}	0,771
					58,08 ^{aAB}	0,808
					57,90 ^{aAB}	0,752
					57,55 ^{aa}	0,559

cd. tabeli 36

Czas naświetlania [min.]	Materiał badany					
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Przechowywanie chłodnicze [24h]	61,47 ^c	0,199	60,26 ^c	0,291	59,82 ^{ba}	0,597
					58,43 ^{ab}	0,767

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi-GT_25 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tura oraz 25% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_50 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tura oraz 50% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_75 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tura oraz 75% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_100 - skrobia ziemniaczana natywna z gumą tura oraz 100% dodatkami chlorku sodu; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Tabela 37. Zmiany parametru a* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania

Czas naświetlania [min.]	Materiał badany					
	nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Czas przechowywania						
1. dzień						
5	14,96 ^{ab}	0,117	15,17 ^{bd}	0,115	15,40 ^{bc}	0,450
35	14,03 ^c	0,107	14,30 ^{bc}	0,107	14,54 ^{bb}	0,428
65	13,53 ^{ab}	0,161	13,80 ^{bb}	0,153	14,08 ^{bb}	0,509
95	13,17 ^a	0,169	13,45 ^{ba}	0,247	13,72 ^{ba}	0,580
125	12,93 ^a	0,249	13,14 ^a	0,290	13,44 ^a	0,649
Przechowywanie chłodnicze [24h]	12,22 ^a	1,345	12,43 ^a	1,331	12,79 ^a	1,058
					13,45 ^{ba}	1,442
10. dzień						
5	14,59 ^{ab}	0,241	14,69 ^{ab}	0,262	14,80 ^{ae}	0,166
35	13,42 ^c	0,298	13,56 ^c	0,298	13,67 ^{ab}	0,138
65	12,72 ^{ab}	0,314	12,83 ^{ab}	0,269	12,96 ^a	0,147
95	12,25 ^a	0,324	12,38 ^a	0,263	12,50 ^a	0,146
125	11,99 ^a	0,274	12,13 ^a	0,219	12,21 ^a	0,171
					12,92 ^{ba}	0,321

cd. tabeli 37

Czas naświetlania [min.]		Materiał badany					
		nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75	
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Przechowywanie chłodnicze [24h]		Czas przechowywania					
		20. dzień					
5		14,43 ^{ad}	0,169	14,66 ^{abd}	0,229	14,80 ^{be}	0,140
35		13,08 ^{ac}	0,371	13,36 ^{abc}	0,405	13,45 ^{bd}	0,080
65		12,32 ^{ab}	0,478	12,60 ^{ab}	0,490	12,71 ^{abc}	0,187
95		11,77 ^{ab}	0,511	12,05 ^{abab}	0,496	12,15 ^{abb}	0,212
125		11,20 ^{aa}	0,699	11,50 ^{aa}	0,629	11,61 ^{aa}	0,375
Przechowywanie chłodnicze [24h]		11,47 ^{aa}	0,398	11,88 ^{aba}	0,379	12,00 ^{bb}	0,084
						12,53 ^{ba}	0,750

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi-GT_25 - skrobka ziemniaczana natywna z gumą tarta oraz 25% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_50 - skrobka ziemniaczana natywna z gumą tarta oraz 50% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_75 - skrobka ziemniaczana natywna z gumą tarta oraz 75% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_100 - skrobka ziemniaczana natywna z gumą tarta oraz 100% dodatkami chlorku sodu; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

Tabela 38. Zmiany parametru b* przetworów pod wpływem naświetlania oraz czasu przechowywania

Czas naświetlania [min.]		Materiał badany					
		nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75	
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
		Czas przechowywania					
		1. dzień					
5		7,74 ^{ba}	0,093	7,64 ^{aba}	0,211	7,55 ^{aa}	0,150
35		8,56 ^{bb}	0,203	8,25 ^{ab}	0,238	8,13 ^{ab}	0,218
65		8,98 ^{bc}	0,260	8,61 ^{ac}	0,190	8,51 ^{ac}	0,244
95		9,20 ^{bc}	0,263	9,01 ^{abd}	0,223	8,87 ^{ab}	0,236
125		9,56 ^{bd}	0,242	9,19 ^{ad}	0,256	9,14 ^{ab}	0,186
						7,48 ^{aa}	0,262
						8,11 ^{ab}	0,150
						8,50 ^{ac}	0,170
						8,79 ^{ab}	0,144
						9,02 ^{ab}	0,148

cd. tabeli 38

Czas naświetlania [min.]		Material badany							
		nSzi-GT_25		nSzi-GT_50		nSzi-GT_75		nSzi-GT_100	
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Przechowywanie chłodnicze [24h]		Czas przechowywania							
		10. dzień							
5		7,68 ^{ba}	0,060	7,61 ^{aba}	0,096	7,62 ^{aba}	0,167	7,45 ^{aa}	0,193
35		8,61 ^{bb}	0,138	8,49 ^{abb}	0,079	8,49 ^{abb}	0,081	8,42 ^{ab}	0,121
65		9,16 ^{bc}	0,209	9,04 ^{bc}	0,073	9,04 ^{abc}	0,132	8,90 ^{scD}	0,103
95		9,46 ^{bd}	0,191	9,35 ^{abd}	0,114	9,33 ^{abd}	0,143	9,24 ^{ae}	0,106
125		9,47 ^{cd}	0,388	9,26 ^{cd}	0,322	9,24 ^{cd}	0,360	9,13 ^{abE}	0,307
Przechowywanie chłodnicze [24h]		20. dzień							
5		7,84 ^{ba}	0,085	7,77 ^{aba}	0,156	7,64 ^{aa}	0,188	7,64 ^{aa}	0,177
35		8,93 ^{ab}	0,210	8,85 ^{ab}	0,268	8,76 ^{ab}	0,298	8,71 ^{ab}	0,316
65		9,34 ^{ac}	0,221	9,33 ^{ac}	0,221	9,20 ^{ac}	0,291	9,20 ^{ac}	0,291
95		9,64 ^{ad}	0,228	9,61 ^{ad}	0,281	9,53 ^{cd}	0,327	9,52 ^{cd}	0,348
125		9,98 ^{ae}	0,247	9,93 ^{ad}	0,408	9,82 ^{ad}	0,458	9,84 ^{ad}	0,498
Przechowywanie chłodnicze [24h]		9,56 ^{scD}	0,254	9,42 ^{ac}	0,206	9,32 ^{ac}	0,291	9,28 ^{ac}	0,307

$\bar{x}$ - wartość średnia; SD - odchylenie standardowe; nSzi-GT_25 - skrobia ziemniaczana natywina z gumą tara oraz 50% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_50 - skrobia ziemniaczana natywina z gumą tara oraz 50% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_75 - skrobia ziemniaczana natywina z gumą tara oraz 75% dodatkami chlorku sodu; nSzi-GT_100 - skrobia ziemniaczana natywina z gumą tara oraz 100% dodatkami chlorku sodu; a, b, c... - wartości oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$); A, B, C... - wartości oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie ($p \geq 0,05$).

8.5. Załącznik 3 – Ankieta oceny organoleptycznej dla II etapu pracy

Metryczka:

Wiek:

Płeć:

Instrukcja oceny:

Masz przed sobą próbkę kontrolną oznaczoną nSzi i 3 próbki badane: nSzi-GG, nSzi-GT, nSzi-GK. Oceń próbkę kontrolną. Zaznacz odczuwane wrażenia smakowe wstawiając pionową kreskę na skali. Analogicznie postępuj z kolejnymi próbkami. **Przed rozpoczęciem oceny i pomiędzy oceną kolejnej próbki przeplucz usta wodą.**

Karta oceny:

Zaznacz na skali **kruchość** ocenianych próbek



Zaznacz na skali **twardość** ocenianych próbek



Zaznacz na skali **soczystość** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień **związania plastra** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień pożądalności **smaku** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień pożądalności **zapachu** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień pożądalności **barwy** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień pożądalności **wyglądu na przekroju** ocenianych próbek



8.6. Załącznik 4 – Ankieta oceny organoleptycznej dla III etapu pracy

Metryczka:

Wiek:

Płeć:

Instrukcja oceny:

Masz przed sobą próbkę kontrolną oznaczoną nSzi-GT_100 i 3 próbki badane: nSzi-GT_25, nSzi-GT_50, nSzi-GT_75. Oceń próbkę kontrolną. Zaznacz odczuwane wrażenia smakowe wstawiając pionową kreskę na skali. Analogicznie postępuj z kolejnymi próbkami. **Przed rozpoczęciem oceny i pomiędzy oceną kolejnej próbki przeplucz usta wodą.**

Karta oceny:

Zaznacz na skali **kruchość** ocenianych próbek



Zaznacz na skali **twardość** ocenianych próbek



Zaznacz na skali **soczystość** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień **związania plastra** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień pożądalności **smaku** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień pożądalności **słoności** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień pożądalności **zapachu** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień pożądalności **barwy** ocenianych próbek



Zaznacz na skali stopień pożądalności **wyglądu na przekroju** ocenianych próbek

