



**UNIwersytet
PRZYRODNICZY
WE WROCLAWIU**

WYDZIAŁ PRZYRODNICZO-TECHNOLOGICZNY

mgr inż. Tobiasz Wysoczański

**Analiza możliwości zastosowania cech elektrycznych do oceny
jakości wybranych soków owocowych i warzywnych**

Analysis of the applicability of electrical characteristics for the quality
assessment of selected fruit and vegetable juices

**Praca doktorska
wykonana pod kierunkiem:
Promotor: dr hab. inż. Katarzyna Pentoś**

Wrocław, 2020

Niniejszą pracę pragnę zadedykować pamięci Dety Łuczyckiej

Spis treści

1. Wstęp	4
2. Przegląd literatury	6
2.1 Przetwory z owoców i warzyw	6
2.2 Właściwości prozdrowotne soków	9
2.3 Właściwości elektryczne materiałów pochodzenia biologicznego	14
2.4 Analiza właściwości elektrycznych wybranych materiałów pochodzenia biologicznego	21
2.5 Falszowanie produktów spożywczych	24
3. Cel pracy	30
4. Materiał badawczy i metodyka	31
4.1 Materiał badawczy	31
4.2 Badania cech chemicznych soku	32
4.3 Badania cech elektrycznych soku	33
4.4 Metody statystyczne	36
5. Wyniki badań i ich omówienie	37
5.1 Cechy chemiczne badanych soków	37
5.2 Zależność cech elektrycznych badanych soków od częstotliwości	39
5.3 Analiza możliwości wykorzystania parametrów elektrycznych soków do wykrywania obecności dodatków do żywności	47
6. Dyskusja	105
7. Wnioski	109
Literatura	110
Spis tabel	120
Spis rysunków	121

1. Wstęp

Konsument ma do dyspozycji szeroką gamę produktów; w chwili dokonywania zakupu podejmuje trudną decyzję jaki produkt będzie tym właściwym. Często decyduje cena czy oglądane reklamy, a także wygląd opakowania oraz panująca moda. Jednak coraz częściej konsumenci zwracają uwagę również na skład produktów oraz jakość, a co za tym idzie – wybierają określonych producentów czy też znane marki.

Ostatnio zmienił się poziom zaufania oraz stan świadomości konsumenckiej (Gellynck, 2001). Zdarza się, że skład produktów dostępnych na rynku odbiega od opisu przedstawionego na etykiecie. Produkty te są nazywane produktami zafałszowanymi, czyli takimi, które wprowadzają potencjalnego konsumenta w błąd poprzez zamianę poszczególnych składników produktu składnikami o mniejszej wartości. Do fałszowania żywności dochodziło już od stuleci (Kowalczyk, 2010). Mamy do czynienia z wieloma sposobami fałszowania żywności – definicje zafałszowań przedstawiane są od wielu lat w literaturze (Krauze, 1975). Z fałszerstwem produktu mamy do czynienia, gdy cechami zewnętrznymi stwarza on pozory niezgodne z tym, co w istocie zawiera (Śmiechowska, 2013). W myśl ustawy (Dz. U. 2007, Nr 121, poz. 842) o bezpieczeństwie żywności i żywienia można dokonać podziału artykułów spożywczych niewłaściwej jakości na:

- środki spożywcze zafałszowane,
- środki spożywcze szkodliwe dla życia lub zdrowia człowieka,
- środki spożywcze zatrute.

Produkt spożywczy uważany jest za zafałszowany w momencie kiedy to:

- dodano do niego substancje zmniejszające jego skład lub obniżające jego wartość odżywczą,
- odjęto składniki lub zmniejszono zawartość jednego lub kilku składników decydujących o wartości odżywczej lub innej właściwości środka spożywczego,
- dokonano zabiegów, które ukryły jego rzeczywisty skład lub nadały mu wygląd środka spożywczego o należytej jakości,
- niezgodnie z prawdą podano jego nazwę, skład, datę lub miejsce produkcji, termin przydatności do spożycia lub datę minimalnej trwałości albo w inny sposób został nieprawidłowo oznakowany.

Produkty spożywcze, należące do najczęściej fałszowanych, wraz ze sposobem ich fałszowania zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Najczęściej fałszowane produkty spożywcze.

Falszowany produkt	Sposób fałszowania
Oleje roślinne	- mieszanie olejów - nieprawdziwe dane o pochodzeniu
Oliwa	- dodatek olejów roślinnych - mieszanie różnych gatunków oliwy - nieprawdziwe dane o pochodzeniu
Wino	- dodatek sacharozy lub syropów cukrowych - mieszanie win różnych odmian - nieprawdziwe dane o pochodzeniu
Miód	- dodatek sacharozy lub syropów cukrowych - mieszanie odmian miódów - nieprawdziwe dane o pochodzeniu
Soki owocowe	- dodatek sacharozy lub syropów cukrowych - dodatek wody - mieszanie soków z różnych owoców - sok odtworzony zamiast soku naturalnego
Whisky, koniaki	- mieszanie drogich, markowych alkoholi z tańszymi - nieprawdziwe dane o pochodzeniu
Kawa	- nieprawdziwe dane o pochodzeniu - niedeklarowany dodatek kawy zielnej do palonej - dodatek upalonych surogatów do kawy mielonej
Herbata	- nieprawdziwe dane o pochodzeniu - nieprawdziwe dane o jakości
Przyprawy	- dodatek innych roślin - nadmierny dodatek soli do przyprawy - zmiany ilościowe i jakościowe w przyprawach

źródło: Opracowanie własne na podstawie Śmiechowska, 2013.

Artykułem spożywczym, będącym w czołówce produktów fałszowanych, są soki owocowe. Duży nacisk na jakość produkowanych soków oraz nektarów wywiera na producentach Krajowa Unia Producentów Soków (KUPS). To właśnie dzięki jej działalności w Polsce został wprowadzony Kodeks Praktyki AIJN (Stowarzyszenia Przemysłu Soków i Nektarów z Owoców i Warzyw Unii Europejskiej). Kodeks Praktyki AIJN został dobrowolnie zaakceptowany przez producentów soków w UE. Podaje on metody jakie należy stosować w ocenie jakości soków oraz nektarów, oraz wskazuje jak należy interpretować uzyskane wyniki. Podmiotem, który powstał również dzięki działalności KUPS jest Dobrowolny System Kontroli Soków i Nektarów (DSK). Ma on na celu zapewnienie uczciwej konkurencji pomiędzy producentami, którzy nie powinni rywalizować kosztem jakości produktu. Dbą on również o budowanie i podtrzymywanie odpowiedniego wizerunku soków i nektarów jako produktów naturalnych, wysokiej

jakości. W ramach działalności DSK został powołany Zespół Techniczny, w skład którego wchodzi niezależni wybitni eksperci znający branżę przemysłu sokowego, którzy zostali przeszkoleni przez Europejski System Kontroli. Zadaniem Zespołu jest wykrywanie nieprawidłowości oraz podejmowanie działań w sytuacjach zasadnych. DKS kontroluje obecnie cały rynek soków, nektarów oraz napojów z owoców i warzyw.

Stosowanie kontroli jakości soków i przetworów owocowych ma duże znaczenie dla konsumenta. Soki mogą zawierać duże ilości substancji szkodliwych oraz trujących. Często wykorzystywane przy produkcji soków są konserwanty, takie jak kwas benzoowy (E210) i benzoesany (E211, E212, E213). Substancje te mogą powodować reakcje alergiczne, jak również mogą mieć wpływ na podrażnienie śluzówki żołądka oraz jelit. Substancjami szkodliwymi są również preparaty zastępujące cukier, takie jak aspartam (E951), czy też sacharyna (E954). Aspartam zawiera aż 6 związków chemicznych, w tym również metanol, który przechodzi w aldehyd mrówkowy, środek ten uznawany jest za rakotwórczy; może powodować choroby układu nerwowego, białaczkę raka płuc i piersi. Substancją słodzącą powszechnie wykorzystywaną do słodzenia soków oraz nektarów jest syrop glukozowo-fruktozowy. Stanowi on tańszy zamiennik cukru białego. Powoduje jednak szereg szkodliwych dla człowieka zjawisk, między innymi otyłość, podwyższony poziom złego cholesterolu oraz trójglicerydów; jego spożywanie przyczynia się do powstawania cukrzycy typu drugiego.

2. Przegląd literatury

2.1 Przetwory z owoców i warzyw

Pomiędzy produktami płynnymi produkowanymi z owoców oraz warzyw jest wiele różnic. Jednoznaczne definicje tych produktów zostały określone poprzez dyrektywę unijną (DR UE 2012/12/UE).

Sok owocowy to produkt zdolny do fermentacji, ale niesfermentowany, otrzymany z jadalnej części owocu jednego lub większej liczby gatunków zdrowych i dojrzałych, świeżych, schłodzonych lub zmrożonych owoców, posiadający charakterystyczny kolor, aromat i smak typowy dla soku z danego owocu, z którego produkt jest wytwarzany. Zagęszczone soki owocowe to produkty otrzymane z soku owocowego jednego lub większej liczby gatunków owoców poprzez fizyczne usunięcie określonej ilości zawartej w nim wody. W przypadku gdy produkt przeznaczony jest do bezpośredniego spożycia, musi

zostać usunięte co najmniej 50% zawartości wody. Produkt otrzymany z użyciem dyfuzji wody z miążgi całego owocu, z którego sok nie może zostać otrzymany żadnymi metodami fizycznymi, lub też został otrzymany poprzez odwodnienie całego owocu, nazywany sokami owocowymi produkowanymi z użyciem ekstrakcji wodnej. Produkty otrzymane z soku owocowego jednego lub większej liczby gatunków owoców poprzez fizyczne usunięcie w zasadzie całej zawartości wody, to soki odwodnione lub soki owocowe sproszkowane. Nektar owocowy to produkt zdolny do fermentacji, ale niesfermentowany, który jest otrzymany przez dodanie wody z dodatkiem lub bez dodatku cukrów lub miodu do przecieru owocowego lub zagęszczonego przecieru owocowego lub do mieszanki tych produktów (DR UE 2012/12/UE).

Wytwarzanie soków to jedna z najbardziej popularnych metod, przetwarzania owoców i warzyw w celu zwiększenia ich dostępności. W Polsce produkcja soków zmieniała się wraz z rozwojem technologii. W przeszłości były wytwarzane na potrzeby własne, jednak wraz ze wzrostem konsumpcji poszukiwano metod oraz sposobów wytwarzania soków na dużą skalę. Powiązane to było z produkcją soków z soków zagęszczonych. Ich produkcja rozpoczęła się w Polsce w 1961 roku w Tymbarku, gdzie w Zakładach Przemysłu Owocowo-Warzywnego została zainstalowana pierwsza stacja służąca do produkcji. Od momentu jej instalacji przemysł ten zaczął bardzo szybko się rozwijać. Pod koniec lat 90-tych Polska stała się znaczącym producentem koncentratu jabłkowego na świecie. Dzięki programom pomocowym związanych z akcesją Polski do Unii Europejskiej oraz tuż po dołączeniu do wspólnoty, Polska podwoiła moc produkcyjną zagęszczonych soków owocowych. Polski przemysł rolno-spożywczy stał się jednym z najbardziej nowoczesnych i rozwiniętych na świecie (Trojanowicz, 2009).

Soki możemy podzielić, wprowadzając inne kryteria, takie jak rodzaj surowca, z którego zostały wytworzone, rodzaj półproduktu czy też sposób konserwacji. W zależności od kryterium soki dzielimy:

1) ze względu na rodzaj surowca:

- soki owocowe,
- soki warzywne,
- soki owocowo-warzywne;

2) ze względu na rodzaj półproduktu:

- soki bezpośrednie tzw. (Not From Concentrate), w tym również soki świeże,

- soki odtworzone z soku lub przecieru zagęszczonego,
- 3) ze względu na obróbkę termiczną:
- soki niepasteryzowane, tzw. jednodniowe, wymagające dystrybucji i przechowywania w warunkach chłodniczych, np. marchwiowy,
 - soki pasteryzowane w niskiej temperaturze (okres przydatności do spożycia kilka tygodni),
 - soki pasteryzowane (okres przydatności do spożycia kilka miesięcy);
- 4) ze względu na wygląd i konsystencję:
- soki klarowne np. sok jabłkowy,
 - soki naturalnie mętne np. pomarańczowy, sok grejpfrutowy.

Cechy soków są również normalizowane poprzez Polską Normę, która jasno określa takie cechy jak barwa, zapach, smak oraz wygląd. Zestawienie cech oraz stawiane im wymagania zostały przedstawione w tabeli 2. W zależności od rodzaju owoców, z jakich wytworzono sok, powinien on spełniać założenia Polskiej Normy.

W tabeli 3. zostały przedstawione zawartości ekstraktu oraz kwasowości ogólnej dla poszczególnych rodzajów soków.

Tabela 2. Określenie poszczególnych cech soków wg PN-A-75951:1994; PN-A-75959:1997.

Cechy	Wymagania
Barwa	Właściwa dla soków z użytych owoców
Zapach	Charakterystyczny dla użytych owoców, bez zapachów obcych
Smak	Charakterystyczny dla użytych surowców, bez posmaków obcych
Wygląd	Płyn klarowny / opalizujący lub naturalnie mętny; rozwarstwienie nie stanowi wody

źródło: PN-A-75951:1994; PN-A-75959:1997

Tabela 3. Określenie zawartości ekstraktu oraz kwasowości ogólnej wg PN-A-75951:1994; PN-A-75959:1997.

	Zawartość ekstraktu ogólnego oznaczona refraktometrycznie, % (m/m), nie mniej niż:	Kwasowość ogólna w przeliczeniu na kwas cytrynowy % (g/l), nie mniej niż:
Sok jabłkowy	10,0	4,5
Sok pomarańczowy	11,0	5,8-15,4
Sok grejpfrutowy	9,7	7,7-18,6
Sok ananasowy	12,5	4,0-11,0
Inne soki jednoowocowe	11,0	Nie normalizuje się
Inne soki wieloowocowe	11,0	

źródło: PN-A-75951:1994; PN-A-75959:1997.

2.2 Właściwości prozdrowotne soków

Właściwe odżywianie się człowieka związane jest z dostarczaniem codziennej racji pokarmowej o określonej ilości niezbędnych składników pokarmowych. Dostosowanie pokarmów zależy od organizmu, z uwzględnieniem wieku, masy ciała, płci oraz warunków życiowych. Dieta powinna być odpowiednio zbilansowana, urozmaicona oraz pełnowartościowa (Markowski i in., 2012). W Polsce spożycie owoców w porównaniu do innych krajów Europejskich jest stosunkowo niskie. Dane FAOSTAT wskazują, iż przeciętny Europejczyk spożywa około 100 kg owoców rocznie, natomiast średnia światowa to 70 kg rocznie. Polacy na tle średniej europejskiej wypadają bardzo słabo – roczne spożycie owoców na osobę to zaledwie połowa spożycia przeciętnego Europejczyka – 50 kg na osobę na rok (Strojewska, 2013). Według zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, 2003) codzienna dieta powinna zawierać 400 g owoców i warzyw dziennie, nie wliczając w to ziemniaków ani bulw zawierających skrobię. Owoce i warzywa, a także ich przetwory, mogą uchronić ludzi przed chorobami cywilizacyjnymi. Wśród konsumentów można zaobserwować tendencję wzrostową w spożyciu owoców i warzyw, co powoduje korzystny wpływ na organizm człowieka, jak również wspiera poprawne funkcjonowanie oraz sprawność. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) w

raporcie z 2003 roku oszacowała, iż gdyby wyżej wskazana ilość owoców i warzyw była spożywana przez każdego z konsumentów, mogłoby to uchronić około 2,7 mln ludzi rocznie przed śmiercią wywołaną chorobami nowotworowymi, układu krążenia, otyłością czy też cukrzycą (Mollace i in., 2011, Boffetta i in., 2010). W roku 2009 WHO wskazało, iż spożywanie produktów pochodzenia roślinnego ma duże znaczenie w kontekście ograniczenia ryzyka występowania niektórych typów nowotworów oraz w znaczący sposób mogłoby to ograniczyć choroby sercowo-naczyniowe (Espin, 2007). Pomimo zaleceń światowych organizacji, jak również pomimo promocji zdrowej żywności, nie każdy zdaje sobie sprawę, że urozmaicona dieta w owoce i warzywa dostarcza niezbędne witaminy a także błonnik oraz składniki mineralne. Nie tylko świeże owoce i warzywa, ale także ich przetwory dostarczają do ludzkiego organizmu wiele prozdrowotnych substancji, których z trudem szukać w odpowiednikach farmakologicznych. Do grupy tych substancji z pewnością należy zaliczyć polifenole czy też fitoestrogeny (Markowski i in., 2012).

Odżywianie odgrywa główną rolę w rozwoju organizmów żywych, wspiera endogenne systemy obronne oraz dostarcza związki, korzystnie wpływające na zdrowie człowieka. Wielu badaczy wśród substancji prozdrowotnych w sokach wskazuje flawonoidy (przeciwutleniacze) ze względu na ich niekwestionowane właściwości biologiczne (Barreca i in., 2013, 2016, Bellocco i in., 2009, Hollman i in., 2010, Patil i in., 2005, Smeriglio i in., 2016, Tellone i in., 2012). Owoce i warzywa zawierają wiele cennych składników mineralnych oraz witamin, a także substancji o charakterze witamin. Do grupy tych związków należy zaliczyć związki polifenolowe, których największą część stanowią flawonoidy. Występowanie grup flawonoidów jest różna w zależności od rodzaju owoców i warzyw. Owocami zawierającymi duże ilości flawonoidów są cytrusy. Do tej grupy owoców możemy zaliczyć pomarańcze, grejpfruty, cytryny, limonki oraz mandarynki. Najlepszą formą przyswajania składników odżywczych jest spożywanie soków świeżych (Barreca i in., 2017).

Flawonoidy cytrusowe mają wysokie właściwości przeciwutleniające oraz przeciwzapalne, odgrywają istotną rolę w profilaktyce chorób związanych ze stresem oraz stanami zapalnymi organizmu. Aktywność antyoksydacyjna flawonoidów zależy głównie od ich budowy wewnętrznej oraz pochodzenia (Barreca i in., 2011a, 2011b, 2013, 2014). Zawarte w sokach cytrusowych substancje, wykazują dużą aktywność przeciwbakteryjną oraz przeciw drobnoustrojową (Daglia, 2012, Moon i in., 2013).

Nie należy jednak zapominać o rodzimych owocach, których spożywanie ma również korzystny wpływ na zdrowie człowieka. Jednym z najpopularniejszych owoców

produkowanym w Polsce na ogromną skalę są jabłka. Polska jest potentatem w produkcji jabłek w Unii Europejskiej, dla przykładu w 2013 zbiory tych owoców stanowiły 26% produkcji jabłek w całej Unii Europejskiej co dało 3,1 mln ton. Jabłka należą do najczęściej spożywanego owoców na świecie (GUS, 2015). W Polsce są spożywane jako owoce świeże jak również produkty przetworzone w postaci soków, konfitur, koncentratów owoców w puszkach czy też suszonych (Chabłowska i in., 2013, Turek i in., 2016). Duża wartość prozdrowotna jabłek wynika również z zawartości w nich rozpuszczalnej frakcji błonnika pokarmowego, będącego istotnym elementem zdrowej diety. Soki jabłkowe są bogatym źródłem makroelementów, takich jak fosfor czy potas, w mniejszych ilościach także występuje magnez, wapń sód i cynk (Abid i in., 2014). Zwracając uwagę na dużą dostępność jabłek na polskim rynku oraz stosunkowo niewysoką cenę w stosunku do egzotycznych owoców, jabłka stanowią główne źródło przeciwutleniaczy polskiego konsumenta (Duda-Chodak i in. 2010). Jabłka powinny być spożywane przede wszystkim przez osoby cierpiące na cukrzycę typu II. Owoce te posiadają dużą aktywność przeciwo proliferacyjną. Jest to zdolność, która powoduje spowalnianie procesu utleniania wolnych kwasów tłuszczowych, co przekłada się na obniżenie poziomu cholesterolu we krwi (Francini i Sebastiani, 2013, Oszmiański, 2009). Na polskim rynku możemy również spotkać sporą grupę innych owoców mniej popularnych, mających właściwości prozdrowotne. Niewątpliwie do tej grupy należy zaliczyć aronię. Aronia najczęściej jest spożywana w postaci soku. Stanowi on bogactwo związków bioaktywnych, mających duży wpływ na zdrowie człowieka. Sok z aronii ma działanie przeciwzapalne (Apple i in., 2015), ma również pozytywne działanie w ograniczeniu zakażenia dróg moczowych (Handeland, 2014). Następną z grup owoców, dostarczających do organizmu człowieka ważnych substancji odżywczych, są winogrona. Owoce te głównie są kojarzone z produkcją winiarską, jednakże wytwarzane są również z nich soki. Charakteryzują się one dużą ilością związków bioaktywnych, do grupy której należą polifenole oraz mikroelementy. Spożywając soki winogronowe dostarczamy do organizmu mangan, cynk, żelazo, miedź i glin (Toaldo i in., 2015). Bardzo istotną substancją znajdującą się sokach tuż obok polifenoli jest witamina C. To ważny przeciwutleniacz, którego źródłem w diecie człowieka są owoce i warzywa. Witamina C pełni również rolę modulatora odporności, ponieważ bierze udział w wytwarzaniu immunoglobulin, te natomiast mają istotny wpływ na rozwój chorób wirusowych i bakteryjnych (Gasińska i Piłka, 2008). Witamina C bierze również udział wielu procesach życiowych człowieka, jej obecność w organizmie zwiększa wchłanianie wapnia, który jest

nierozłącznym elementem produkcji krwinek czerwonych, wpływa wspomagająco w leczeniu anemii. Witamina C, nazywana również kwasem askorbinowym, wykazuje bardzo pozytywne efekty w leczeniu dolegliwości stawów, jej obecność korzystnie wpływa na wytwarzanie kolagenu w organizmie (Wawer, 2008). W tabeli 4. przedstawiono zawartość witaminy C w świeżych sokach owocowych, jak również przedstawione zostało dobowe zapotrzebowanie witaminy C dla człowieka.

Tabela 4. Zawartość witaminy C w badanych świeżych sokach.

Rodzaj owocu	Rodzaj przetworu	Oznaczona zawartość witaminy C [mg/100ml]	Realizacja norm EAR** [%/100ml]	Realizacja norm EAR*** [%/100ml]
Pomarańcza	świeży sok	24,78 ± 0,35 (24,43 – 25,12)	42 - K 33 - M	63-50
Grejpfrut czerwony	świeży sok	16,14 ± 0,50 (15,64 – 16,64)	27 - K 21 - M	40-32
Cytryna	świeży sok	51,98 ± 0,59 (51,39 – 52,57)	87 - K 69 - M	130-104
Mandarynka	świeży sok	14,11 ± 0,46 (13,65 – 14,57)	23 - K 19 - M	35-28
Jabłko	świeży sok	3,80 ± 0,18 (3,62 – 3,98)	0,6 - K 0,5 - M	1-0,8
Gruszka	świeży sok	1,19 ± 0,14 (1,05 – 1,33)	-	-
Kiwi	świeży sok	33,90 ± 0,45 (33,45 – 34,35)	57 - K 45 - M	85-68
** - EAR dla dorosłych > 19 r. ż. (kobiety (K) – 60mg/dobę, mężczyźni (M) – 75 mg/dobę) *** - EAR dla dzieci 1-9 lat (40-50mg/dobę)				

źródło: opracowanie własne na podstawie Lebedzińska i in., 2012.

Ważnym źródłem związków bioaktywnych, dostarczanych w naszej diecie, są warzywa. Jednym z warzyw, które klasyfikuje się w spożyciu tuż za sokami owocowymi, są pomidory. Należą one do grupy produktów najchętniej spożywanych wśród przetworów owoców i warzyw we Wspólnocie Unii Europejskiej (Eurostat, 2016).

Na początku obecnego dziesięciolecia spożycie pomidorów kształtowało się na poziomie około 10 kg na osobę w stosunku do ogólnego spożycia warzyw i owoców, w tym także przetworzonych, wynoszącego około 60 kg na osobę na rok (Trajer i Dyngus, 2013). Soki pomidorowe cieszą się szczególnym powodzeniem wśród przetworów pomidorowych, zalicza się je do produktu przecierowego. Najczęściej soki produkowane są ze świeżych owoców, jednakże są również odtwarzane z zagęszczonego przecieru (Ostasiewicz i Piecyk, 2009). Pomidory w myśl ogólnych przepisów są uważane za owoc, a przepisy jakości handlowej ich wyrobów są traktowane na równi z sokami owocowymi. (Dz. U. 2013, poz. 327).

W zależności od odmiany czy też miejsca produkcji pomidory są cenionym owocem za smak, ale także za właściwości prozdrowotne. Zawierają dużą zasobność składników mineralnych, oraz witamin. Składnikami odżywczymi, które można przyswoić dzięki spożywaniu pomidorów, są między innymi potas, witamina C oraz duża ilość likopenu czyli podstawowego karotenoidu. Składniki zawarte w pomidorach mają działanie antyoksydacyjne, wiążą wolne rodniki, jak również mają pozytywny wpływ na układ krążenia, a także wykazują działanie przeciwzapalne i antynowotworowe (Gwóźdź i Gębczyński, 2015).

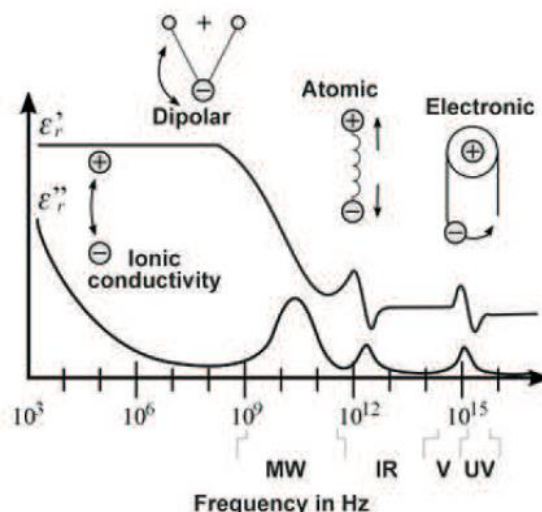
Do grupy najbardziej znanych warzyw wykorzystywanych w produkcji soków na pewno należy zaliczyć buraki. Sok z buraka zawiera dużą ilość przeciwutleniaczy, a także składników mineralnych takich jak: magnez, potas, wapń, cynk, sód czy fosfor. Należy również wspomnieć o witaminach z grupy B (biotyna, niacyna, kwas foliowy). Sok ten zawiera także sporą frakcję błonnika pokarmowego. Forma soku w przypadku buraka cechuje się dużą wygodą w spożyciu w przeciwieństwie do całego warzywa (Tarko i in., 2016). W soku z buraka są również obecne związki fenolowe oraz w niewielkiej ilości można napotkać betalain (Wruss i in., 2015).

Dużym popytem cieszy się również sok marchwiowy. Jest on napojem spożywanym na całym świecie. W ostatnich latach znacząco wzrosła jego sprzedaż, co tym samym przełożyło się na produkcję. Związane jest to z jego właściwościami bioaktywnymi (Aguiló-Aguayo i in., 2014). Dostarcza on do diety człowieka składniki o działaniu prozdrowotnym. Wśród nich możemy wymienić karotenoidy, witaminy oraz fenole (Jabbar i in., 2014). Sok marchwiowy wykazuje właściwości antyoksydacyjne, mające wpływ na wiązanie wolnych rodników w organizmie człowieka (Aadil i in., 2013).

2.3 Właściwości elektryczne materiałów pochodzenia biologicznego

Wszystkie materiały biologiczne wykazują właściwości dielektryczne. Jest to związane bezpośrednio z ich budową cząsteczkową. Struktura molekularna heterogenicznego materiału jest bezpośrednio związana z jego parametrami jakościowymi. Ze względu na unikalną strukturę molekularną każdego materiału cechy pola elektromagnetycznego również będą unikalne dla tego materiału. Wpływ na to ma korelacja właściwości dielektrycznych z właściwościami fizykochemicznymi danego materiału. Przesunięcie fazowe, czas relaksacji, tłumienie sygnału, czy też wpływ temperatury – to parametry opierające się na właściwościach, które mogą być skorelowane z właściwościami chemicznymi jak i fizycznymi materiału, takimi jak kwasowość, kolor, zawartość wody, pH, zasolenie, zawartość cukrów (Khaled i in., 2015, Skierucha i in., 2012).

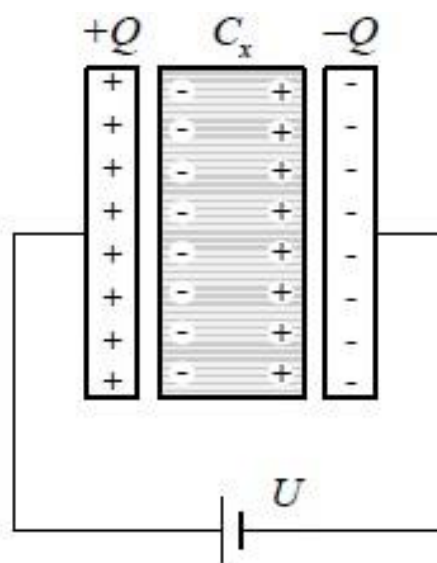
Najważniejszymi parametrami, jakimi możemy określić właściwości dielektryczne są: współczynnik strat dielektrycznych, przenikalność elektryczna, rezystywność skośna i powierzchniowa, wytrzymałość elektryczna, odporność na działanie łuku elektrycznego. Należy również zwrócić uwagę na działanie powierzchniowych prądów pędzących oraz podatność na elektryzację (Lisowski, 2004). Do grupy dielektryków należą materiały niezawierające swobodnych ładunków elektrycznych. Oporność właściwa dielektryków wynosi więcej niż $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$. Przesunięcie ładunku ujemnego elektronu względem ładunku dodatniego jądra atomowego w zewnętrznej warstwie pola elektrycznego określamy polaryzacją elektryczną indukowaną. Wskutek przesunięcia względem siebie ładunku dodatniego oraz ujemnego powstaje układ, który nazywa się dipolem. Wyróżnia się również ciała, które nie wykazują zewnętrznego pola elektrycznego, jednak znajdują się w nich obszary o spontanicznej polaryzacji, które nazywane są domenami. Ze względu na fakt, iż domeny są zorientowane przypadkowo, wypadkowa polaryzacja danego dielektryka jest równa zero. Tak zbudowane dielektryki, charakteryzujące się strukturą domenową, nazywamy ferroelektrykami. Wyróżnia się również dielektryki niepolarne. To takie, w których molekuly nie wykazują trwałych elektrycznych momentów dipolowych, a także dielektryki polarne, które w odróżnieniu od niepolarnych wykazują trwałe momenty dipolowe molekuł. Na rysunku 1. została przedstawiona zależność od częstotliwości mechanizmów polaryzacji dielektrycznej dla roztworu soli oraz wody.



Rys. 1. Zależność częstotliwościowa mechanizmów polaryzacji dielektrycznej i odpowiednie zakresy częstotliwości pola elektrycznego dla roztwórow soli i wody, źródło (Agilent, 2006).

Nie wszystkie jednak cechy mogą zostać wykorzystane do badania materiałów pochodzenia biologicznego. Najistotniejszymi parametrami elektrycznymi, które można wykorzystać do scharakteryzowania materiałów biologicznych są te, które zależą bezpośrednio od właściwości fizycznych oraz chemicznych danego materiału (Łuczycka, 2009).

W celu wyznaczenia właściwości elektrycznych materiału należy umieścić go w kondensatorze. Kondensator to układ składający się z dwóch elektrod rozdzielonych warstwą nie przewodzącą, dielektrykiem. Przykładowy układ elektrod został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Kondensator próżniowy wypełniony dielektrykiem podłączony do źródła napięcia stałego, źródło (Lisowski, 2004).

Wyróżnia się różne metody pomiarów w zależności od cech elektrycznych dielektryków:

- stałoprądowe:
 - rezystywność (rezystancja właściwa) ρ [$\Omega \cdot m$],
 - przewodność właściwa σ (konduktywność) [$S \cdot m^{-1}$],
- zmiennoprądowe:
 - współczynnik strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ [-],
 - impedancja Z [Ω],
 - przenikalność elektryczna względna ϵ [-].

W zależności od rodzaju materiałów dielektrycznych wykorzystywane są różne metody do pomiaru przenikalności elektrycznej oraz wyznaczenia współczynnika strat dielektrycznych, odpowiednio dobrane względem częstotliwości pomiarowej (Lisowski, 2004).

Częstotliwości wykorzystywane do pomiaru właściwości elektrycznych można podzielić ze względu na ich zakres:

- bardzo małe (poniżej 20 Hz),
- akustyczne (20 Hz–100 kHz),
- radiowe (100 kHz–100 MHz),
- mikrofalowe (powyżej 100 MHz).

Prąd elektryczny może przepływać przez przewodnik dzięki ruchowi nośników elektrycznych. W zależności od konduktywności σ danego przewodnika możemy określić jego zdolność do przewodzenia prądu. Konduktywność σ jest inaczej określana przewodnictwem właściwym czy też przewodnością elektryczną właściwą. W celu określenia przewodnictwa elektrycznego badanego materiału wykorzystuje się metodę prądu stałego, która polega na przepuszczeniu prądu stałego przez badaną próbkę o wyznaczonych wymiarach geometrycznych. Dzięki pomiarowi natężenia oraz napięcia prądu stałego, korzystając z prawa Ohma możemy określić wartość przewodności elektrycznej:

$$\sigma = \frac{J}{E} = \frac{1}{\rho} \quad (2.1)$$

gdzie:

- J - gęstość prądu,
- E - natężenie pola elektrycznego,
- ρ - rezystywność (rezystancja właściwa).

Po przyłączeniu do kondensatora próżniowego źródła napięcia prądu stałego U w kondensatorze zacznie gromadzić się ładunek Q_0 , przy czym:

$$Q_0 = C_0 \cdot U \quad (2.2)$$

C_0 -pojemność kondensatora próżniowego.

Dielektryk umieszczony w kondensatorze z podłączonym źródłem napięcia U powoduje polaryzację dielektryka umieszczonego wewnątrz kondensatora, wskutek czego przez obwód zaczyna płynąć prąd elektryczny I , który ma dwie składowe:

- stałą – wynikającą z przewodnictwa elektrycznego,
- zanikającą – wynikającą z polaryzacji dielektryka.

W wyniku pojawienia się składowej zanikającej przepływu prądu dochodzi do zwiększenia się ładunku Q_0 , gromadzonego na okładkach pustego kondensatora, po wypełnieniu go dielektrykiem do wartości Q . Powoduje to również wzrost pojemności kondensatora z wartości C_0 do wartości C_x .

$$C_x = \varepsilon \cdot C_0 \quad (2.3)$$

$$Q = C_x \cdot U = \varepsilon \cdot C_0 \cdot U \quad (2.4)$$

gdzie:

ε -przenikalność elektryczna względna.

Przenikalność elektryczna względna ε pozwala na określenie ilości energii elektrycznej, która została zgromadzona w jednostce objętości, w stosunku do natężenia pola elektrycznego.

W celu określenia przenikalności elektrycznej względnej wykorzystuje się stosunek pojemności C_x kondensatora wypełnionego dielektrykiem względem pojemności C_0 kondensatora próżniowego.

$$\varepsilon = \frac{C_x}{C_0} \quad (2.5)$$

Względna przenikalność elektryczna to wielkość zespolona:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j \cdot \varepsilon'' \quad (2.6)$$

gdzie:

ε' - składowa czynna względnej zespolonej przenikalności elektrycznej,

ε'' - składowa bierna względnej zespolonej przenikalności elektrycznej.

Lisowski i Tang, (Lisowski, 2004 i Tang, 2005) uważają, iż składowa czynna ε' wyraża zdolność gromadzenia energii przez kondensator w polu elektrycznym, a także ma wpływ na rozkład pola elektrycznego w materiale. Natomiast składowa bierna ε'' odpowiedzialna jest za rozpraszanie energii w efekcie działania pola elektrycznego oraz różnych mechanizmów polaryzacyjnych.

Współczynnikiem strat dielektrycznych nazywamy stosunek składowej biernej ε'' do składowej czynnej ε' . Wyrażany jest on wzorem:

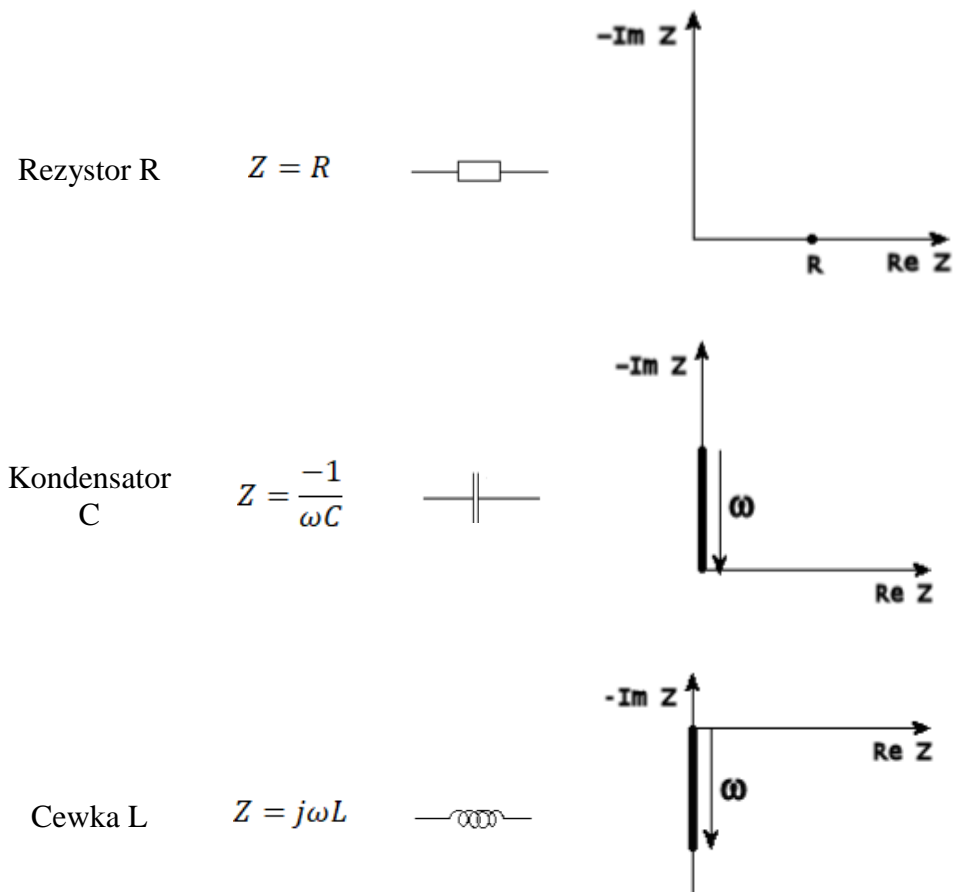
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (2.7)$$

Kątem strat dielektrycznych jest kąt δ , który stanowi dopełnienie kąta φ do wartości $\pi/2$ kąta przesunięcia fazowego względem sinusoidalnego napięcia U , dostarczonego do badanego materiału w stosunku do prądu płynącego przez ten materiał.

Według Skieruchy istnieje możliwość badania jakości materiałów przy wykorzystaniu cech dielektrycznych. Wynika to z faktu, iż właściwości dielektryczne materiału silnie korelują względem budowy cząsteczkowej danego materiału, a także jego właściwości fizykochemicznych (Skierucha i in., 2012).

W celu określenia cech dielektrycznych, na podstawie właściwości fizykochemicznych danego materiału zastosowanie znajduje spektroskopia impedancyjna. Jest to metoda pozwalająca określić zjawiska zachodzące w dielektryku podczas pomiaru. Spektroskopia impedancyjna to metoda zmiennoprądowa. Wyniki są najczęściej prezentowane w postaci wykresów Bodego oraz Nyquista. W zależności od uzyskanego kształtu można określić właściwości badanego dielektryka. Skierucha i Wilczek (Skierucha i Wilczek, 2012) oraz Paszkowski (Paszkowski i in., 2014), wykorzystywali spektroskopię impedancyjną do badań związanych z określaniem jakości żywności.

Podczas pomiarów w obwodzie elektrycznym ma miejsce wiele zjawisk. W celu odtworzenia zjawisk fizycznych zachodzących w obwodzie tworzone są obwody zastępcze. Są to obwody zbudowane z podstawowych elementów elektronicznych o odpowiednio dopasowanych właściwościach oraz parametrach. Do podstawowych elementów układów zastępczych należą rezystory, kondensatory oraz cewki przedstawione na rysunku 3.



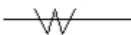
Rys. 3. Podstawowe elementy obwodów zastępczych, źródło: <http://lniedzicki.ch.pw.edu.pl/eis-pl.pdf>.

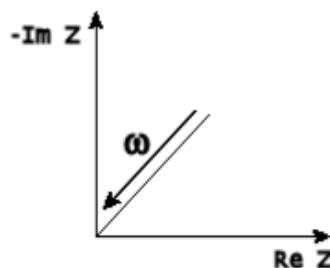
W układach zastępczych również można spotkać elementy takie jak impedancja Warburga W czy też element stałofazowy CPE (Constant Phase Element), przedstawione na rysunku 4. Element stałofazowy dotyczy dyfuzji, a także niedoskonałości powierzchni. Wyróżnia niedoskonałości elementu standardowego (RLC), w którym n mieści się w zakresie $(-1,1)$,

- $n \rightarrow 1$ - element coraz bardziej przypomina idealny kondensator ($n=1$),
- $n \rightarrow 0$ - element przypomina cechy idealnego opornika ($n=0$),
- $n \rightarrow -1$ - element staje się podobny do idealnej cewki ($n=-1$),

Natomiast dla $n=0,5$ CPE przedstawia impedancję Warburga.

Impedancja Warburga, związana jest z ograniczeniami dyfuzyjnymi układu, ściślej przybliżenia nieskończonego problemu dyfuzji układu.

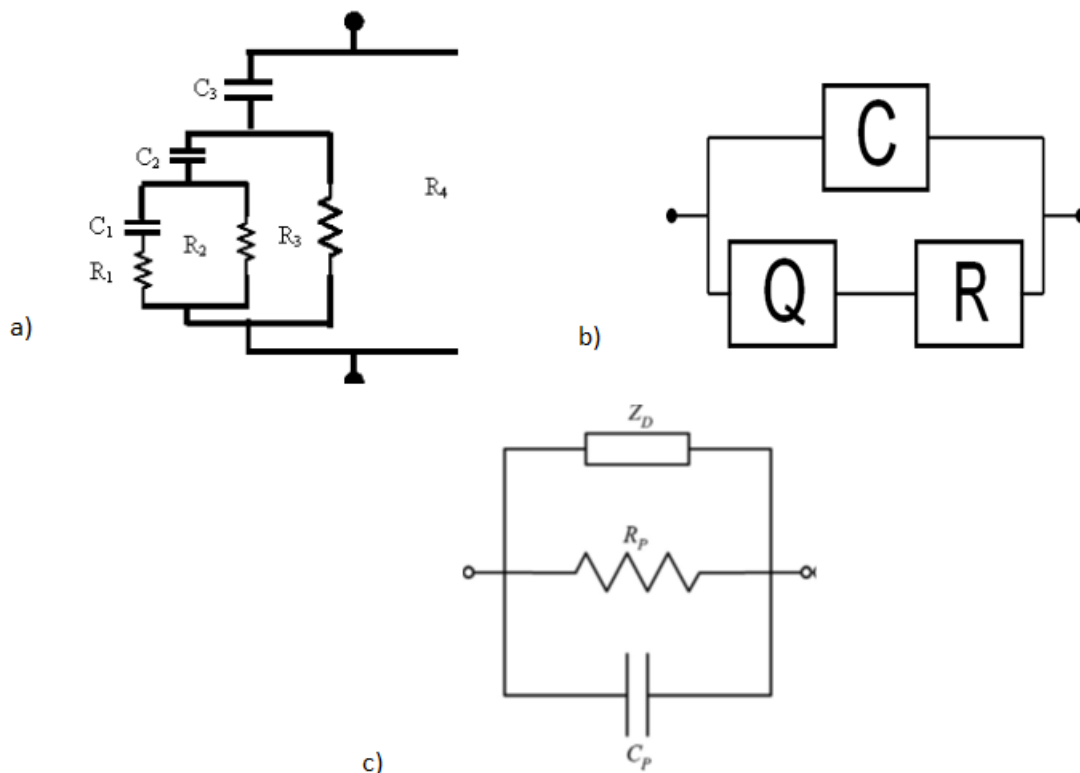
Impedancja Warburga W $Z = \frac{1}{Z_0(j\omega)^{\frac{1}{2}}}$ 



Element stałofazowy CPE $Z = \frac{1}{Z_0(j\omega)^n}$

Rys. 4. Impedancja Warburga oraz element stałofazowy CPE (Constant Phase Element), źródło: <http://lniedzicki.1ch.pw.edu.pl/eis-pl.pdf>.

Składając układy zastępcze możemy dane elementy łączyć ze sobą – równolegle lub szeregowo. Łącząc elementy szeregowo impedancja jest sumowana. Układy zastępcze tworzone są w różny sposób, tak aby jak najwierniej odzwierciedlały zjawiska fizyczne zachodzące podczas pomiaru. Z tego względu powstaje wiele układów dla różnych materiałów. Kilka z nich zostało przedstawione na rysunku 5.



Rys. 5. Elektryczne modele zastępcze. a) Zastępczy model elektryczny owoców cytrusowych, źródło: Juansa i in., 2012, b) Elektryczny model zastępczy dla roztworów wodnych cukrów, źródło: Paszkowski i in., 2013, c) Elektryczny model zastępczy dla miodów nektarowych, źródło: Scandurra i in., 2013.

2.4 Analiza właściwości elektrycznych wybranych materiałów pochodzenia biologicznego

Cechy elektryczne są często wykorzystywane do badań materiałów pochodzenia biologicznego. Wynika to z potrzeby określenia pewnych właściwości danego materiału w sposób szybki, tani oraz bezinwazyjny. W literaturze możemy napotkać wiele pozycji poświęconych wykorzystaniu cech elektrycznych w badaniach materiału biologicznego. Tego typu badania zostały wykorzystane między innymi do sprawdzania jakości olejów oraz kwasów tłuszczowych. Lizhi przeprowadził testy tłuszczy roślinnych w niskiej wartości częstotliwości (0,1-1 MHz) (Lizhi i in., 2008, 2010). Przeprowadzone doświadczenia pozwoliły stwierdzić, poprzez analizę przenikalności elektrycznej czynnej oraz biernej, w zależności od składników kwasów tłuszczowych, temperatury czy też wilgotności, iż można wyróżnić poszczególne różne kwasy tłuszczowe oraz oleje. Dzięki tym badaniom istnieje możliwość określenia jakości np. oliwy z oliwek czy nie została rozcieńczona znacznie tańszym olejem roślinnym. Podobne badania dotyczące właściwości oliwy z oliwek prowadził również Cataldo (Cataldo i in., 2010). Prevc przeprowadzał badania których celem było określenie korelacji pomiędzy wskaźnikami jakości w olejach roślinnych a właściwościami dielektrycznymi badanych olei (Prevc i in., 2013).

Inną grupą produktów, bardzo interesującą pod względem cech elektrycznych, jest nabiał. Produkty mleczne oraz pochodne mają bardzo szeroki skład chemiczny. Bohigas i inni badali właściwości dielektryczne jogurtów naturalnych oraz słodzonych. Jednakże analiza wykazała, iż zastosowane rozwiązania techniczne nie były na tyle dokładne, aby określić stopień dodatku cukru w jogurcie (Bohigas i in., 2008). Nunes przeprowadził badania próbek mleka UHT. Ich celem było wykazanie możliwości wykorzystania cech elektrycznych mleka do określenia wpływu związków organicznych na proces psucia się mleka (Nunes i in., 2006). Pod względem ekonomicznym ważnym aspektem jest prawidłowa zawartość tłuszczu w mleku. Tego rodzaju badania przeprowadził Żywica i inni., celem ich było sprawdzenie możliwości określenia przy wykorzystaniu cech elektrycznych zawartości tłuszczu w mleku (Żywica i in., 2012). Guo i Banach wykonali badania mleka określające zawartość wody w mleku, a tym samym możliwość wykrycia zafałszowań mleka (Guo i in., 2010, Banach i in., 2012).

Jednym z najbardziej istotnych parametrów ziarna jest wilgotność. Ma ona ogromne znaczenie przy przechowywaniu materiałów sypkich. Zbyt duża wilgotność

ziarna w magazynach znacząco wpływa na obniżenie jakości produktu, jak również może doprowadzić do sytuacji niepożądanych, takich jak na przykład pleśnienie. Z tego też powodu potrzebne są szybkie i dokładne pomiary zawartości wody w materiale (Nelson i Trabelsi, 2009). Ponadto parametr wilgotności ma ogromne znaczenie w suszarnictwie, aby tak określić sposób i czas suszenia ziarna, by był jak najbardziej ekonomiczny. Łuczycka w swoich badaniach przeprowadziła analizę przenikalności elektrycznej oraz współczynnika strat dielektrycznych dla ziarna pszenicy, uwzględniając odmianę, wilgotność oraz temperaturę badanych ziaren (Łuczycka, 2009). Wielu autorów prowadzi badania opisujące właściwości dielektryczne różnych ziaren oraz nasion w szerokim zakresie częstotliwości oraz na różnych poziomach wilgotności ziarna (Nelson, 2015, Khan, 2014).

Obiecujące badania cech elektrycznych ziarna skłoniły również naukowców do badania pochodnej ziarna czyli mąki. Na dokładność pomiarów w dużym stopniu wpływ ma wielkość badanych cząstek. W przypadku mąki cząsteczki są bardzo małe, co wpływa na dokładne wypełnienie układu przestrzeni elektrod. Naukowcy wykonali badania wielu rodzajów mąki, między innymi mąki sojowej przy różnej wilgotności oraz przy częstotliwości od 10 do 1800 MHz, uwzględniając zakres temperatury materiału między 20°C a 90°C (Jha i in., 2011). Bansal badał właściwości dielektryczne mąki kukurydzianej, natomiast Łuczycka i in. przeprowadzała badania mąki pszennej z dodatkiem śrutki owsianej, analizując przenikalność elektryczną oraz współczynnik strat dielektrycznych. Przeprowadzone badania wskazały na możliwość wykorzystania cech elektrycznych do oceny stopnia dodatku śrutki owsianej do mąki pszennej (Bansal, 2015, Łuczycka i in., 2013).

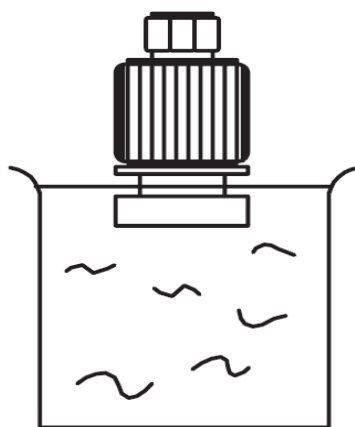
Guo przeprowadziła badania mąki uzyskanej z nasion roślin strączkowych, takich jak soczewica, soja, zielony groszek oraz ciecierzycy. Wyniki wskazały, iż rodzaj nasion z różnych roślin miał wpływ na uzyskane wyniki (Guo i in., 2010).

Produktem uzyskiwanym z mąki jest chleb. Obiecujące wyniki badań mąki skłoniły niektórych naukowców do przeprowadzenia badań przenikalności elektrycznej oraz wyznaczenia współczynnika strat dielektrycznych chleba. Sporządzili analizę badań w oparciu o temperaturę badanej próbki oraz jej wilgotność (Liu i in., 2009a, 2009b).

Do grupy produktów, w której wykorzystuje się cechy elektryczne do określenia jakości oraz składu produktu, należy miód. Pomiar przewodności elektrycznej jest ogólnie przyjętym narzędziem do określania jakości miodu. Jak w każdym produkcie, w którym wykorzystywane są cechy elektryczne, na ich wartość wpływ ma zawartość wody (Nelson

i Trabelsi, 2012). W badanych roztworach miodu zawartość wody ma wpływ na uzyskiwane wyniki (Chua i in., 2012, Belay i in., 2013). Inni naukowcy prowadzili swoje badania roztworu miodu w celu korelacji składu chemicznego z właściwościami dielektrycznymi. Analiza wskazała, iż wartość konduktancji roztworu miodu jest zależna od ilości popiołu oraz składników mineralnych (Kowalska i in., 2011, Saxena i in., 2010).

Soki to substancje płynne zawierające wiele różnych substancji rozpuszczalnych. Zaczynając od substancji słodzących po polepszacze smakowe, czy też substancje utrwalające. Należy pamiętać, iż ponadto soki zawierają polifenole, garbniki czy też witaminy. Dotychczasowe badania określające skład chemiczny czy też ilość danej substancji rozpuszczalnej w soku była określana poprzez wykonanie analizy chemicznej. Wykonanie takiej analizy wiąże się z kosztami, ponieważ tego typu badanie wykonuje się w warunkach laboratoryjnych. Ponadto tego typu badania są czasochłonne. Z tego względu wielu naukowców skłania się ku badaniom soków przy wykorzystywaniu cech dielektrycznych. Garcia i in. (2001) przeprowadzili badania przenikalności dielektrycznej soku winogronowego przy wykorzystaniu współosiowej otwartej sondy, Rysunek 6. Badania wykonali w częstotliwości pola elektromagnetycznego od 0,2 do 3 GHz. Zhu i in. (2012) przeprowadzili szereg badań różnych soków owocowych pozyskanych z różnych owoców (jabłko, gruszka, pomarańcza i inne.) Pomiary zostały przeprowadzone w szerokim zakresie częstotliwości od 20 do 4500 MHz. Badania zostały również wykonane dla różnych temperatur w zakresie od 15 do 95°C. Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, iż część rzeczywista przenikalności dielektrycznej maleje w sposób liniowy wraz ze wzrostem temperatury, oraz stwierdzono, że w zależności od rodzaju badanego soku, wyniki różnią się zarówno w części rzeczywistej jak i urojonej impedancji elektrycznej.



Rys.6. Współosiowa sonda otwarta wykorzystana przez Garcia, źródło: Garcia i in., 2004.

2.5 Falszowanie produktów spożywczych

Oliwa jest jedną z częściej zafałszowywanych substancji. Oliwa ekstra virgin posiada właściwości prozdrowotne a także charakteryzuje się bardzo wysoką jakością. Jest pożądana przez klientów dzięki cechom sensorycznym oraz znacznej trwałości (Wroniak i Maszewska, 2011). Inną cechą charakteryzującą oliwę ekstra virgin jest niska zawartość wolnych kwasów tłuszczowych – poniżej 0,8 %, co powoduje, że jest to produkt droższy od olejów z nasion, dlatego też często dochodzi do zafałszowań. Częstym przedmiotem zafałszowań są również oliwy produkowane w poszczególnych regionach świata, a także z odpowiednio wyselekcjonowanych odmian.

Tego typu oliwy zazwyczaj podlegają „ochronie nazwy pochodzenia” (ang. *Protected Designation of Origin*). Unia Europejska 11 lipca 1991 roku wprowadziła w życie rozporządzenie Komisji EWG 2568/91 określające w bardzo dokładny sposób specyfikację jakościową oliwy. Zmiany w rozporządzeniu tym zostały wprowadzone poprzez kolejne z rozporządzeń 1989/2003. Celem tego typu działań było zabezpieczenie produkcji oliwy wysokiej jakości oraz przeciwdziałanie jej podrabianiu. Stanowi to ochronę dla producentów oliwy w krajach UE takich jak Włochy, Grecja, Portugalia, Hiszpania oraz Francja.

Obiedzińska i Waszkiewicz-Robak 2012 sugerują, że tego typu rozwiązania powinny również dotyczyć olejów tłoczonych na zimno, tak aby zapewnić konsumenta, że dany produkt jest zgodny ze składem, pochodzeniem oraz jego właściwościami prozdrowotnymi. W ostatnich latach zauważono wzrost zainteresowania olejami tłoczonymi na zimno, choć wciąż produkty te należą do niszowych. Producenci zapewniają o autentyczności produktu oraz jego właściwościach prozdrowotnych. Oleje tłoczone na zimno uchodzą za produkt bardziej „naturalny” w odróżnieniu o tych, które zostają poddane procesom przetwórczym. Do podstawowych procesów, jakim poddawany jest olej, należą między innymi: neutralizacja, bielenie, rafinacja oraz ekstrakcja rozpuszczalnikiem. Wyższe wymagania surowcowe oraz mniejsza wydajność procesu tłoczenia powodują, iż cena oleju tłoczonego na zimno jest znacznie wyższa względem ceny oleju rafinowanego. W tej sytuacji pojawia się możliwość nieuczciwego zarobku przedsiębiorców poprzez mieszanie drogich olejów z tańszymi w celu osiągnięcia większego zysku.

Najczęściej mamy do czynienia z dwoma rodzajami zafałszowań dotyczących olejów oraz tłuszczów:

- zafałszowanie ekonomiczne (dodatek produktu gorszej jakości do produktu wysokiej jakości),
- nieuczciwe podanie miejsca geograficznego pochodzenia produktu.

Popularnymi przykładami zafałszowań są:

- tworzenie mieszaniny oleju rzepakowego niskoerukowego z wysokoerukowym,
- dodatek tańszego oleju słonecznikowego do oleju z orzeszków ziemnych,
- dodawanie oleju z ogórecznika do znacznie lepszego jakościowo oleju z wiesiołka.

Do grupy tłuszczów, które również są fałszowane, należy masło. Jakość tego produktu jest weryfikowana poprzez ocenę jego właściwości organoleptycznych, mikrobiologicznych i fizykochemicznych. Producent powinien zapewnić odpowiedni proces produkcji oraz opakowanie, a także odpowiednie oznakowanie produktu (Dz. U. z 2005 r. Nr 187).

Uwarunkowania dotyczące wyznaczonych parametrów mikrobiologicznych, które powinien spełniać gotowy produkt są zawarte w Rozporządzeniu Komisji (WE) Nr 1441/2007 z dnia 5 grudnia 2007 r.

W przypadku zanieczyszczeń fizyko-chemicznych wszystkie dopuszczalne normy poszczególnych parametrów reguluje Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r., ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych (Dz. Urz. UE z dnia 20.12.2006, L 364, s. 5).

Do fałszowania żywności dochodziło już od stuleci (Kowalczyk, 2010). Z tematyką zafałszowań żywności możemy również spotkać się w pracy Tylińskiej, opisującej relacje pomiędzy konsumentem a producentem (Tylińska, 2012). Konsumenty mogą dziś często trafić na masło fałszowane, istnieje jego duża ilość na rynku. Najczęściej masło jest fałszowane poprzez dodatek tanich olejów roślinnych, a także dodatkiem margaryny. W celu uzyskania odpowiedniego koloru do masła dodawano sok z marchwi (Tynek i Pawłowicz, 2006, Nogala-Kałucka i in., 2008). Producenci często zaniżają deklarowaną gramaturę produktu, a także zaniżają ilość tłuszczu, co tym samym sprawia, że zawartość wody jest zawyżona.

Miód jest produktem powszechnie fałszowanym. Naturalny produkt ma stosunkowo wysoką cenę, co powoduje chęć nieuczciwego zarobku producenta. Proces fałszowania miodu zaczyna się już na etapie karmienia pszczół. Producenci często świadomie czy też nieświadomie narażają konsumenta na straty wynikające z nabycia produktu niezgodnego ze stanem faktycznym (Łuczycka i in., 2012). Fałszowanie miodu

prowadzi do zmniejszenia jego wartości odżywczych, co może negatywnie wpływać na zdrowie konsumenta, który sugeruje się informacjami zawartymi na etykietach produktu (Guo i in., 2010). Miód naturalny to produkt wytwarzany przez pszczoły z nektarów kwiatów. Produkt ten ma duże znaczenie odżywcze oraz właściwości prozdrowotne. W jego składzie znajdują się łatwo przyswajalne dla organizmu cukry, kwasy organiczne oraz aminokwasy, a także aktywne biologicznie składniki (Turhan i in., 2008).

Wymagania jakościowe miodu określa Dyrektywa Rady 2001/110/WE z dnia 20 grudnia 2001r. odnosząca się do miodu, w której jasno przedstawiono dopuszczalną ilość sacharozy w miodzie. W miodach nektarowych zawartość sacharozy wynosi nie więcej niż 5% natomiast w przypadku miodów spadziowych nie więcej niż 10%. Na rynku można znaleźć wiele zafałszowanych miodów.

Najczęściej miód opisywany mianem naturalnego zwiera tylko niewielką ilość miodu naturalnego, jest to mieszanina sztucznie wytworzonego miodu z naturalnym. Fałszerstwa dotyczą również pochodzenia geograficznego miodu. Należy pamiętać, że niektóre z odmian miodu posiadają duże właściwości prozdrowotne, co przekłada się na cenę produktu.

W przypadku żywności najłatwiej jest fałszować produkty wysoko przetworzone. Wiąże się to z faktem, iż trudno zidentyfikować zużyte do produkcji składniki. Tak jest na przykład w przypadku serów dojrzewających. Problem ten dotyczy zarówno Polski jak i całego świata. Sery najczęściej fałszowane są poprzez dodatek tłuszczu roślinnego, zazwyczaj palmowego. Tłuszcz zwierzęcy zawarty w mleku jest zastępowany tłuszczem roślinnym. W takiej sytuacji uzyskuje się produkt seropodobny, lecz zazwyczaj nie nosi on nazwy produktu seropodobnego. Olej palmowy najczęściej wykorzystywany jest do fałszowania produktów mleczarskich. Decyduje o tym fakt, że jest to produkt tani oraz ogólnie dostępny. Charakterystyka tego oleju wskazuje, że ma on szkodliwy wpływ na zdrowie człowieka, wpływa na wzrost prawdopodobieństwa zachorowań na choroby nowotworowe piersi oraz jelit. Powoduje również podwyższenie poziomu cholesterolu (NorAini i in., 1998, Sawicki, 2009). W swojej pracy Pikul porusza problem wykrywania zafałszowań, ze względu na coraz to nowsze i bardziej wyrafinowane metody coraz trudniej wykryć zafałszowanie. Kierunkiem prac badawczych powinno być opracowanie metody będącej przydatnym narzędziem do oceny jakości produktów mleczarskich, a także potwierdzenia ich autentyczności (Pikul i in., 2009).

Kolejnym z produktów, który często jest fałszowany jest mięso, a w szczególności wołowina, której cena jest wysoka. Dostępna na rynku europejskim wołowina z chowu

ekologicznego to produkt jeszcze droższy, a co za tym idzie bardzo poszukiwany przez koneserów smaku. Postęp technologii produkcji, zastosowanie nowoczesnych metod wytwarzania produktów także daje możliwość zafałszowań. Już w roku 1855 Hassall opublikował swoje badania dotyczące tego zagadnienia (Hassall, 1855) Między innymi dokonał podziału zafałszowań żywności ze względu na cel ich wykorzystania (Kowalczyk, 2014):

- zwiększające ilość i masę towaru,
- wpływające na smak, zapach oraz inne cechy,
- wpływające na barwę oraz kolor produktu.

Istotnym aspektem, w kierunku którego należy działać, jest wyodrębnienie oraz usystematyzowanie zagrożeń związanych z fałszowaniem mięsa. Konsument będący oszukany nie tylko ponosi straty ekonomiczne, ale także narażony jest na możliwe problemy zdrowotne. Współcześnie mamy do czynienia z nieprawidłowościami, które są związane ze zjawiskiem zaniżania zawartości najbardziej wartościowych i odżywczych składników mięs. Nieuczciwi producenci wędlin stosują zabiegi mające na celu utrzymywanie konsumenta w świadomości, że wybrany przez niego produkt charakteryzuje się wyjątkowymi cechami użytkowymi, zawiera wszelkie substancje odżywcze oraz nie zawiera substancji sztucznych. W rzeczywistości konsument otrzymuje produkt zupełnie odbiegający od wszelkich norm, bardzo przeciętny, słabej jakości. Mięso to produkt, na który trzeba zwrócić szczególną uwagę, ze względu na fakt, iż może on przenosić choroby. Zwierzęta mogą być zarażone pryszczycą, ptasią grypą, a także w paszach mogą znajdować się dioksyny czy też resztki pestycydów. Czynniki te mają niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka. Mięso zawierające owe substancje nie wykazuje cech zepsucia czy też obniżenia jakości, jednakże nie nadaje się do spożycia. Związki toksyczne w nim zawarte wpływają na zmiany w systemie odpornościowym oraz mogą prowadzić do uszkodzenia płodu u kobiet w ciąży (Caswell, 2006, Dupuy i in., 2005).

Produkt, który często poddawany jest zafałszowaniu, to wino. Wykrycie jego autentyczności nie jest proste. Jest ono mieszaniną, w skład której wchodzi wiele składników, które występują w różnych stężeniach, w zależności od miejsca uprawy winogron oraz od czynników siedliskowych, a także klimatu, rodzaju gleby, odmiany roślin (Viggiani i Castiglione, 2008). Fałszowanie pochodzenia wina jest istotnym problemem nie tylko dla koneserów. Produkt pochodzący z wybranej części świata odróżnia się walorami smakowymi, a także składem chemicznym od pozostałych

produktów. Należy pamiętać, iż jest to trunek szlachetny, wpływający na rozbudzanie narządów smakowych, które pozwalają wyselekcjonować odpowiednie bukiety.

Do zafałszowań wina dochodzi poprzez zmianę pochodzenia winogron, nieprawdziwe deklarowanie odmiany czy też dodatek cukru lub wody (Schlesier i in., 2009). Dodatek cukru, czyli tak zwany proces szaptalizacji, stosowany jest w celu zwiększenia zawartości alkoholu. Proces ten jest dozwolony w produkcji wina, reguluje to europejskie prawo, ale tylko w niektórych regionach.

Częstym dodatkiem stosowanym przy produkcji wina jest glicerol. Jego zadaniem jest wzmożenie smaku oraz łagodności wina, co zazwyczaj stanowi wskaźnik dobrej jakości produktu. Składnik ten ma wpływ na ocenę wina oraz maskuje jego niską jakość (Cabanero i in., 2010). Najprostszą substancją dodawaną do wina jest woda. Zabieg rozcieńczenia wina stosuje się w celu zwiększenia objętości tego produktu.

Idąc tropem alkoholi następnym z produktów, który równie często jest niezgodny ze stanem faktycznym, jest wódka. Dokumentem regulującym dopuszczalne ilości poszczególnych składników jest Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady z 2008 roku (WE nr 110/2008). Zazwyczaj wódką nazywany jest roztwór etanolu o stężeniu około 40%. W zależności od producenta produkt ten może się charakteryzować różną ilością etanolu oraz wyższych alkoholi. Według panującego prawa produkt niespełniający norm jakościowych nie powinien zostać wypuszczony na rynek. Jednakże w literaturze można odnaleźć wiele doniesień dotyczących fałszowania wódki.

Nieprawidłowości mogą być spowodowane nieświadomie przez producenta, który dopuścił się zaniedbań w procesie produkcyjnym, bądź w sposób świadomy ze względów ekonomicznych. Najczęściej wódka jest rozcieńczana zwykłą wodą. Dochodzi również do wykorzystywania przy produkcji spirytusu gorszej jakości od deklarowanego. Zastosowanie tańszego spirytusu to wykorzystanie produktu, który został wytworzony z niewłaściwego surowca czy też na drodze syntezy chemicznej (Chłobowska i in., 2000). W przypadku alkoholu należy zwrócić szczególną uwagę na jego jakość. Alkohol oraz zawarte w nim substancje niedozwolone mogą mieć bardzo szkodliwy wpływ na zdrowie człowieka. W ocenie jakości wódek stosuje się metody chromatograficzne. Nie należą one do metod tanich oraz wymagają dużo czasu. W innym przypadku wykorzystywane są metody densytometryczne. One jednak pozwalają na ocenę poziomu tylko jednego wybranego parametru. Badania pozwalające określić jakość alkoholi powinny umożliwiać wykonywanie szybkich oraz tanich pomiarów (Arzberger i Lachenmeier, 2008).

Soki należą do grupy produktów bardzo często fałszowanych ze względu na skalę ich sprzedaży. Najczęściej do zafałszowań dochodzi poprzez dodatek substancji słodzących, takich jak syrop fruktozowy, mieszaniny cukru inwertowanego z buraków cukrowych oraz trzciny (Czerwiecki, 2004). Producent na etykiecie produktu informuje nas, że sok został wyprodukowany ze świeżych owoców, jednak nie zawsze jest to prawdą. W większości produkcja soków owocowych polega na odtwarzaniu soku z zagęszczonego koncentratu poprzez dodatek wody.

Często bywa, iż dodatek wody jest znacznie większy niż dopuszczają to normy. Balmer i Lellan 1997 w swojej pracy zwrócili również uwagę na fakt, iż nie zawsze sok powstaje z czystego koncentratu.

Producenci w celu uzyskania jeszcze większej korzyści z produkcji soku pomarańczowego wykorzystują wyciąg ze skórek tego owocu oraz miazgi pozostałej po oddzieleniu soku. W takim przypadku bazą produkowanego soku jest melasa cytrusowa, tzw. pulp-wash. Kolejnym przykładem fałszowania soków jest tworzenie mieszanin różnych soków owocowych, np. soku pochodzącego z różnego rodzaju grejpfrutów przy jednoczesnym deklarowaniu, że sok został wyprodukowany z jednego typu grejpfrutów (Simpkins i Harrison, 1995).

Dokumentem regulującym właściwości soków jest Kodeks Postępowania (Codex of Practice, 1996) sporządzony przez Stowarzyszenie Przemysłu Soków i Nektarów z Owoców i Warzyw Unii Europejskiej. W dokumencie ustalone zostały standardy dotyczące składu soków owocowych, regulujące zawartość: ekstraktu ogólnego, kwasu cytrynowego, glukozy, fruktozy, sacharozy, kwasu mlekowego, kwasu winowego, wolnych aminokwasów, kwasu fumarowego, sorbitolu, kwasu D- i L-jabłkowego. Na jakość soków owocowych ma wpływ wiele czynników. Do najważniejszych z nich można zaliczyć: odmianę owoców, warunki klimatyczne występujące w miejscu uprawy owoców, a także stopień dojrzałości owoców.

3. Cel pracy

Cel ogólny:

Celem pracy jest analiza możliwości wykorzystania cech elektrycznych do oceny jakości soków owocowych i warzywnych.

Celami szczegółowymi pracy, których realizacja była niezbędna do wypełnienia celu głównego, było:

- przeprowadzenie badań wybranych parametrów fizykochemicznych badanych soków;
- zaprojektowanie celki pomiarowej do przeprowadzenia pomiarów impedancji soku;
- określenie wpływu dodatków dodawanych do soku (substancji słodzących, wody, kwasu askorbinowego i soli) na wartości cech elektrycznych.

4. Materiał badawczy i metodyka

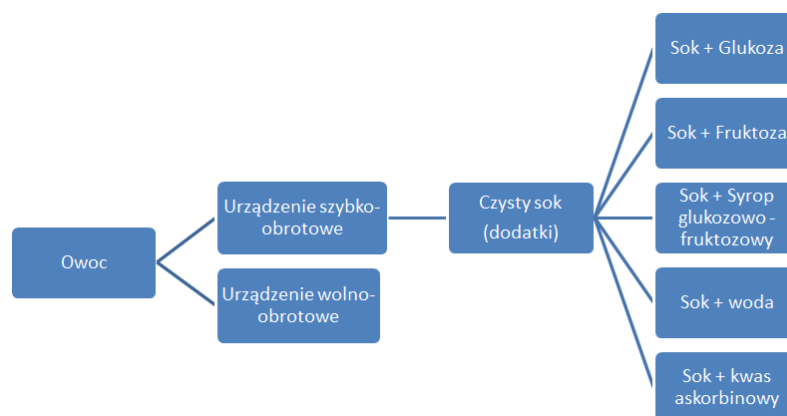
4.1 Materiał badawczy

Do przygotowania materiału badawczego zostały wykorzystane owoce oraz warzywa dostępne na polskim rynku. Badany sok został uzyskany z dwóch odmian jabłek – Ligol oraz Champion, dwóch odmian pomidorów – Lima oraz Gargamel, a także wykorzystano dwie odmiany marchwi – Napoli oraz Bangor. Z każdej odmiany został pozyskany sok przy wykorzystaniu urządzenia:

- szybko-obrotowego,
- wolno-obrotowego.

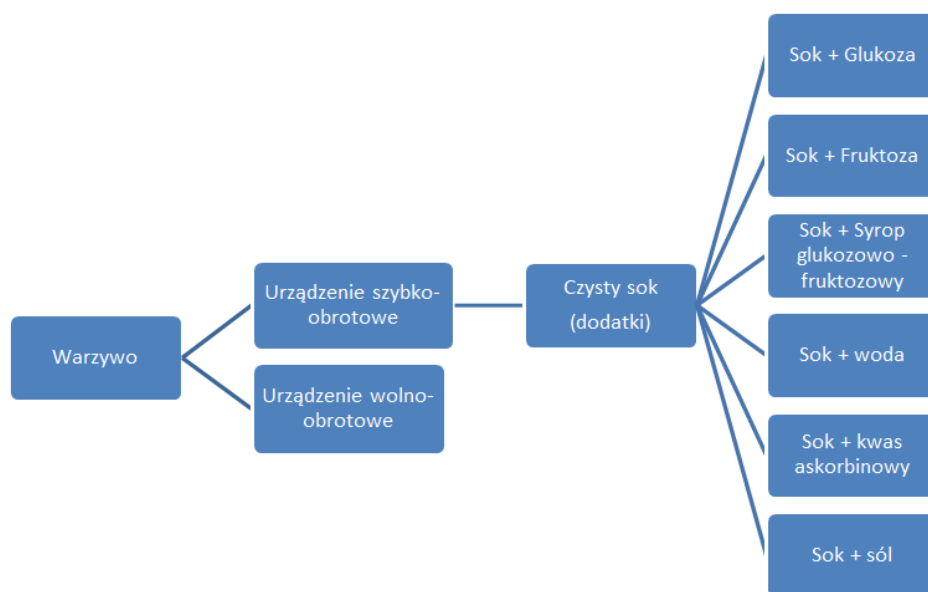
Uzyskany sok został wykorzystany do sporządzenia próbek badawczych – wielkość próbki została określona w sposób wagowy 50 g/próbka, oraz w sposób wagowy określano dodatek substancji słodzących jak i dodatków konserwujących.

Do uzyskanego soku owocowego zastosowano dodatki substancji słodzących, takich jak: glukoza, fruktoza oraz syrop glukozowo-fruktozowy, jak również dodatek wody oraz kwasu askorbinowego, mający na celu przedłużenie przydatności soku do spożycia. Udział dodatków został określany w sposób procentowy co 5%, od 5% do 30% dla substancji słodzących, co 10%, od 10% do 30% dla wody, oraz w sposób wagowy dla trzech wartości kwasu askorbinowego 0,025 g, 0,05 g, 1,0 g. W przeprowadzonych badaniach przeanalizowano po 26 próbek dla każdego z owoców. Po jednej próbce dla czystego soku uzyskanego przy pomocy urządzenia szybkoobrotowego oraz wolnoobrotowego, po 6 próbek dla substancji słodzących oraz po 3 próbki dla dodatku wody oraz kwasu askorbinowego. Każda z próbek została przebadana trzykrotnie, z uzyskanych wyników obliczono średnią.



Rys. 7. Przykładowy schemat przeprowadzonych badań dla soku owocowego. źródło: opracowanie własne.

W przypadku soku warzywnego zastosowano dodatki substancji słodzących, takich jak: glukoza, fruktoza oraz syrop glukozowo-fruktozowy, jak również dodatek wody oraz kwasu askorbinowego i soli mający na celu przedłużenie przydatności soku do spożycia. Udział dodatków został określany w sposób procentowy co 4%, od 4% do 12% dla substancji słodzących, co 10%, od 10% do 30% dla wody, oraz w sposób wagowy dodatek trzech wartości kwasu askorbinowego 0,025 g, 0,05 g, 1,0 g, a także dodatek soli w trzech wartościach 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g.



Rys. 8. Przykładowy schemat przeprowadzonych badań dla soku warzywnego. źródło: opracowanie własne.

Z pozyskanego soku warzywnego przygotowano oraz przeanalizowano łącznie 18 próbek soku dla każdego z warzyw. Po jednej próbce dla soku uzyskanego z urządzeń szybko- i wolnoobrotowego, oraz po 3 próbki dla dodatku substancji słodzących i po 3 próbki dla dodatku wody, soli oraz kwasu askorbinowego.

4.2 Badania cech chemicznych soku

Pozyskane soki zostały poddane analizie chemicznej. Podstawowe badania chemiczne soków zostały wykonane w laboratoriach Wydziału Biotechnologii i Nauk o Żywności Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. W przygotowanych próbkach zostały określone metodami laboratoryjnymi takie właściwości, jak:

- zawartości polifenoli,
- zdolności przeciwutleniającej (ABTS i FRAP),

- zawartości cukrów:
 - glukozy,
 - fruktozy,
 - sacharozy,
 - sorbitolu.

Ekstrakt do analizy cukrów przygotowano, rozcieńczając świeży sok. Analizę chromatograficzną przeprowadzono za pomocą chromatografu cieczowego Merck-Hitachi L-7455 z detektorem rozpraszania światła (ELSD) (Polymer Laboratories PL-ELS 1000) i pompą czwartorzędową L-7100, wyposażoną w Multisolvent System dostarczania D-7000 HSM (Merck-Hitachi, Tokio, Japonia), autosampler L-7200 i kolumną węglowodanową ES Prevail Carol-W (250 mm x 4,6 mm, 5 μ m) (Alltech, USA). Krzywe kalibracji ($R^2 = 0,9999$) zostały utworzone dla glukozy, fruktozy, sacharozy i sorbitolu.

4.3 Badania cech elektrycznych soku

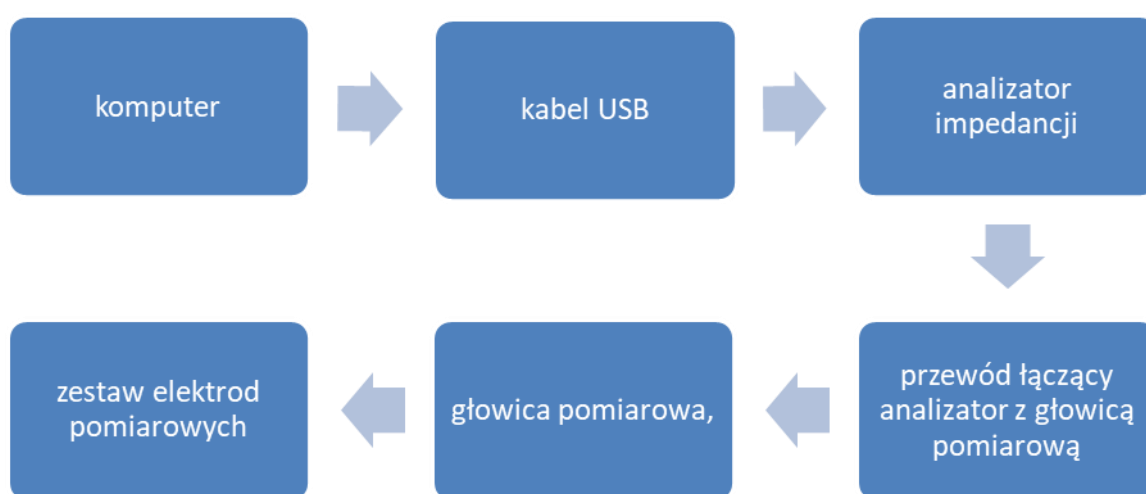
W przeprowadzonych badaniach soku zostały wyznaczone takie wielkości elektryczne jak:

- Część rzeczywista impedancji ReZ [Ω],
- Część urojona impedancji – ImZ [Ω],
- Współczynnik strat dielektrycznych $tg\delta$ [-],
- Przenikalność elektryczna ϵ względna [-].

Badania zostały wykonane w laboratorium Instytutu Inżynierii Rolniczej, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystany został analizator impedancji ATLAS 0441 Hight Impedance Analyzer. Urządzenie jest dedykowane do wykonywania spektroskopii wysokoimpedancyjnej obiektów technicznych, które są modelowane wieloelementowymi dwójnikami o module impedancji 1 Ω do 100 G Ω . Pomiaru mogą być wykonywane w zakresie częstotliwości od 10 μ Hz do 1 MHz, przy potencjale swobodnym lub wymuszonym. Odpowiednie cechy urządzenia pozwoliły na przeprowadzenie pomiaru w wyznaczonym zakresie częstotliwości, dzięki czemu mógł on być używany do badania soku. Analizator jest wirtualnym przyrządem, w skład którego wchodzi małogabarytowy blok pomiarowy

połączony interfejsem USB z komputerem. Komputer jest wykorzystywany do programowania odpowiednio zadanych parametrów pomiaru, a także pozwala na rejestrację uzyskanego wyniku.

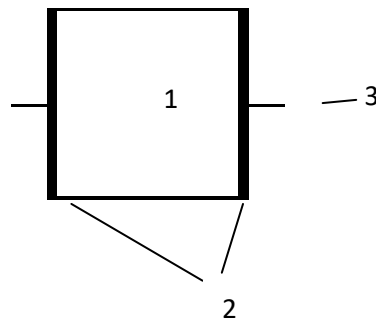
Badania zostały przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych zgodnie z zaleceniami dostarczonymi przez producenta urządzenia. W badaniach została wykorzystana sonda pomiarowa MP3P-UG. Dedykowana jest ona do pomiarów próbek odizolowanych od ziemi. Sonda wykorzystana w badaniach pozwoliła na przeprowadzenie pomiarów impedancji w zakresie od $10\mu\text{Hz}$ do 1MHz .



Rys. 9. Schemat stanowiska badawczego. źródło: opracowanie własne.

W celu uzyskania odpowiednich wyników do badania soku została wykorzystana celka pomiarowa w cylindrycznym kształcie z elektrodami znajdującymi się równolegle do siebie. Elektrody zostały wykonane z miedzi. Pojemność celki pozwala zapewnić odpowiednią ilość badanego soku, tak że rezystancja badanej próbki zawierała się w odpowiednim zakresie pomiaru, przeprowadzonym przy użyciu analizatora impedancji.

Średnica celki wynosiła 15 mm, natomiast elektrody zostały umieszczone w odległości 10 mm od siebie. Przestrzeń robocza zawierała się pomiędzy elektrodami. Elektrody zostały połączone za pomocą przewodów z głowicą pomiarową. Na rysunku 10 przedstawiono schemat celki pomiarowej.



Rys. 10. Rysunek techniczny celki pomiarowej: 1 – przestrzeń pomiędzy elektrodami, 2 - elektrody, 3 - przewody łączeniowe elektrody pomiarowe z głowicą.

W badaniach cech elektrycznych wykorzystana została metoda pośrednia, która polega na pomiarze części rzeczywistej oraz urojonej impedancji. Z przeprowadzonych pomiarów oraz po uwzględnieniu geometrii elektrod, a także częstotliwości pola elektromagnetycznego zostały obliczone wartości przenikalności elektrycznej oraz współczynnika strat dielektrycznych. Spektroskopia impedancyjna została przeprowadzona w zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego od 10 Hz do 1 MHz, dla każdej z badanych próbek.

Impedancję badanego układu można zapisać w postaci:

$$Z = ReZ + j \cdot ImZ [\Omega] \quad (4.1)$$

gdzie:

ReZ - składowa rzeczywista impedancji [Ω],

ImZ - składowa urojona impedancji [Ω],

$j = \sqrt{-1}$ - jednostka urojona.

Stosunek składowej rzeczywistej impedancji do jej części urojonej nosi nazwę współczynnika strat dielektrycznych:

$$tg\delta = \frac{ReZ}{ImZ} [-] \quad (4.2)$$

Odwrotnością impedancji jest admitancja Y, która również ma postać liczby zespolonej:

$$Y = \frac{1}{Z} = G + jB [S] \quad (4.3)$$

gdzie:

Z - impedancja [Ω],

G - konduktancja [S],

B - susceptancja [S].

Susceptancja B jest równa:

$$B = \frac{-ImZ}{(ReZ^2 + ImZ^2)} [S] \quad (4.4)$$

Kolejnym krokiem jest obliczenie pojemności C próbki badanego soku. Obliczono ją według następującego wzoru:

$$C = \frac{B}{\omega} = \frac{B}{2 \cdot \pi \cdot f} [F] \quad (4.5)$$

gdzie:

B - susceptancja,

ω - pulsacja,

f - częstotliwość pola elektromagnetycznego.

Dla badanych próbek soku została obliczona przenikalność elektryczna ε . W celu obliczenia przenikalności elektrycznej została zmierzona pusta celka wypełniona powietrzem. Stosunek pojemności pomiędzy celką wypełnioną sokiem a celką pustą wypełnioną jedynie powietrzem jest nazywany przenikalnością elektryczną względną ε . Parametr ten został obliczony ze wzoru poniżej.

$$\varepsilon = \frac{C}{C_p} [-] \quad (4.6)$$

gdzie:

C - pojemność kondensatora wypełnionego sokiem,

C_p - pojemność pustego kondensatora.

4.4 Metody statystyczne

Uzyskane wyniki poddano analizom statystycznym w środowisku Statistica 10. Normalność rozkładu zmiennych zależnych badano za pomocą testu Shapiro-Wilka. W celu zbadania, czy istnieją statystycznie istotne różnice (na poziomie istotności wynoszącym $\alpha=0,05$) pomiędzy parametrami charakteryzującymi poszczególne próbki, wykorzystano testy nieparametryczne U Manna-Whitneya oraz Kruskala-Wallisa. Do analiz wybrano testy nieparametryczne ze względu na brak normalności rozkładu zmiennych zależnych.

5. Wyniki badań i ich omówienie

5.1 Cechy chemiczne badanych soków

Dla badanych soków tłoczonych metodą wolnoobrotową i szybkoobrotową zmierzone zostały następujące parametry chemiczne: zawartość polifenoli, zdolność przeciwutleniająca oznaczona dwiema metodami: pomiar zdolności wyłapywania syntetycznego rodnika (ABTS) i pomiar redukcji jonów żelaza (FRAP), a także zawartość cukrów (glukozy, fruktozy, sacharozy i sorbitolu). W tabelach 5 i 6 przedstawiono wyniki pomiarów.

Tabela 5. Zawartość polifenoli oraz właściwości antyoksydacyjne soków.

Metoda tłoczenia	Zawartość polifenoli [mg·100ml ⁻¹]		ABTS [μmol·ml ⁻¹]		FRAP [μmol·ml ⁻¹]	
	Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe
Sok jabłkowy Champion						
Wolnoobrotowa	25,58	1,07	26,83	1,768	80,5	5,30
Szybkoobrotowa	51,53	3,05	119,17	10,842	327,51	30,53
Sok jabłkowy Ligol						
Wolnoobrotowa	8,20	0,18	12,17	0,707	36,49	2,12
Szybkoobrotowa	25,90	1,55	32,83	1,179	109,52	10,35
Sok marchwiowy Bangor						
Wolnoobrotowa	16,29	0,92	44,00	5,539	53,53	2,47
Szybkoobrotowa	13,89	0,80	19,17	0,825	45,78	16,62
Sok marchwiowy Napoli						
Wolnoobrotowa	17,45	0,98	23,00	0,589	68,99	1,77
Szybkoobrotowa	17,70	0,64	20,83	0,785	62,49	2,35
Sok pomidorowy Lima						
Wolnoobrotowa	21,47	1,82	14,83	1,768	44,48	5,30
Szybkoobrotowa	15,30	0,57	3,17	0,154	10,49	1,06
Sok pomidorowy Gargamel						
Wolnoobrotowa	16,78	0,84	9,83	0,118	29,45	3,54
Szybkoobrotowa	18,02	0,53	12,67	1,003	39,92	6,01

W przypadku soków jabłkowych zawartość polifenoli silnie zależy od metody tłoczenia soku. Za pomocą metody szybkoobrotowej otrzymano sok z dwukrotnie (Champion) i trzykrotnie (Ligol) większą zawartością polifenoli w stosunku do metody wolnoobrotowej. Tak wyraźnych różnic nie zaobserwowano w przypadku soków marchwiowych i pomidorowych. Dla soku marchwiowego Bangor i soku pomidorowego Lima większą zawartość polifenoli uzyskano metodą wolnoobrotową. Metoda tłoczenia ma również wyraźny wpływ na właściwości antyoksydacyjne soków jabłkowych oraz

pomidorowych. W przypadku soków jabłkowych zdecydowanie lepsze właściwości przeciwutleniające mają soki otrzymane metodą szybkoobrotową. Dla soku jabłkowego Champion różnice przekraczają 400%, zarówno dla analizy FRAP jak i dla analizy ABTS.

W przypadku soków pomidorowych wyniki zależą od odmiany pomidorów. Dla soku z pomidorów Lima uzyskano ponad czterokrotnie lepsze właściwości antyoksydacyjne przy pozyskaniu metodą wolnoobrotową. Natomiast dla soku z pomidorów odmiany Gargamel różnice nie są tak wyraźne, jednak lepsze właściwości przeciwutleniające ma sok pozyskany metodą szybkoobrotową. Dla soków marchwiowych lepsze właściwości antyoksydacyjne uzyskano wykorzystując metodę wolnoobrotową. Jednak w tym przypadku różnice są znacznie mniejsze, niż dla soków jabłkowych i pomidorowych z pomidorów odmiany Lima.

Tabela 6. Zawartość cukrów w badanych sokach.

Metoda tłoczenia	Fruktoza [mg·l ⁻¹]	Sorbitol [mg·l ⁻¹]	Glukoza [mg·l ⁻¹]	Sacharoza [mg·l ⁻¹]
Sok jabłkowy Champion				
Wolnoobrotowa	12962,82	175,57	1863,23	132,29
Szybkoobrotowa	12086,51	110,75	1563,45	122,28
Sok jabłkowy Ligol				
Wolnoobrotowa	14572,51	0,00	1426,61	744,16
Szybkoobrotowa	12881,23	0,00	1679,35	521,63
Sok marchwiowy Bangor				
Wolnoobrotowa	2088,15	0,00	1649,29	1904,45
Szybkoobrotowa	2228,09	0,00	2053,73	363,70
Sok marchwiowy Napoli				
Wolnoobrotowa	2470,05	0,00	2154,42	1279,86
Szybkoobrotowa	2944,81	0,00	2749,62	1383,19
Sok pomidorowy Lima				
Wolnoobrotowa	5185,29	0,00	4491,26	0,00
Szybkoobrotowa	5740,58	0,00	4845,52	0,00
Sok pomidorowy Gargamel				
Wolnoobrotowa	2869,18	0,00	1977,01	0,00
Szybkoobrotowa	4562,33	0,00	3018,63	0,00

Z danych przedstawionych w tabeli 6 wynika, że nie można jednoznacznie określić wpływu metody tłoczenia soku na zawartość cukrów. Największą zawartość fruktozy zaobserwowano w soku jabłkowym, a najmniejszą w soku marchwiowym. Dla soków jabłkowych tłoczenie metodą wolnoobrotową powoduje, że zawartość fruktozy w soku jest nieco większa, niż dla metody szybkoobrotowej. Natomiast dla pozostałych soków, większą zawartość fruktozy uzyskano metodą szybkoobrotową. Dla soków pozyskanych

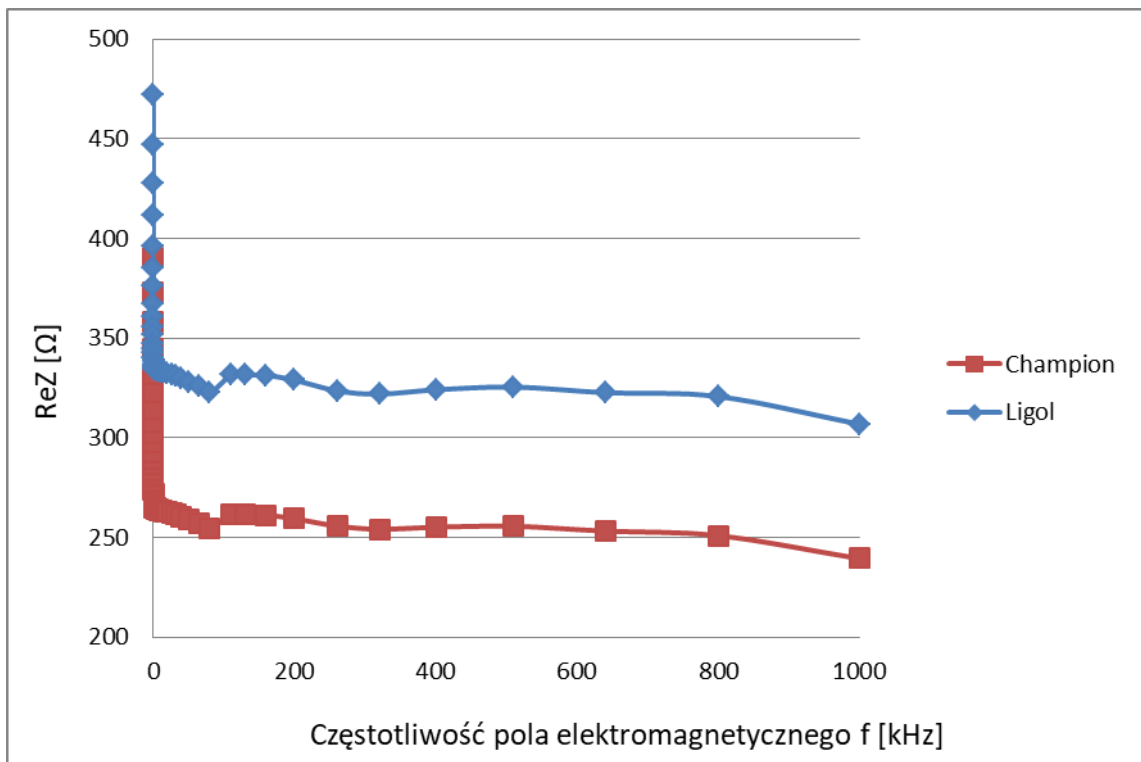
metodą szybkoobrotową, zawartość glukozy jest najwyższa w soku pomidorowym, a najniższa w jabłkowym. Dla soków jabłkowych, wpływ metody tłoczenia na zawartość glukozy zależy od odmiany jabłek. Dla soku z jabłek odmiany Champion większą zawartość glukozy uzyskano metodą wolnoobrotową, a dla soku z jabłek odmiany Ligol – szybkoobrotową.

W przypadku soku marchwiowego i pomidorowego większą zawartość glukozy uzyskano metodą szybkoobrotową. Sok pomidorowy nie zawiera sacharozy, której najwyższą zawartość zaobserwowano w soku marchwiowym (wyjątek stanowi sok z marchwi Bangor tłoczony metodą szybkoobrotową, który zawiera mniej sacharozy, niż sok z jabłek Ligol). Na uwagę zasługuje fakt, że w przypadku soku z marchwi odmiany Bangor, zmiana metody pozyskania z wolnoobrotowej na szybkoobrotową zredukowała zawartość sacharozy ponad pięciokrotnie. Dla soku marchwiowego Naponi, różnica w zawartości sacharozy po zmianie metody pozyskania soku była niewielka. W przypadku soków jabłkowych, większy wpływ metody tłoczenia na zawartość sacharozy zaobserwowano dla soku Ligol. Obecność sorbitolu odnotowano tylko w soku z jabłek odmiany Champion.

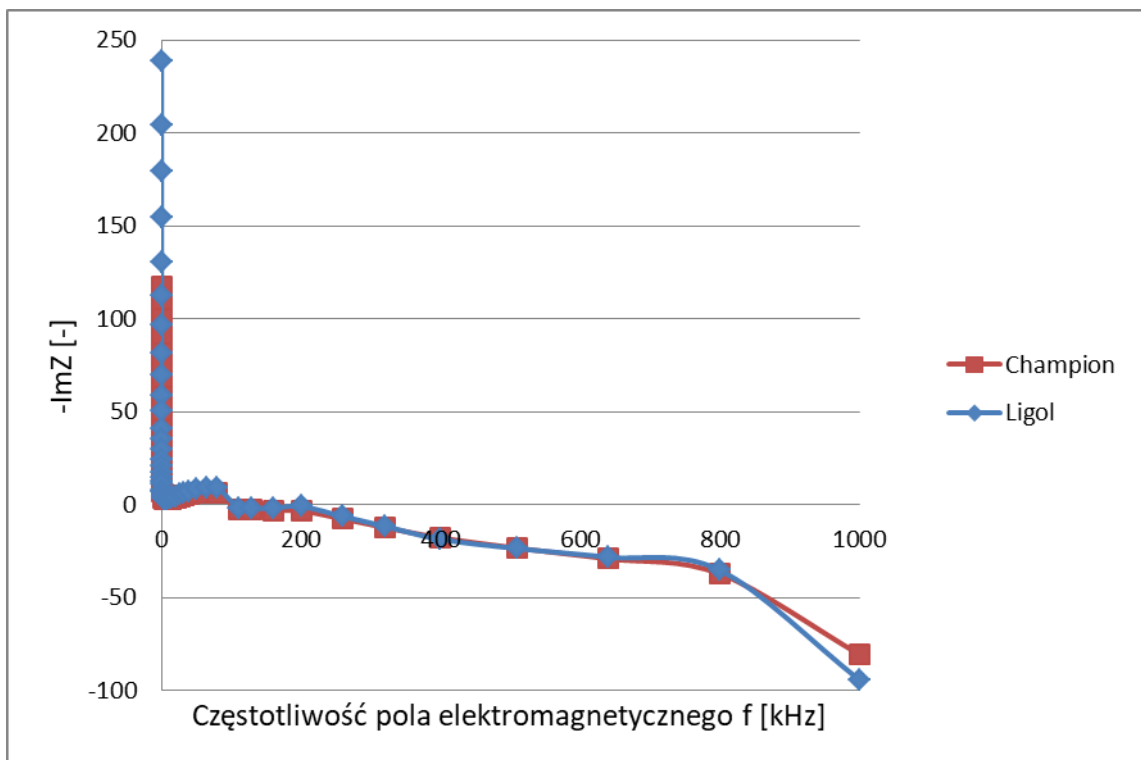
5.2 Zależność cech elektrycznych badanych soków od częstotliwości

Na rysunkach 11-22 przedstawiono zależność części rzeczywistej i urojonej impedancji, a także współczynnika strat dielektrycznych i przenikalności elektrycznej badanych soków od częstotliwości pola elektromagnetycznego w zakresie od 10 Hz do 1 MHz. Wykresy te pokazują badane zależności w pełnym zakresie częstotliwości, w jakim wykonano pomiary i dotyczą soków otrzymanych metodą szybkoobrotową.

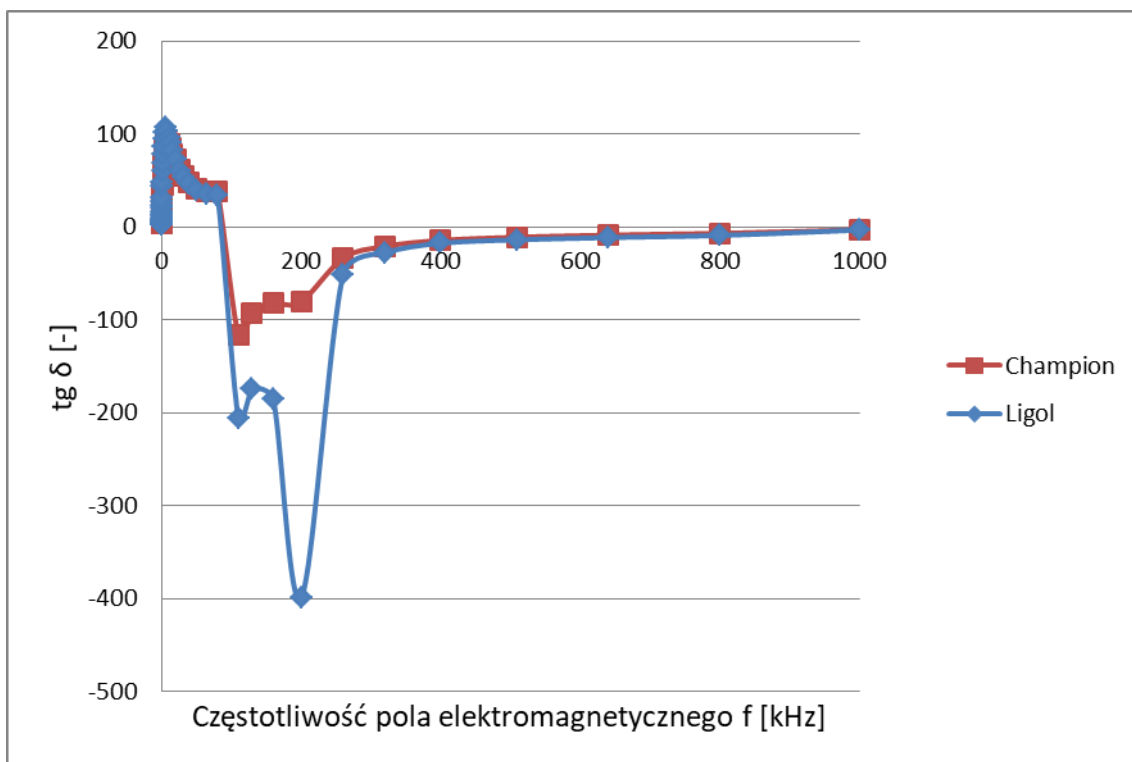
Sok jabłkowy:



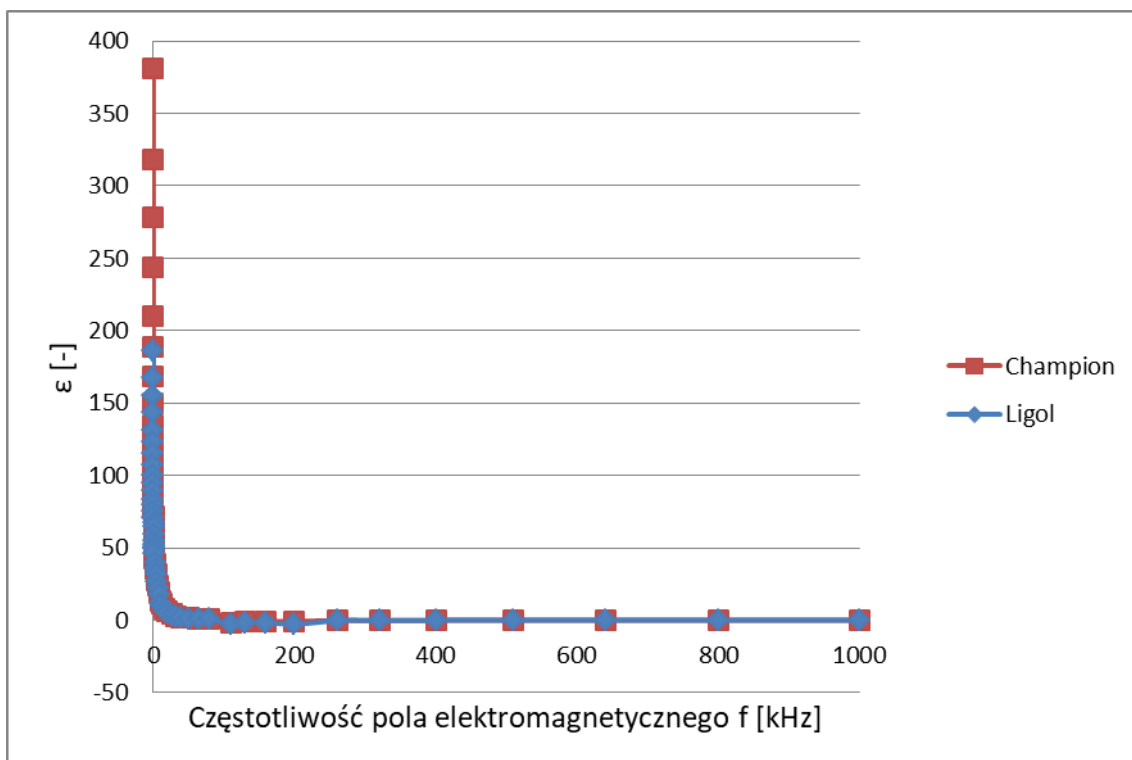
Rys. 11. Zależność części rzeczywistej impedancji od częstotliwości dla soków z jabłek Champion i Ligol.



Rys. 12. Zależność części urojonej impedancji od częstotliwości dla soków z jabłek Champion i Ligol.



Rys. 13. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od częstotliwości dla soków z jabłek Champion i Ligol.

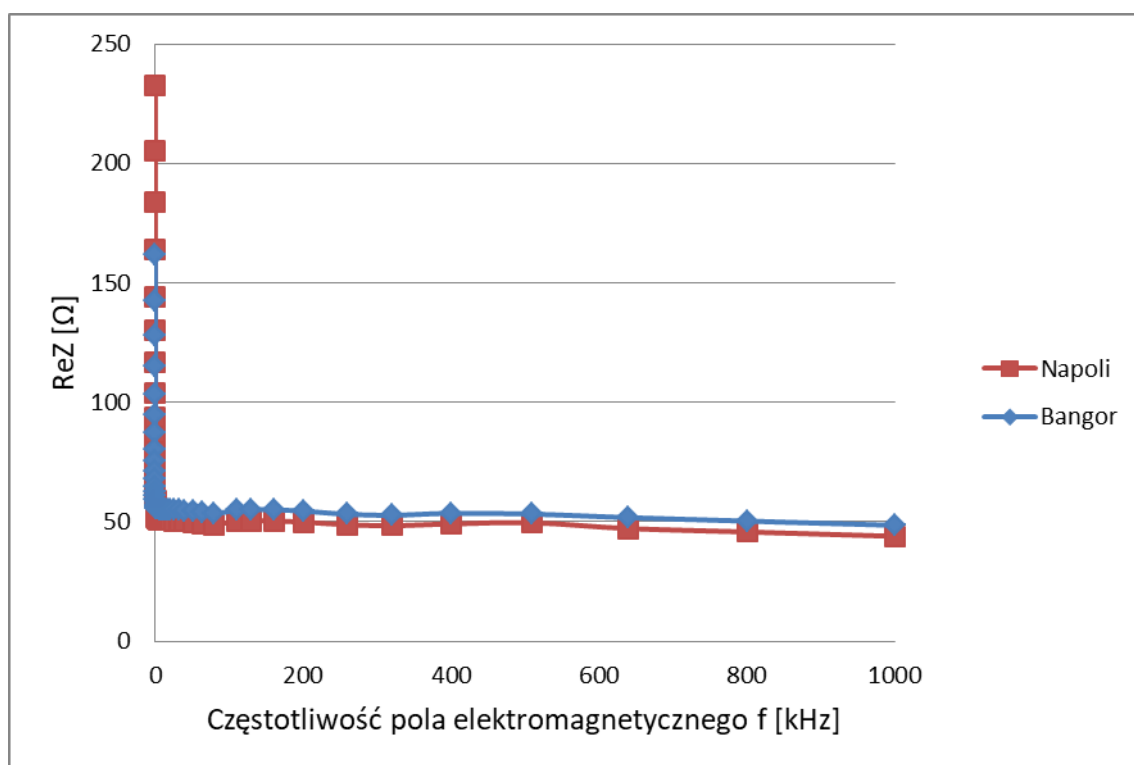


Rys. 14. Zależność przenikalności elektrycznej od częstotliwości dla soków z jabłek Champion i Ligol.

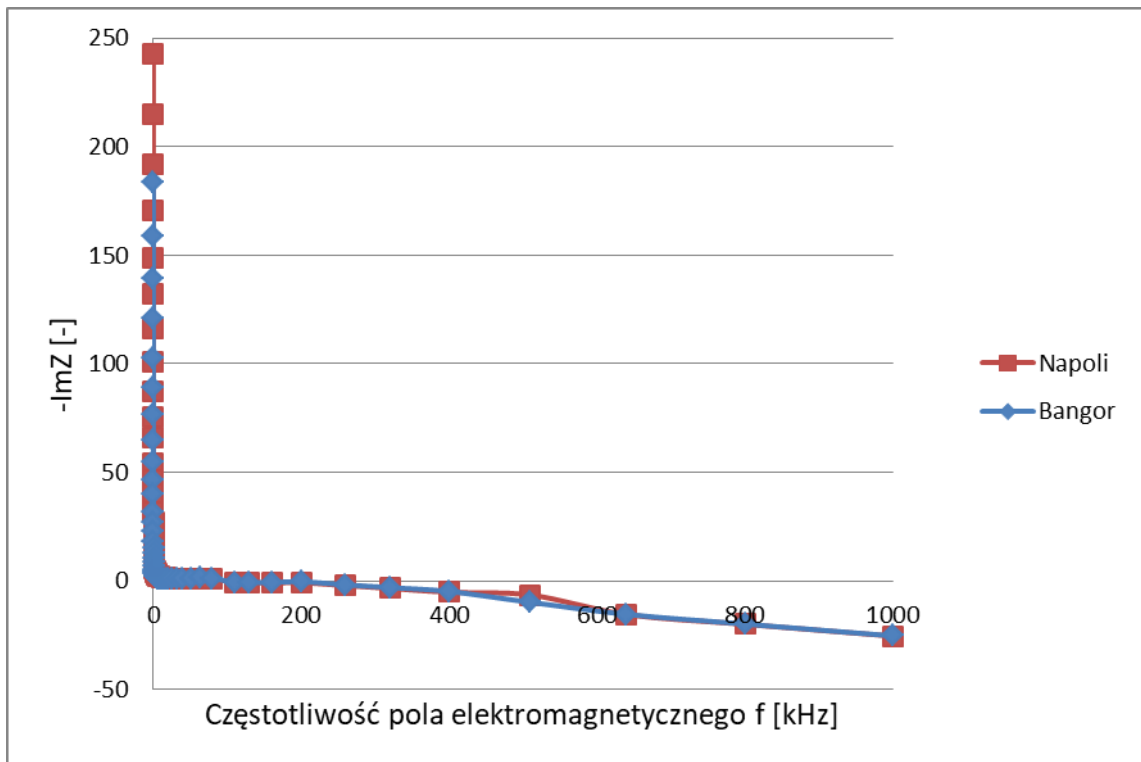
Wyniki testu U Manna-Whitneya wskazują, dla zakresu częstotliwości 10 Hz do 1 MHz, że istnieją istotne statystycznie różnice między sokiem z jabłek odmian Ligol

i Champion jedynie w przypadku części rzeczywistej impedancji ($p < 0,0001$). Z danych przedstawionych na powyższych wykresach wynika, że dla soków z tych dwóch odmian jabłek istnieją znaczne różnice w wartościach części urojonej impedancji oraz przenikalności elektrycznej tylko dla bardzo niskich częstotliwości. W przypadku współczynnika strat dielektrycznych różnice zaobserwowano dla częstotliwości poniżej 20 kHz. Z danych przedstawionych w tabeli 5 wynika, że soki odmiany Champion i Ligol znacznie różnią się zawartością polifenoli i właściwościami antyoksydacyjnymi. Analiza zawartości cukrów (tabela 6) wskazuje, że soki z jabłek tych dwóch odmian różnią się znacząco zawartością sacharozy i sorbitolu. Dlatego też można wskazać część rzeczywistą impedancji jako parametr potencjalnie użyteczny do oceny właściwości przeciwutleniających soku jabłkowego oraz do wykrywania dodatków sorbitolu i sacharozy. Pozostałe parametry elektryczne mogą być potencjalnie użyteczne w tym kontekście tylko w zawężonym zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego.

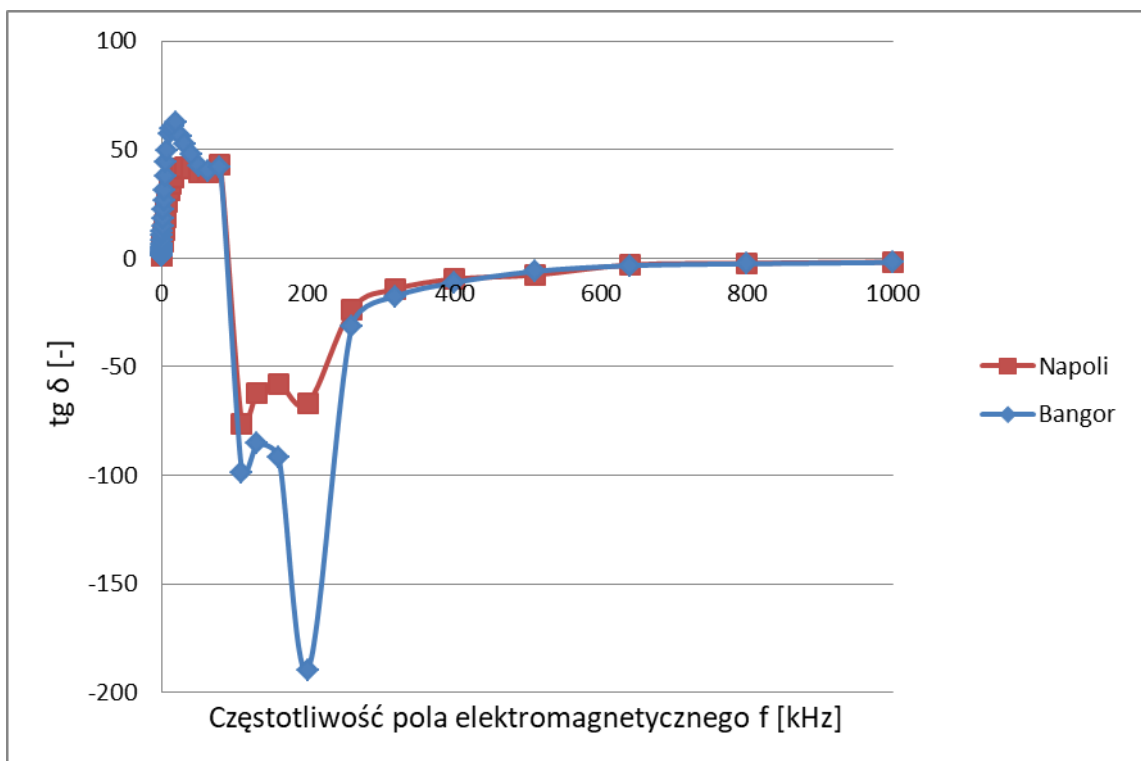
Sok marchwiowy:



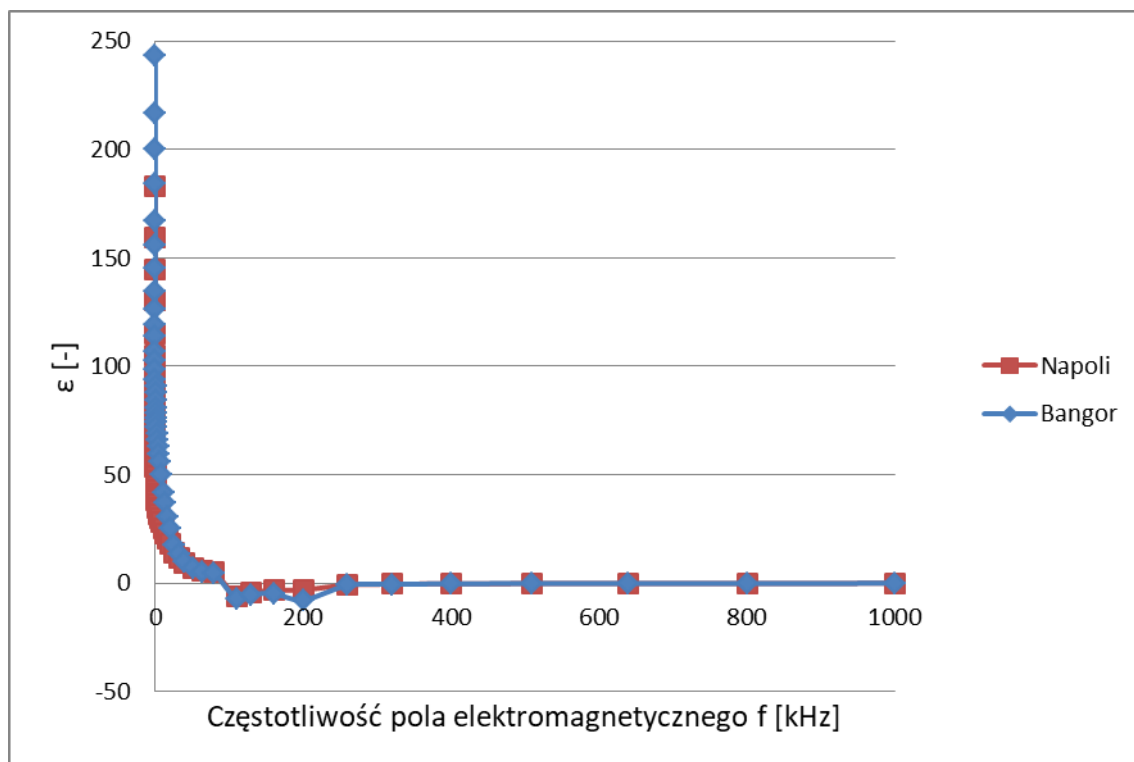
Rys. 15. Zależność części rzeczywistej impedancji od częstotliwości dla soków z marchwi Napoli i Bangor.



Rys. 16. Zależność części urojonej impedancji od częstotliwości dla soków z marchwi Napoli i Bangor



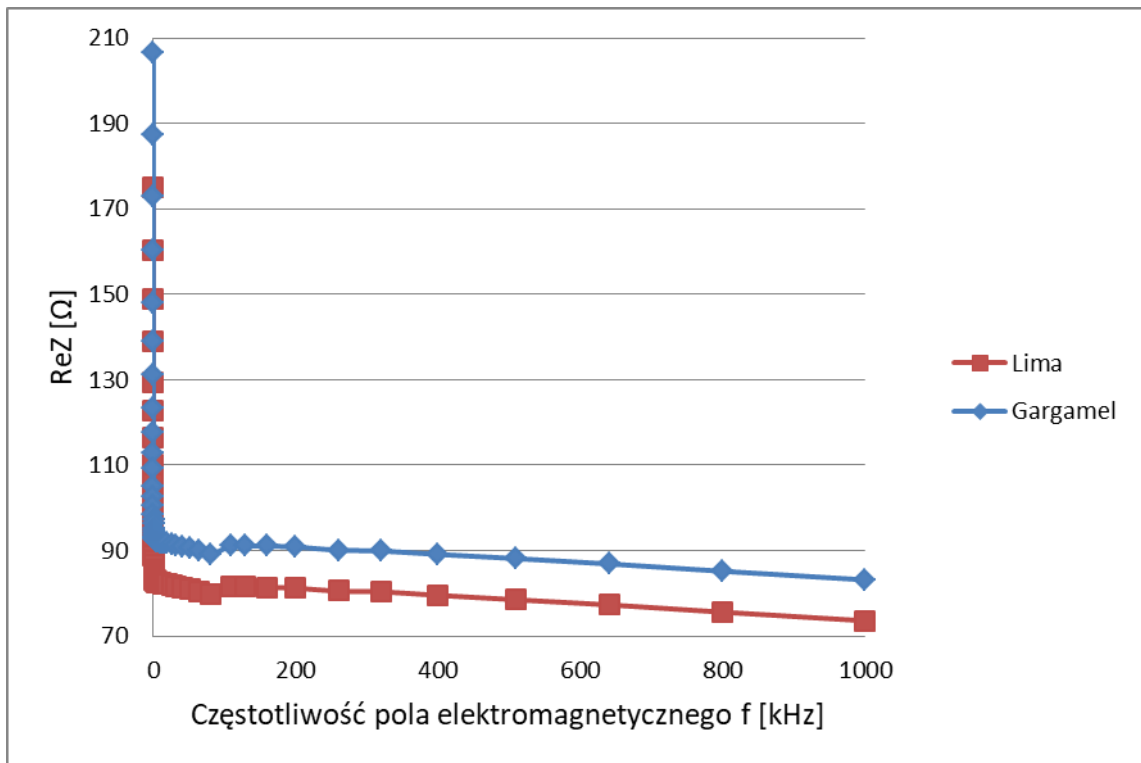
Rys.17. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od częstotliwości dla soków z marchwi Napoli i Bangor.



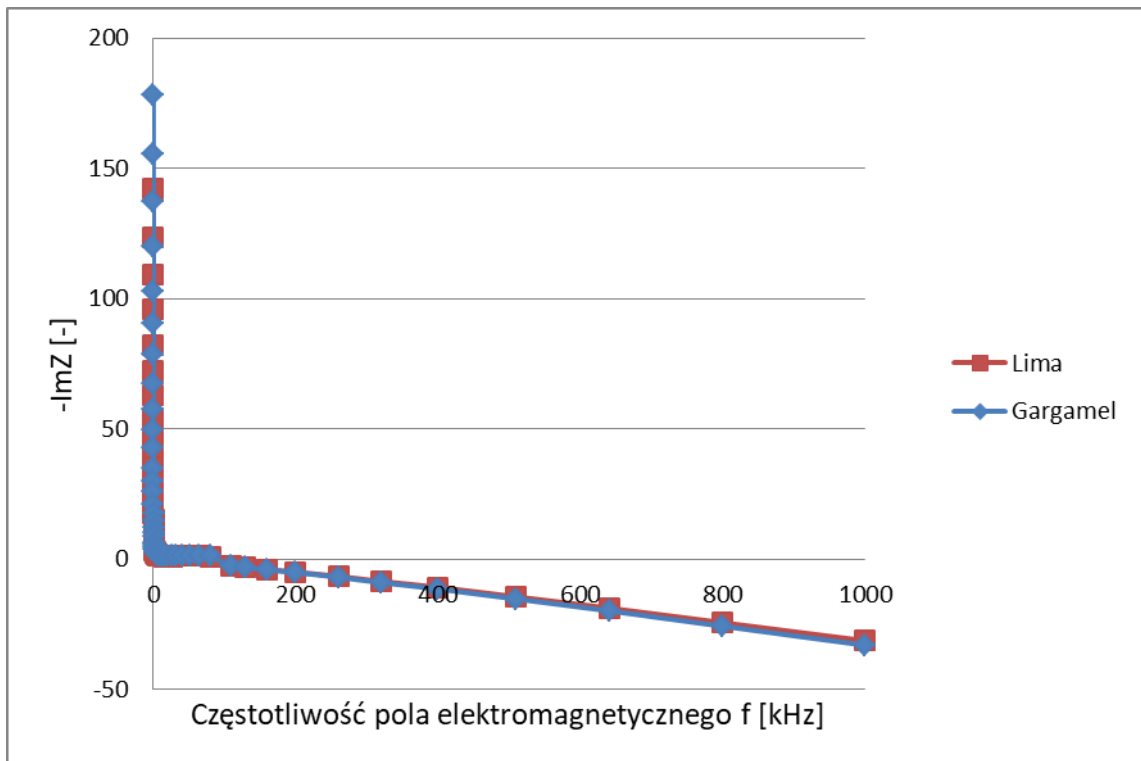
Rys. 18. Zależność przenikalności elektrycznej od częstotliwości dla soków z marchwi Napoli i Bangor.

Na podstawie wyników testu U Manna-Whitneya można stwierdzić, dla zakresu częstotliwości 10 Hz do 1 MHz, że istnieją istotne statystycznie różnice między sokiem z marchwi odmian Napoli i Bangor tylko dla części rzeczywistej impedancji ($p=0,005$). Z danych przedstawionych na rysunkach 16 i 18 wynika, że dla części urojonej impedancji oraz dla przenikalności elektrycznej można zauważyć różnice w wartościach tych parametrów tylko dla bardzo niskich częstotliwości. Natomiast w przypadku współczynnika strat dielektrycznych, różnice między sokiem z marchwi odmian Napoli i Bangor są widoczne dla częstotliwości nie przekraczających 320 kHz. Z danych przedstawionych w tabeli 5 wynika, że sok z marchwi odmiany Napoli zawiera nieco więcej polifenoli i ma lepsze właściwości przeciwutleniające wykazane metodą FRAP, niż sok z marchwi odmiany Bangor. Dane przedstawione w tabeli 6 wskazują, że sok z marchwi odmiany Napoli charakteryzuje się większą zawartością wszystkich badanych cukrów. Zawartość sacharozy w soku z marchwi odmiany Napoli jest prawie czterokrotnie wyższa, niż w soku z marchwi odmiany Bangor. W związku z tym można oczekiwać, że część rzeczywista impedancji będzie potencjalnie użyteczna do oceny właściwości przeciwutleniających soku marchwiowego oraz do wykrywania dodatków substancji słodzących. Natomiast pozostałe parametry elektryczne mogą być potencjalnie użyteczne do oceny jakości soku marchwiowego tylko w zawężonym zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego.

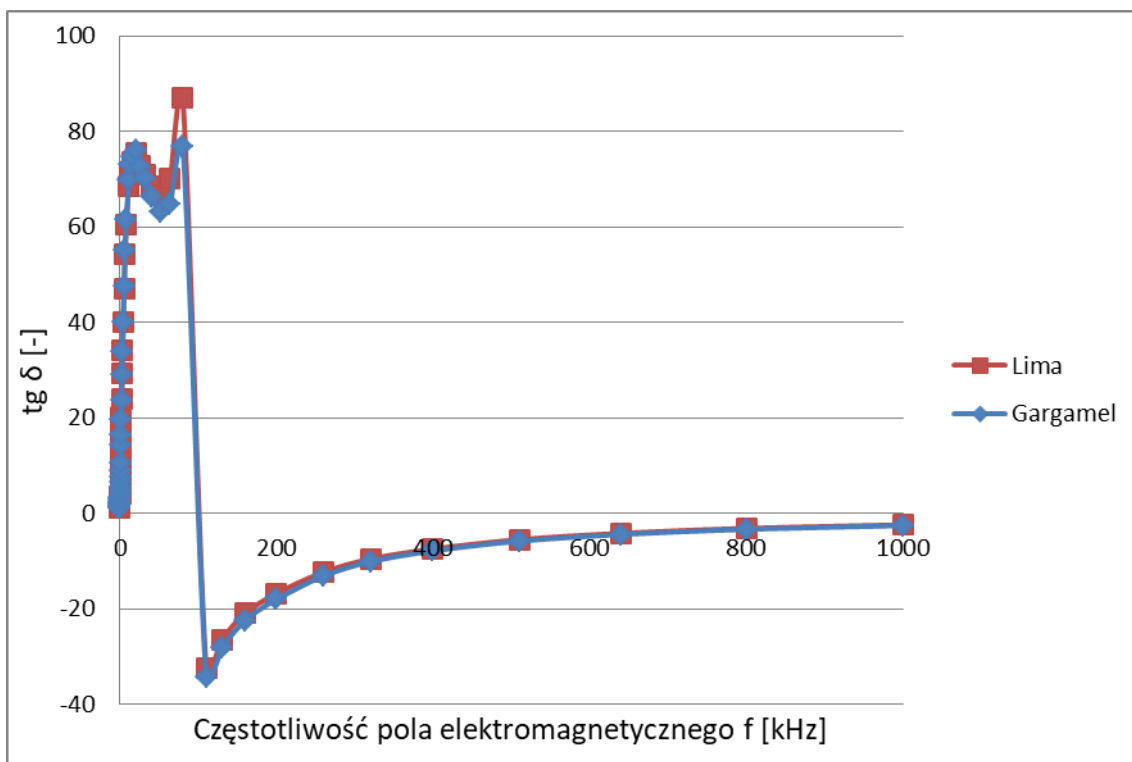
Sok pomidorowy:



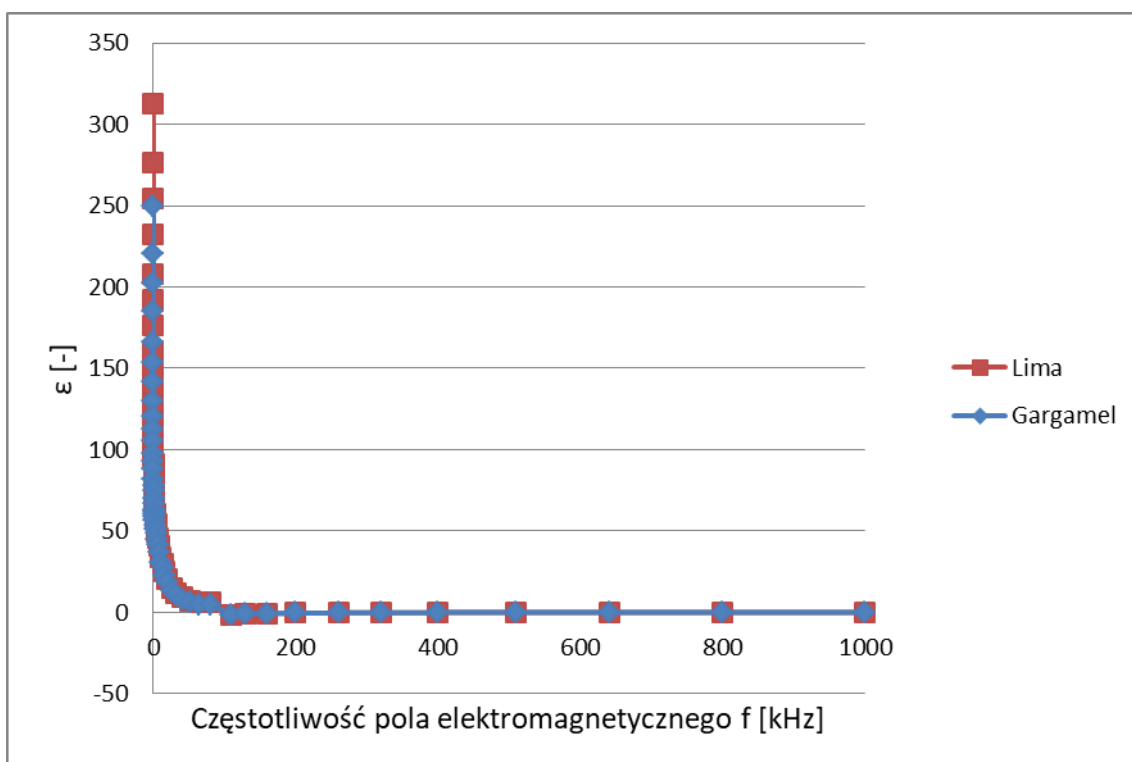
Rys. 19. Zależność części rzeczywistej impedancji od częstotliwości dla soków z pomidorów Lima i Gargamel.



Rys. 20. Zależność części urojonej impedancji od częstotliwości dla soków z pomidorów Lima i Gargamel.



Rys.21. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od częstotliwości dla z pomidorów Lima i Gargamel



Rys. 22. Zależność przenikalności elektrycznej od częstotliwości dla soków z pomidorów Lima i Gargamel

Wyniki uzyskane na podstawie testu U Manna-Whitneya wskazują, dla zakresu częstotliwości 10 Hz do 1 MHz, na istotne statystycznie różnice między sokiem z

pomidorów odmian Lima i Gargamel jedynie w przypadku części rzeczywistej impedancji ($p < 0,0001$). Na rysunkach 20 i 22 można zaobserwować, że wartości części urojonej impedancji oraz przenikalności elektrycznej różnią się dla badanych soków pomidorowych tylko w bardzo niskich częstotliwościach. Natomiast nie zaobserwowano znaczących różnic między sokiem z pomidorów odmiany Lima i Gargamel dla wartości współczynnika strat dielektrycznych. Z danych przedstawionych w tabeli 5 wynika, że badane soki pomidorowe różnią się zawartością polifenoli jedynie w niewielkim stopniu. Natomiast znacząco różnią się właściwościami przeciwutleniającymi. Dość duże różnice zaobserwowano w przypadku zawartości cukrów, szczególnie glukozy. Dlatego też można założyć, że część rzeczywista impedancji może służyć jako wskaźnik właściwości antyoksydacyjnych oraz dodatku glukozy do soku pomidorowego. Natomiast pozostałe parametry elektryczne mogą być potencjalnie użyteczne do oceny jakości soku pomidorowego jedynie w zawężonym zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego.

5.3 Analiza możliwości wykorzystania parametrów elektrycznych soków do wykrywania obecności dodatków do żywności

Analizy statystyczne wykazały, że w przypadku wszystkich badanych parametrów elektrycznych brak jest statystycznie istotnych różnic między sokami czystymi i sokami z dodatkami dowolnych substancji opisanych w rozdziale 4., jeśli parametry te są mierzone w szerokim zakresie częstotliwości, to znaczy od 10 Hz do 1 MHz.. Dlatego dalsze analizy statystyczne wymagały odpowiedniego zawężenia zakresu częstotliwości w taki sposób, aby uzyskać istotne różnice między sokiem czystym i sokiem z dodatkami. Zawężone zakresy częstotliwości dobierano oddzielnie dla każdego rodzaju soku. Na rysunkach 23a-66a przedstawiono zależność od częstotliwości tych parametrów elektrycznych, dla których wyniki testów statystycznych (test Kruskala-Wallisa) wykazały potencjalną przydatność do wykrywania danego dodatku do soku. Natomiast na rysunkach 23b-66b przedstawiono zależność tych parametrów od stężenia dodatku wraz z linią trendu. Analiza danych pokazanych na rysunkach 23b-66b pozwoliła na ocenę monotoniczności trendu, a tym samym zweryfikowanie wniosków sformułowanych na podstawie wyników testów statystycznych.

Sok jabłkowy

Wyniki badań statystycznych wskazały, że badane parametry elektryczne różnicują w sposób istotny statystycznie sok jabłkowy czysty i soki z dodatkami substancji słodzących, wody i witaminy C, jeśli parametry te są mierzone w zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego od 1,1 kHz do 5,1 kHz. W tym zakresie częstotliwości test U Manna-Whitneya nie wykazał statystycznie istotnych różnic między czystym sokiem z jabłek odmiany Champion i sokiem z jabłek odmiany Ligol w przypadku żadnego z badanych parametrów elektrycznych. Analizując parametry elektryczne soków otrzymanych z owoców ze skórką i bez skórki, stwierdzono istotne statystycznie różnice między tymi sokami dla części rzeczywistej impedancji i przenikalności elektrycznej (Champion) oraz dla części rzeczywistej i urojonej impedancji, a także przenikalności elektrycznej (Ligol).

Sok z jabłek odmiany Champion

Dodatek wody

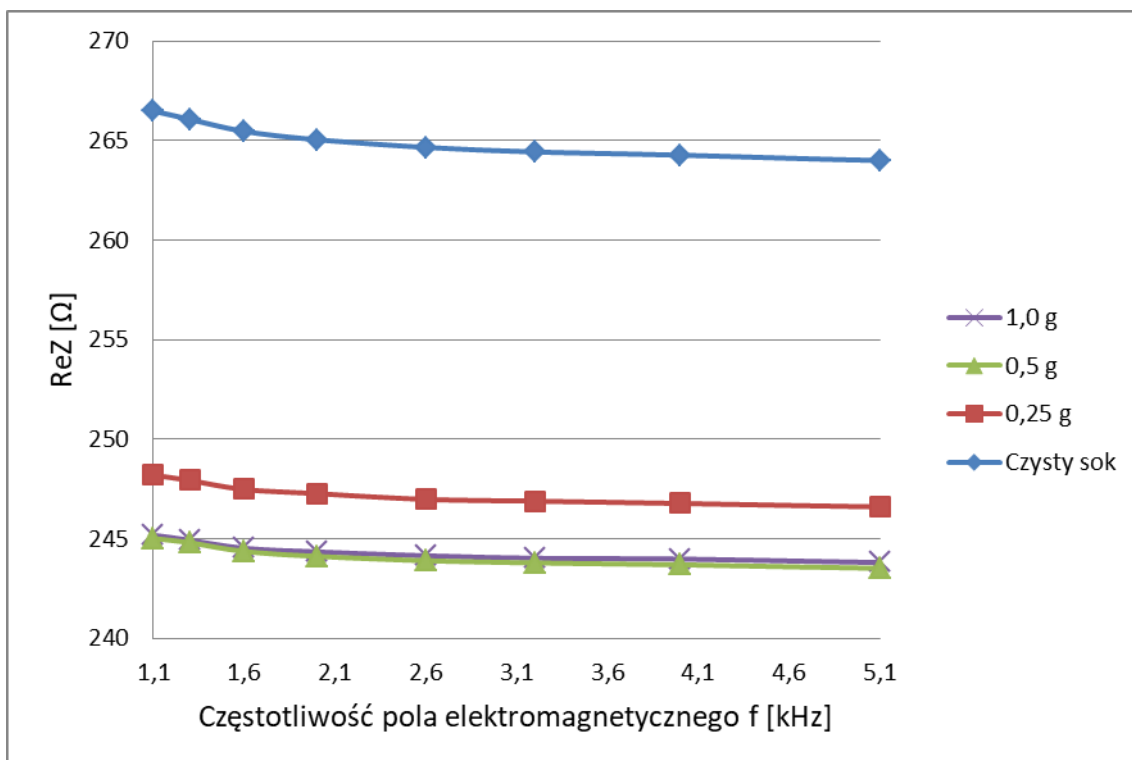
Wyniki analiz statystycznych nie wykazały istotnych statystycznie różnic między sokiem czystym i sokiem z dodatkiem wody od 10% do 30% dla żadnego z badanych parametrów elektrycznych.

Dodatek witaminy C

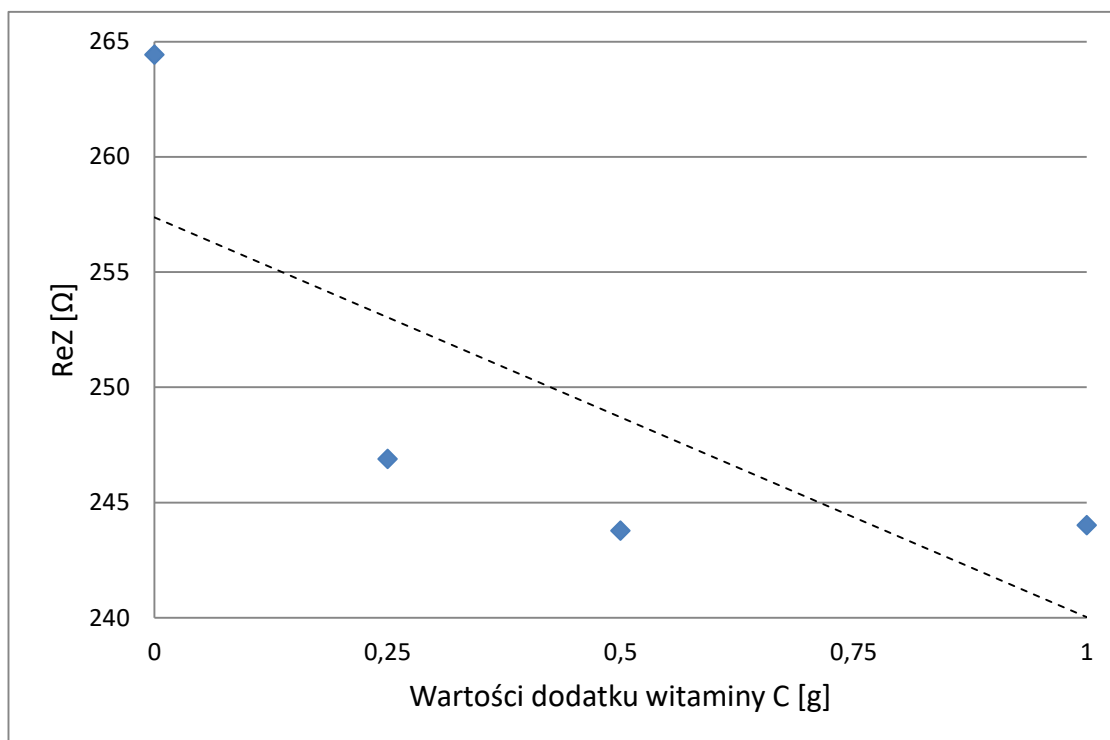
Na podstawie wyników testu statystycznego stwierdzono, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym a sokiem z dodatkiem witaminy C, jeśli ten dodatek wynosi 0,5 g lub więcej.

Dodatek glukozy

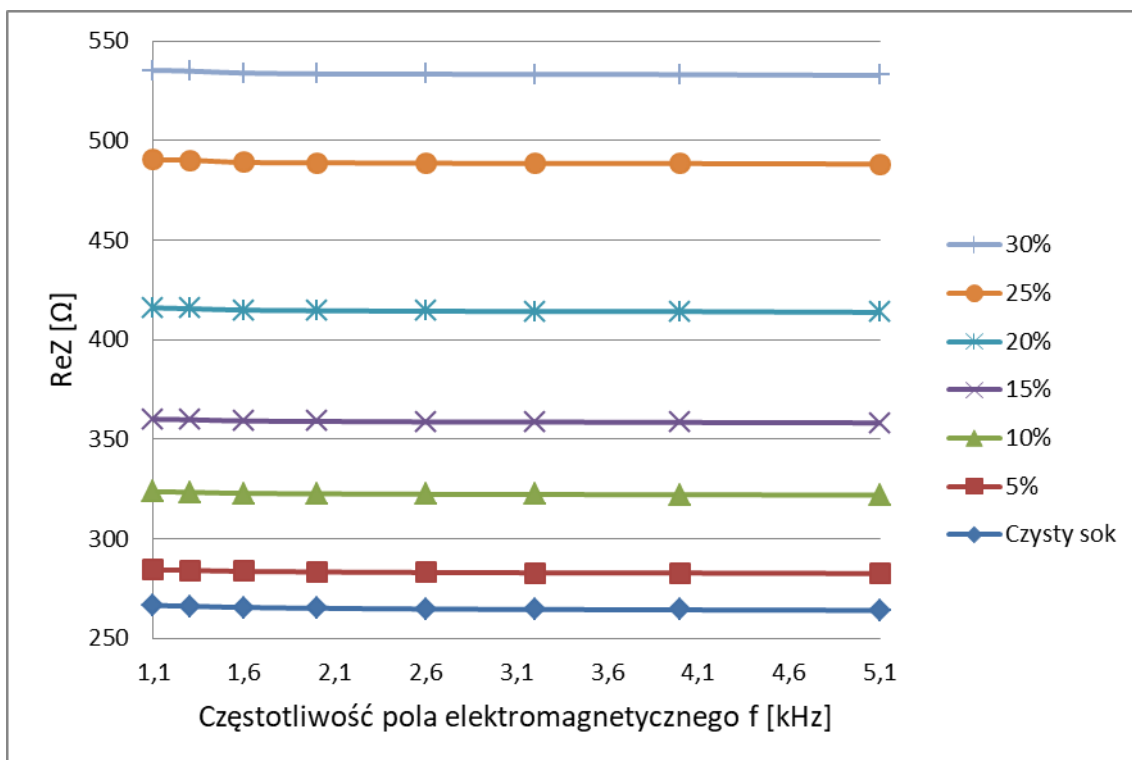
W przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem glukozy wynoszącym 15% lub więcej. Również współczynnik strat dielektrycznych różnicuje w sposób istotny statystycznie sok czysty od soku z dodatkiem glukozy, jeśli dodatek substancji słodzącej wynosi co najmniej 30%.



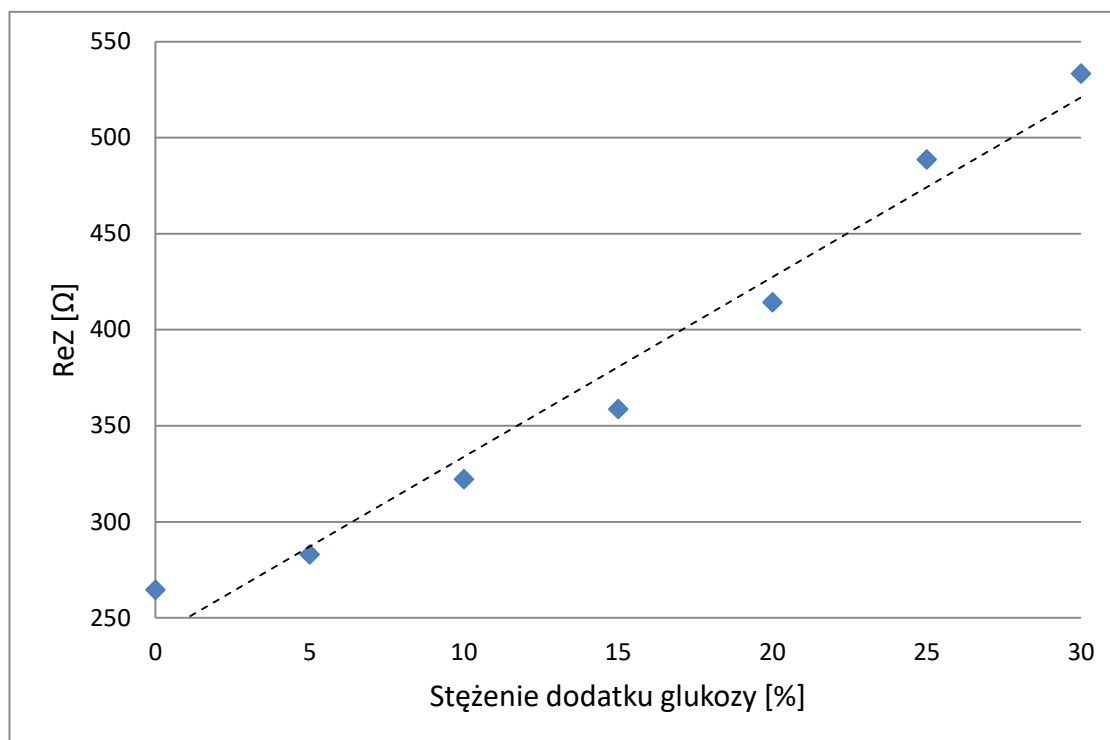
Rys. 23a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.



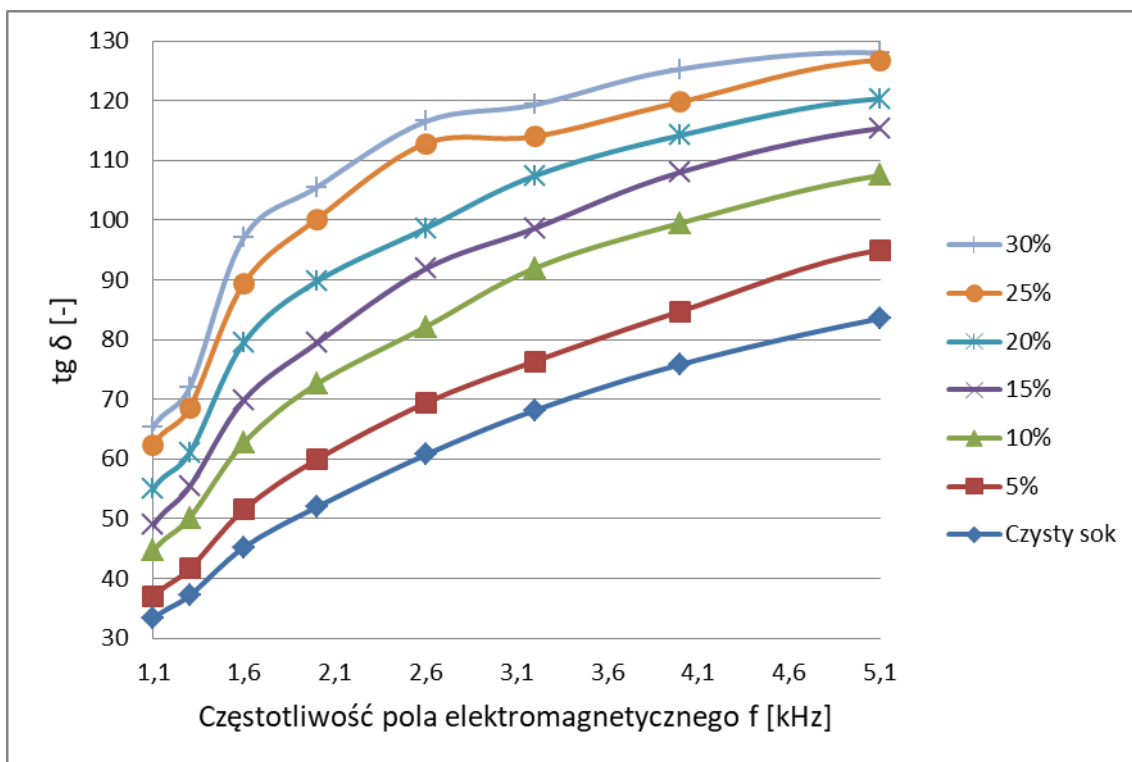
Rys. 23b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.



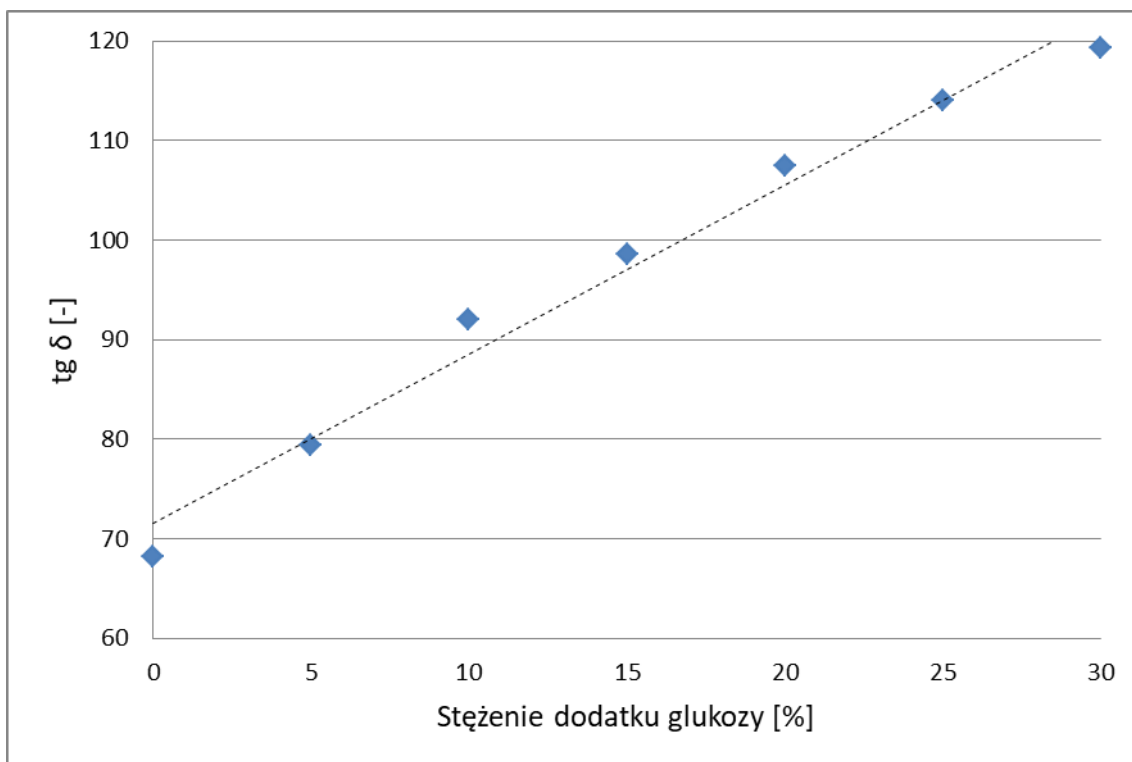
Rys. 24a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.



Rys. 24b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.



Rys. 25a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

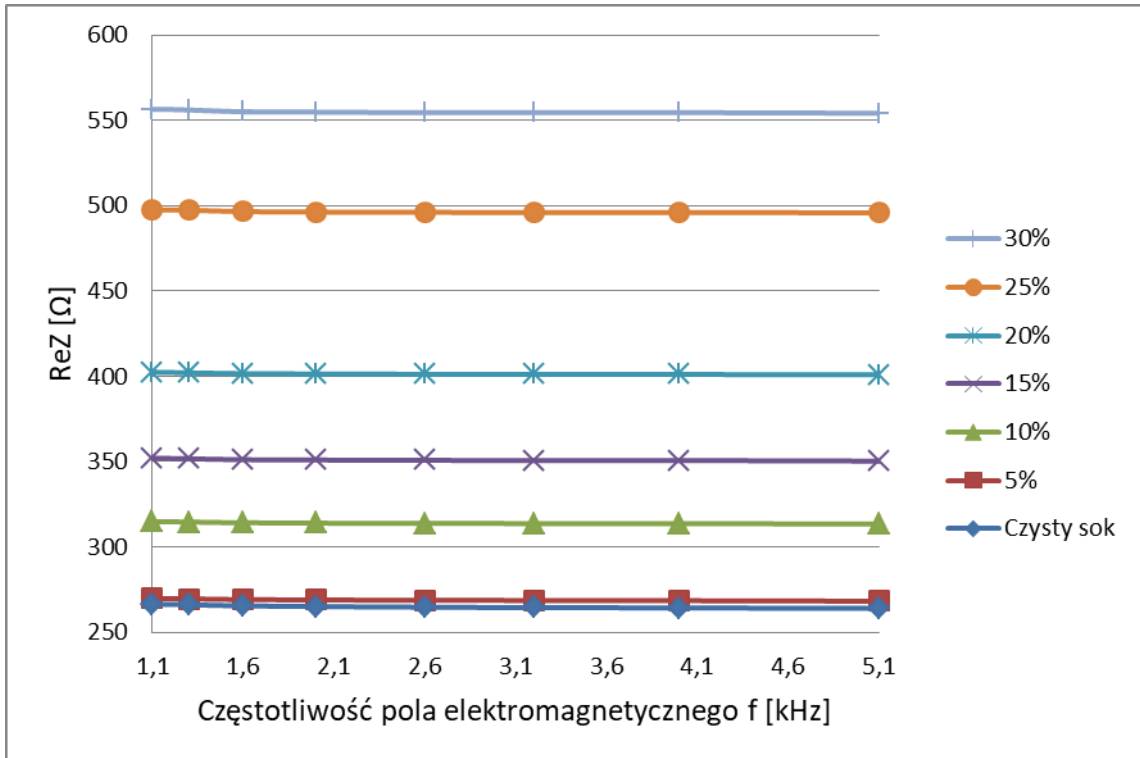


Rys. 25b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.

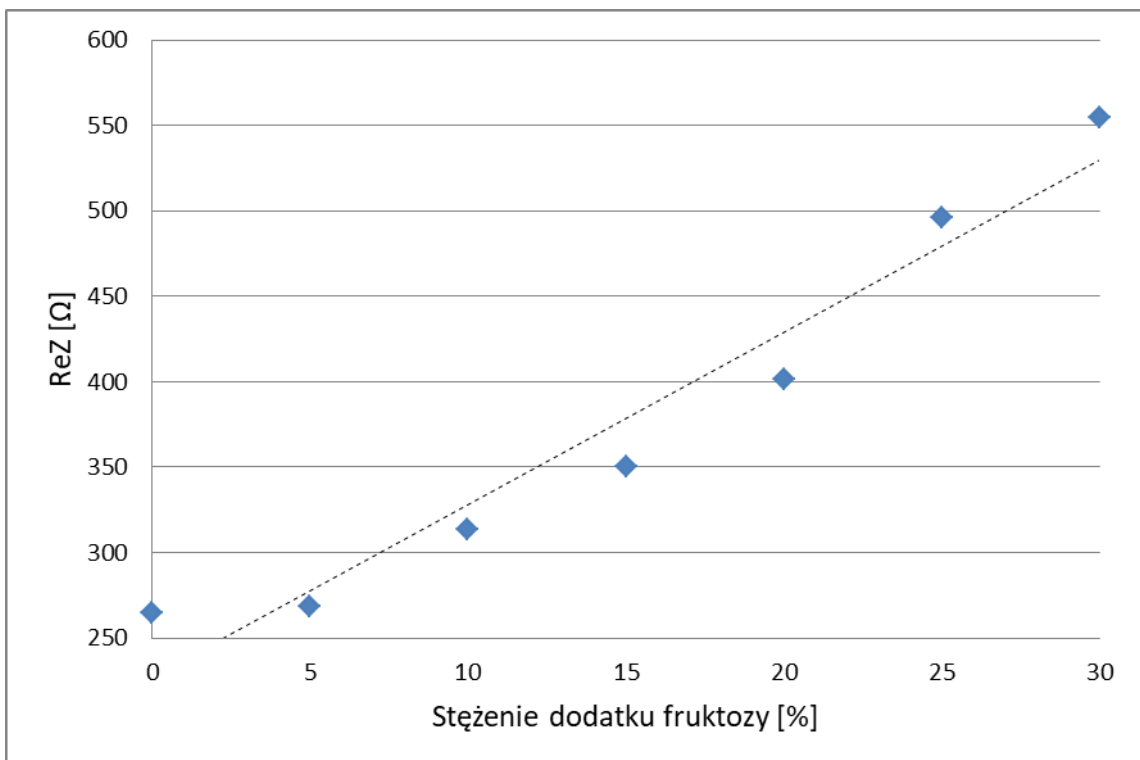
Dodatek fruktozy

Na podstawie wyników testu Kruskala-Wallisa stwierdzono, że istnieją statystycznie istotne różnice między częścią rzeczywistą impedancji soku czystego i soku z

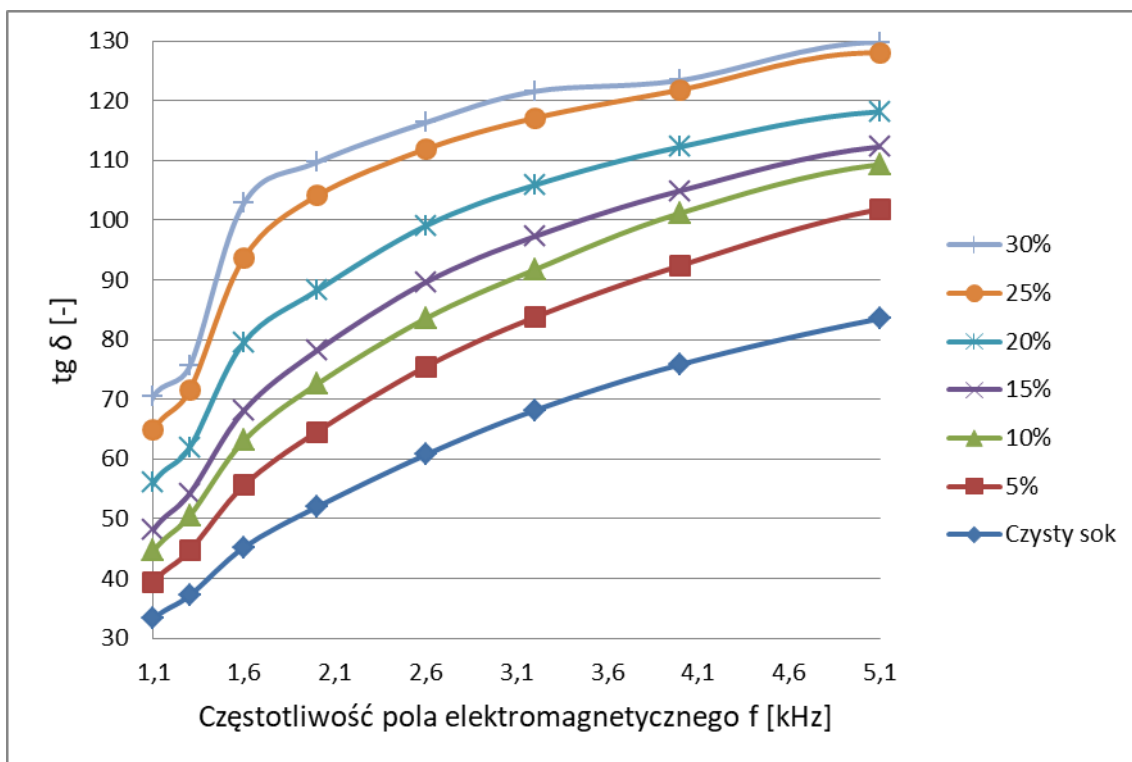
dotądkiem fruktozy, w przypadku, gdy ten dodatek wynosi co najmniej 20%. Istotne statystycznie różnice zaobserwowano także dla współczynnika strat dielektrycznych, jeśli dodatek fruktozy wynosi co najmniej 25%.



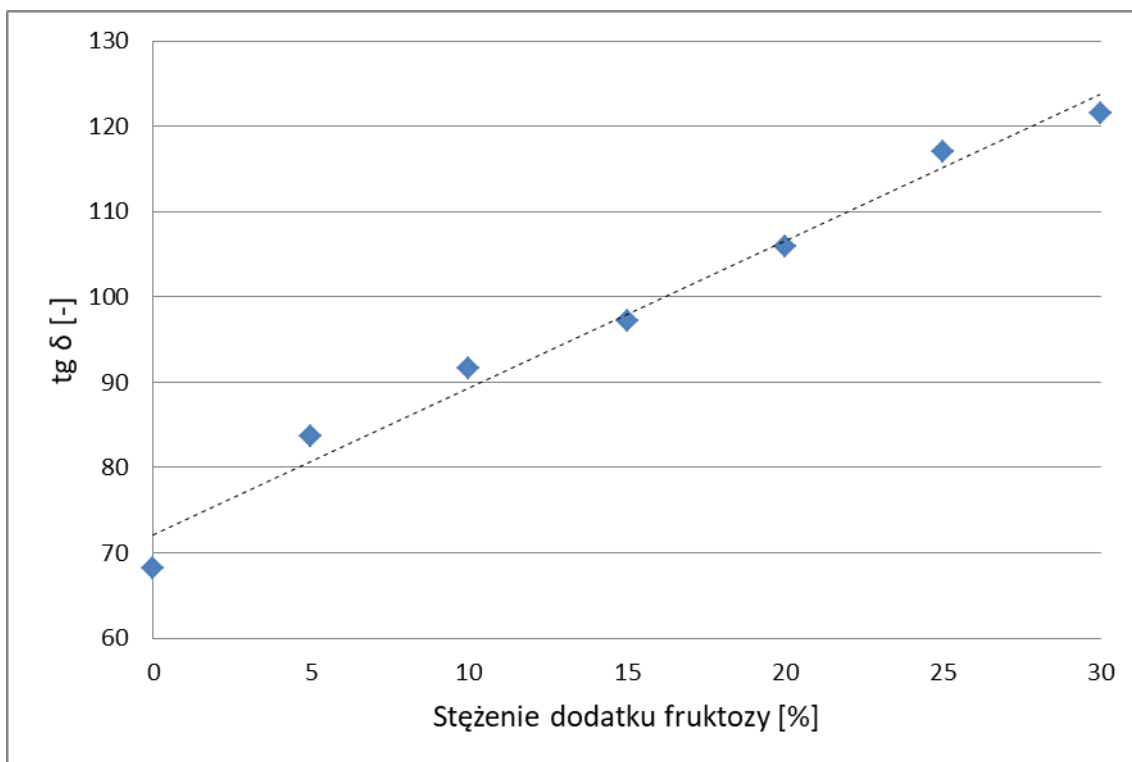
Rys. 26a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.



Rys. 26b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.



Rys. 27a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

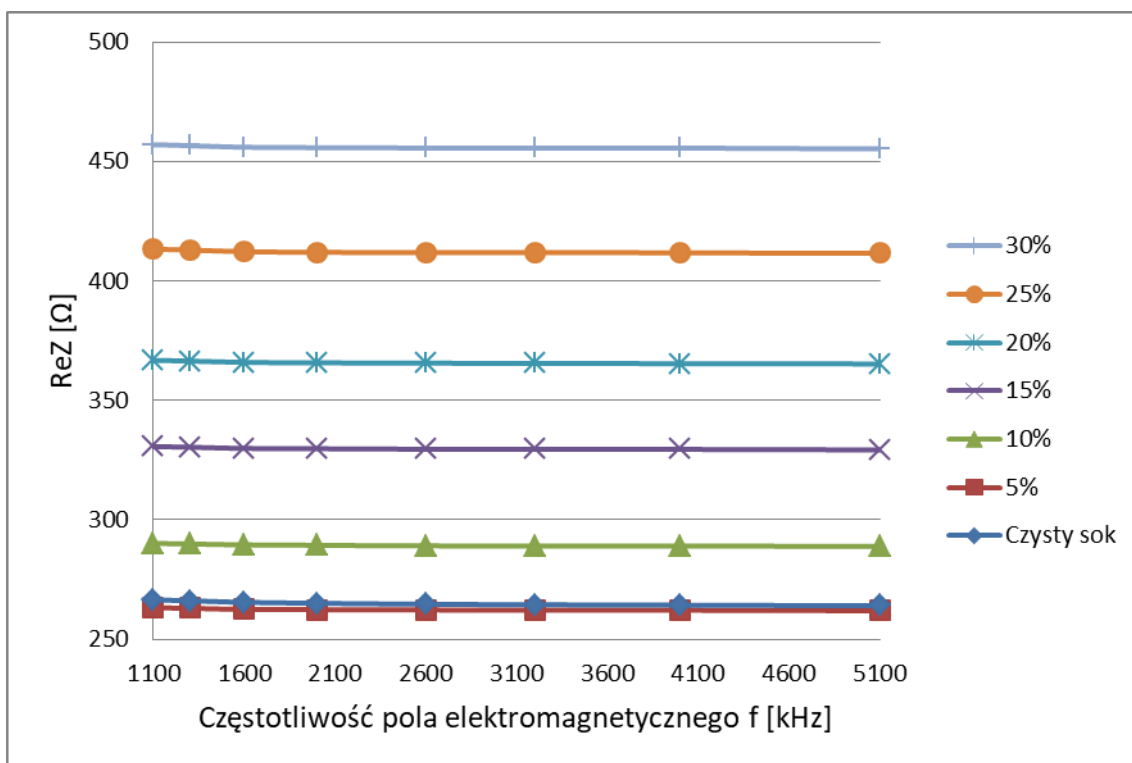


Rys. 27b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.

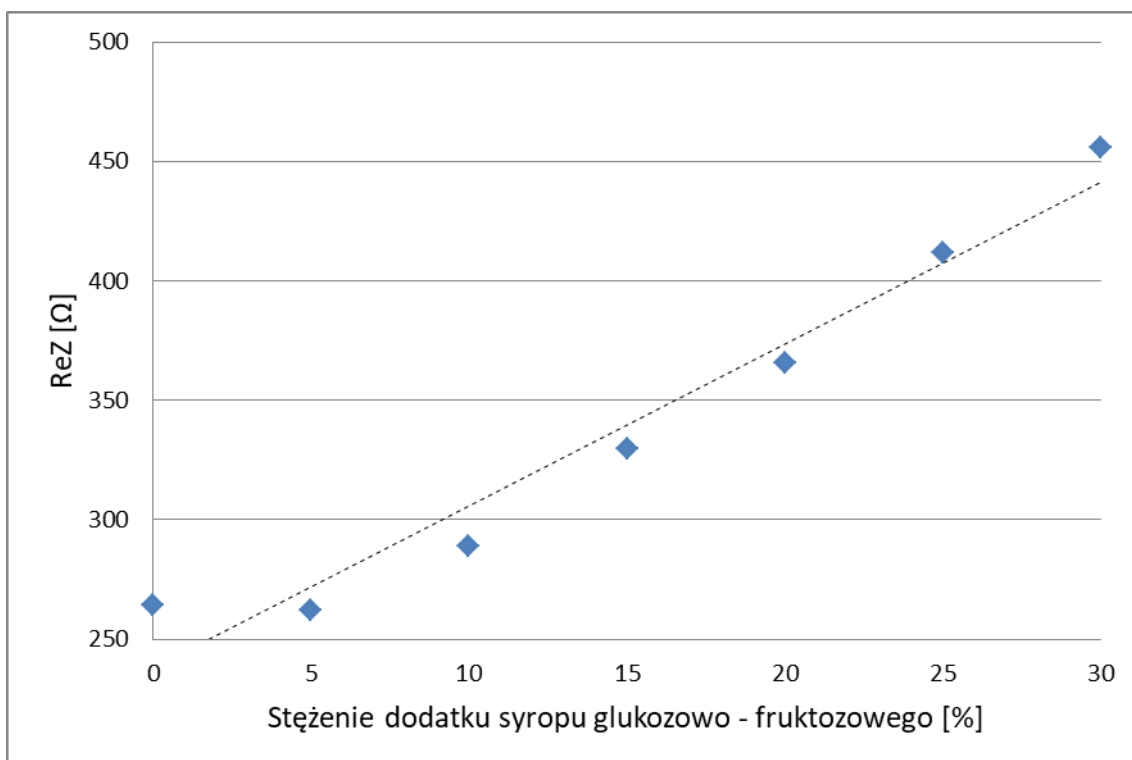
Dodatek syropu glukozowo-fruktozowego

Dla tego dodatku zaobserwowano statystycznie istotne różnice części rzeczywistej

impedancji między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem syropu, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 25%.



Rys. 28a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.



Rys. 28b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.

Zależności przedstawione na rysunkach 23b-27b wskazują, że parametry elektryczne zmieniają się w sposób monotoniczny wraz ze wzrostem stężenia analizowanego dodatku. Potwierdza to wykazaną za pomocą testów statystycznych przydatność tych parametrów do różnicowania soków czystych od soków z dodatkami w danych stężeniach. Natomiast na rysunku 28b można zaobserwować spadek wartości części rzeczywistej impedancji soku z dodatkiem 5% syropu glukozowo-fruktozowego w stosunku do soku czystego. Dalszy wzrost stężenia dodatku powoduje wzrost wartości części rzeczywistej impedancji. Jednak biorąc pod uwagę fakt, że wyniki analizy statystycznej wykazały przydatność tego parametru elektrycznego do wykrywania dodatku substancji słodzącej nie mniejszego niż 25%, to zaburzenie monotoniczności można zignorować.

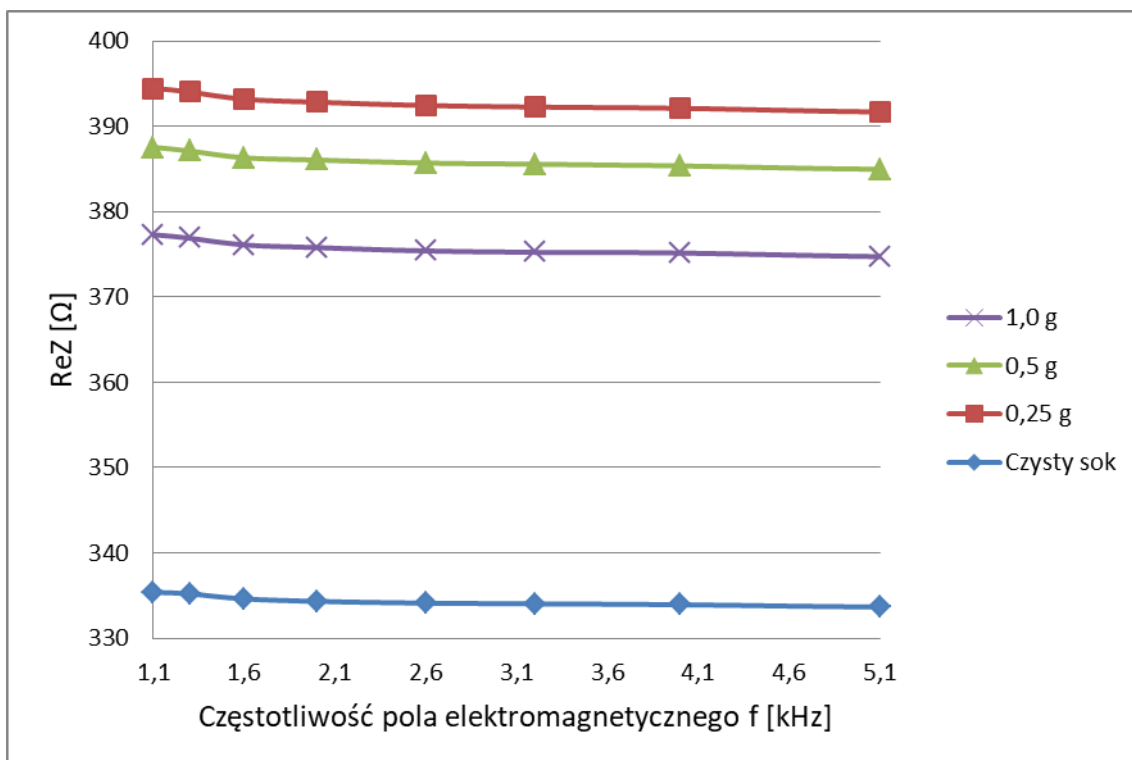
Sok z jabłek odmiany Ligol

Dodatek wody

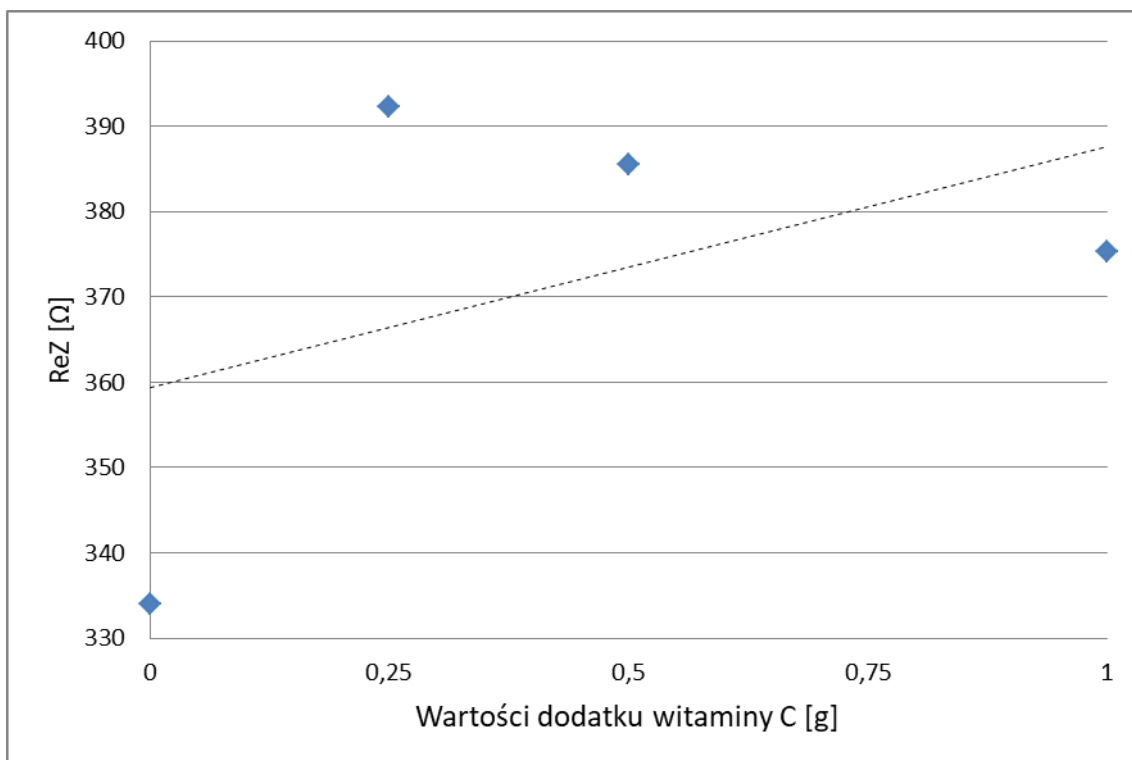
Wyniki analiz statystycznych wykazały statystycznie istotną różnicę w przypadku części rzeczywistej impedancji między czystym sokiem a sokiem z dodatkiem wody wynoszącym 10%. Istotne statystycznie różnice zaobserwowano także między sokiem z dodatkiem wody wynoszącym 10% a sokiem z 30% dodatkiem wody. Ponieważ brak jest statystycznie istotnej różnicy między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem wody przekraczającym 10%, brak jest przesłanek do rozważania części rzeczywistej impedancji jako wskaźnika dodatku wody do soku.

Dodatek witaminy C

Na podstawie wyników testów statystycznych można stwierdzić, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem witaminy C, jeśli ten dodatek wynosi minimum 0,5 g. Jest to wynik identyczny jak w przypadku soku z jabłek odmiany Champion.



Rys. 29a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.

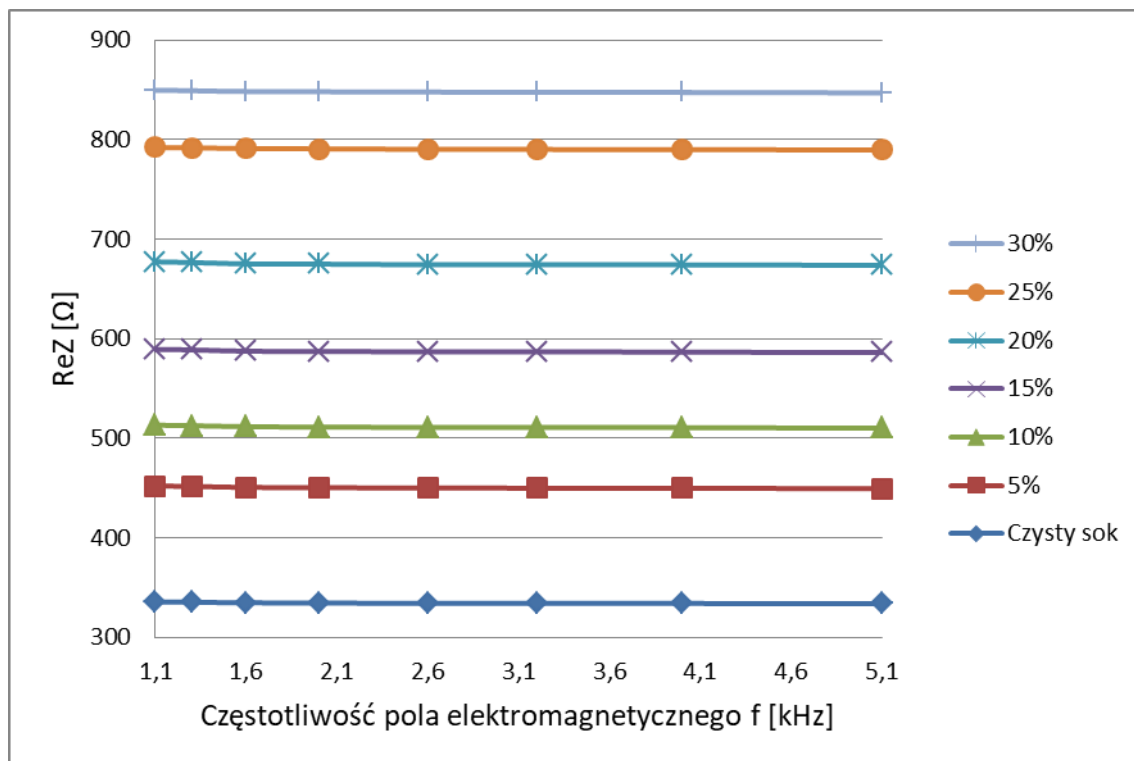


Rys. 29b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

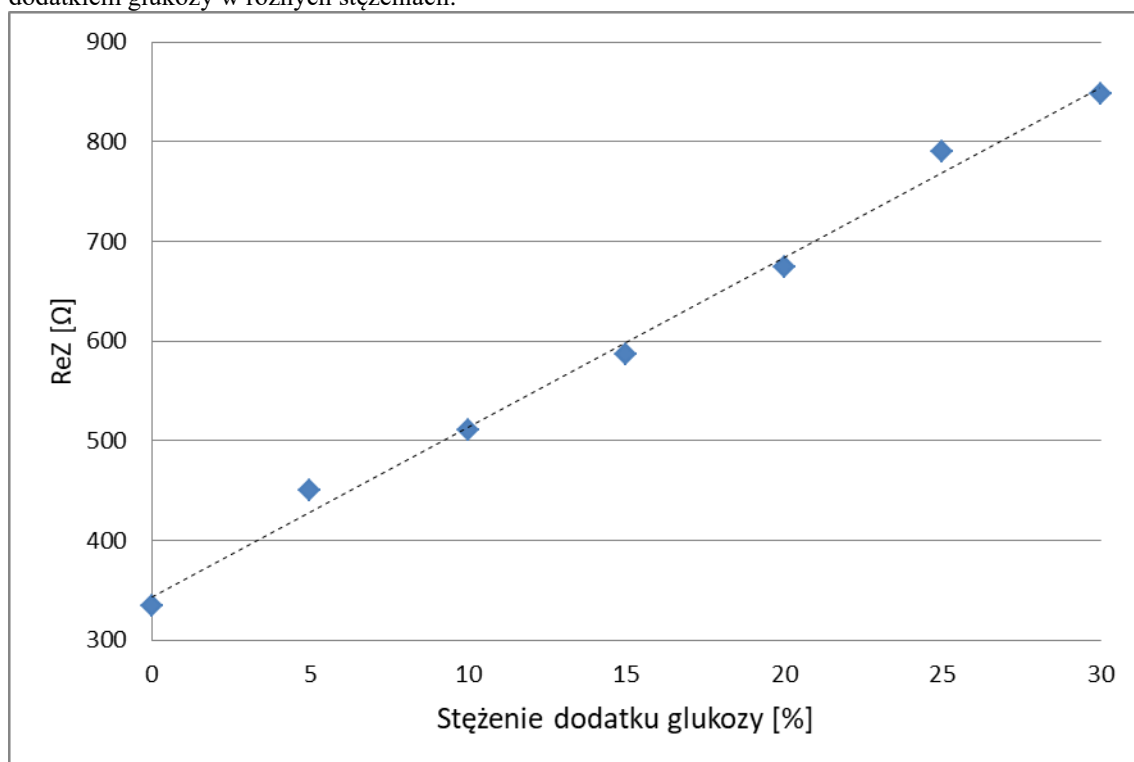
Dodatek glukozy

Analizując zależność części rzeczywistej impedancji od dodatku glukozy stwierdzono, że istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym, a sokiem z

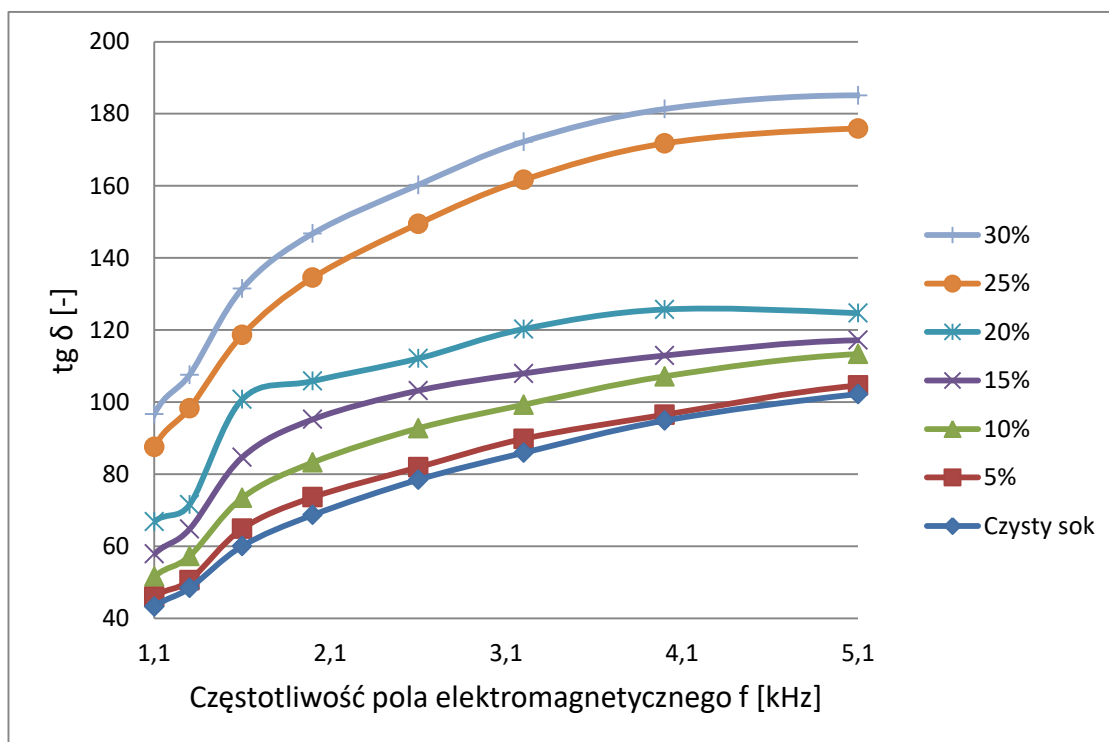
dotatkem glukozy, jeśli dodatek ten wynosi co najmniej 20%. Istotnie statystycznie różnice uzyskano również dla współczynnika strat dielektrycznych. Różnicuje on sok czysty od soku z dodatkiem glukozy jeśli dodatek substancji słodzącej wynosi co najmniej 25%.



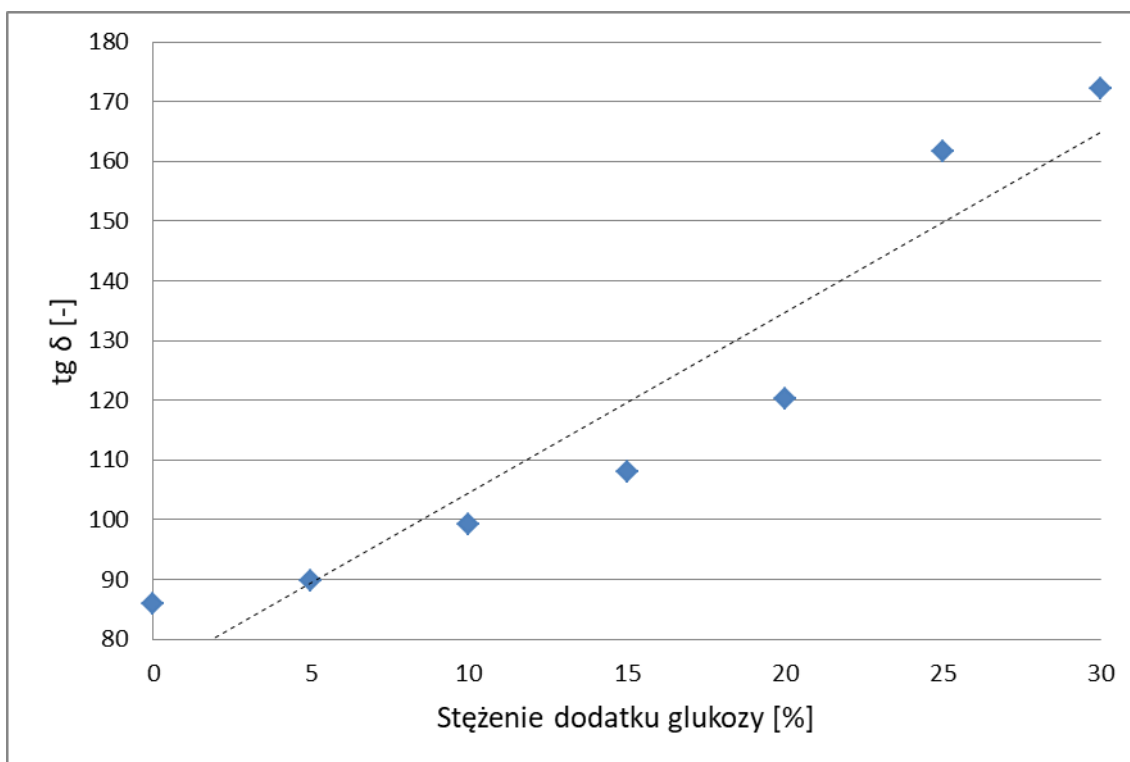
Rys. 30a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.



Rys. 30b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.



Rys. 31a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach

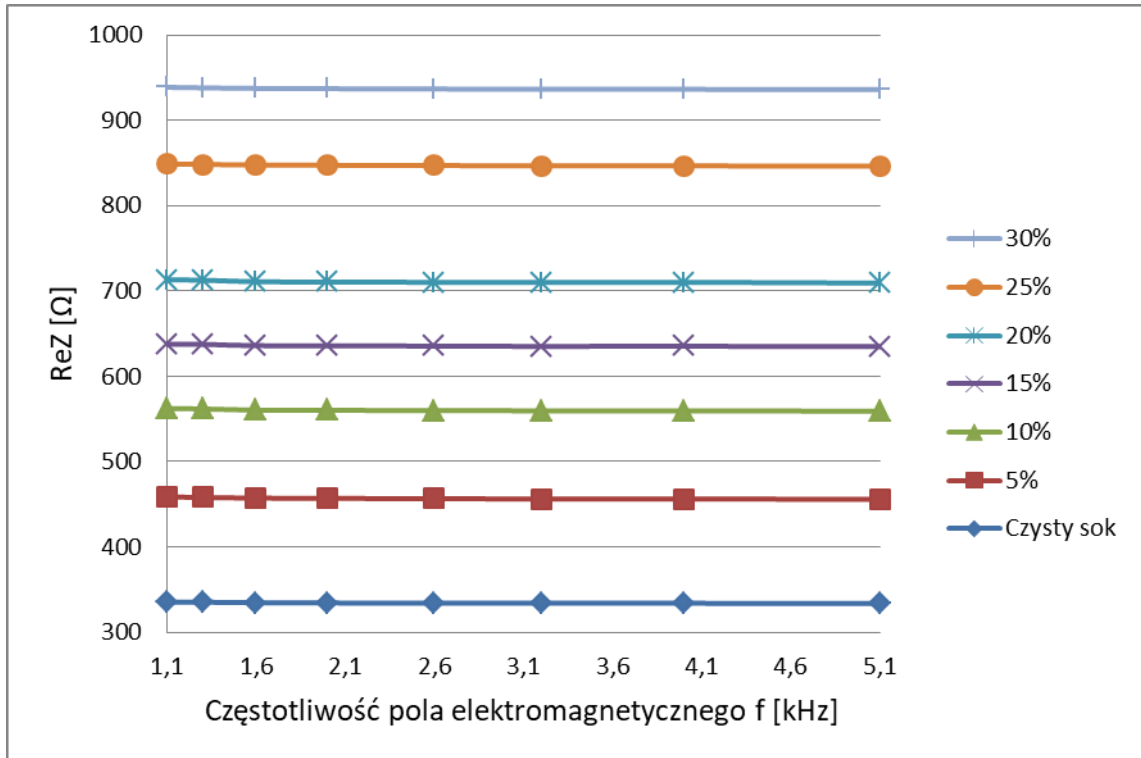


Rys. 31b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

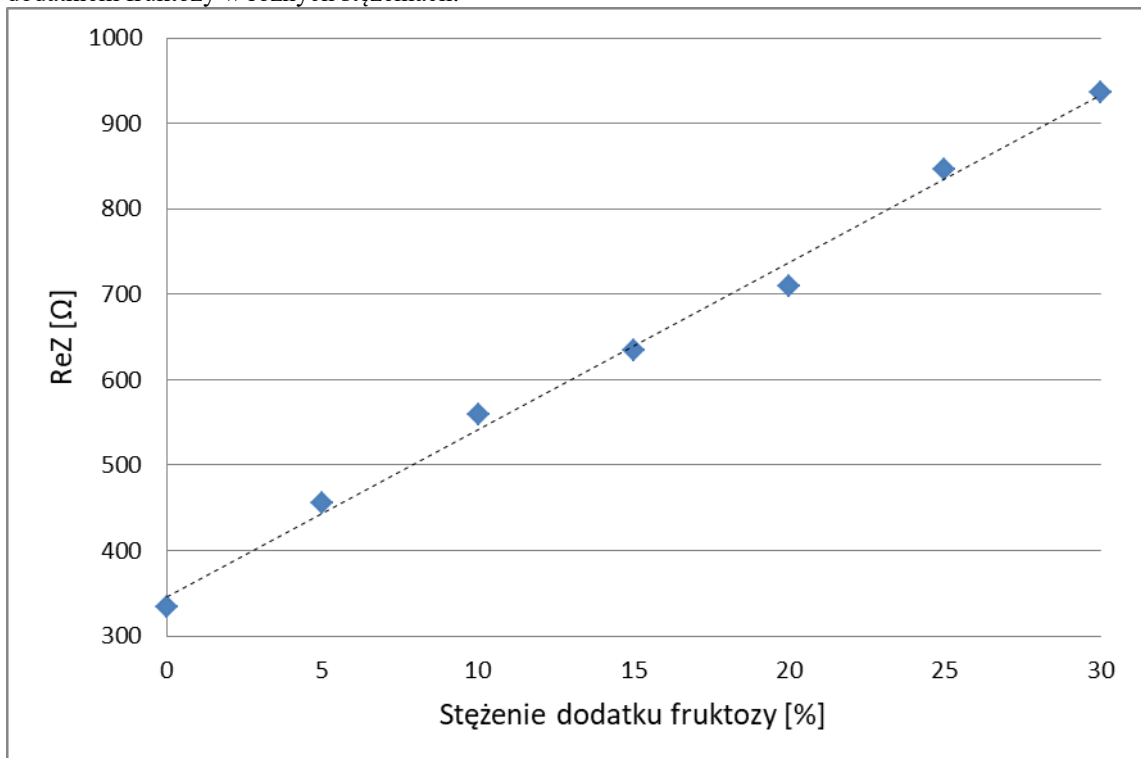
Dodatek fruktozy

W oparciu o wyniki analiz statystycznych stwierdzono, że istnieją statystycznie istotne różnice między częścią rzeczywistą impedancji soku czystego i soku z dodatkiem

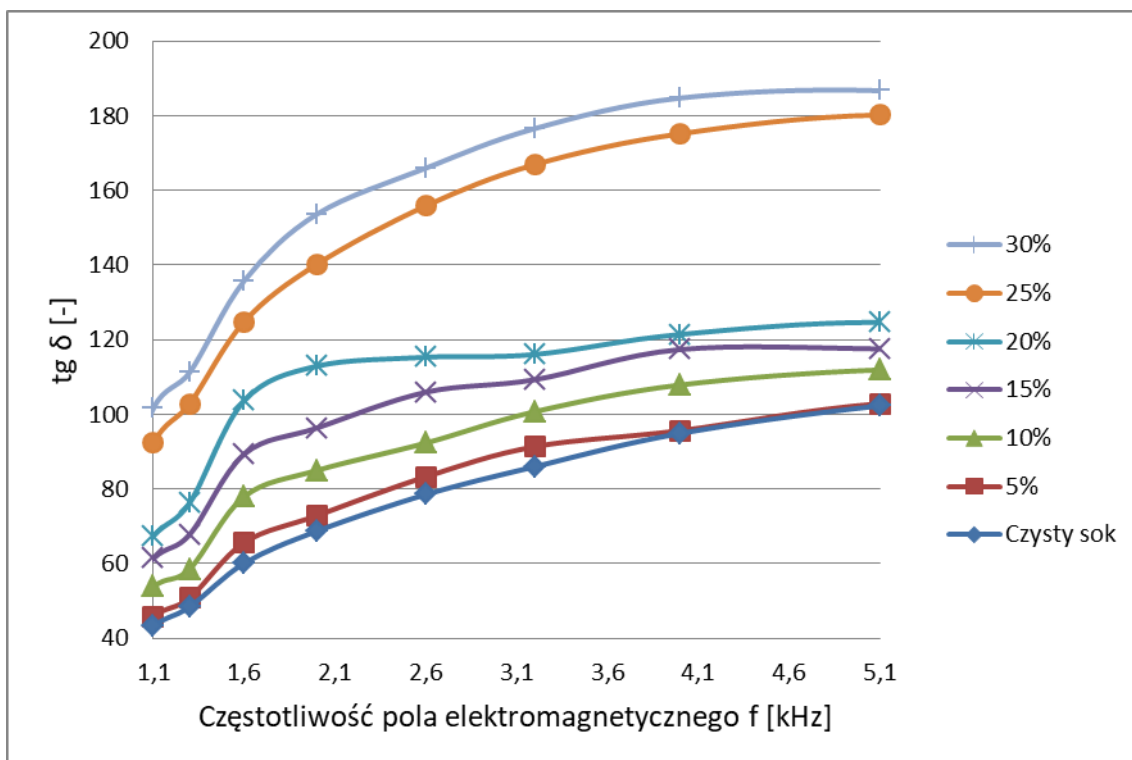
fruktozy, w przypadku, gdy ten dodatek wynosi co najmniej 20%. Istotnie statystycznie różnice stwierdzono także dla współczynnika strat dielektrycznych, jeśli dodatek fruktozy wynosi co najmniej 25%. Są to wyniki identyczne z wynikami uzyskanymi dla soku z jabłek odmiany Champion.



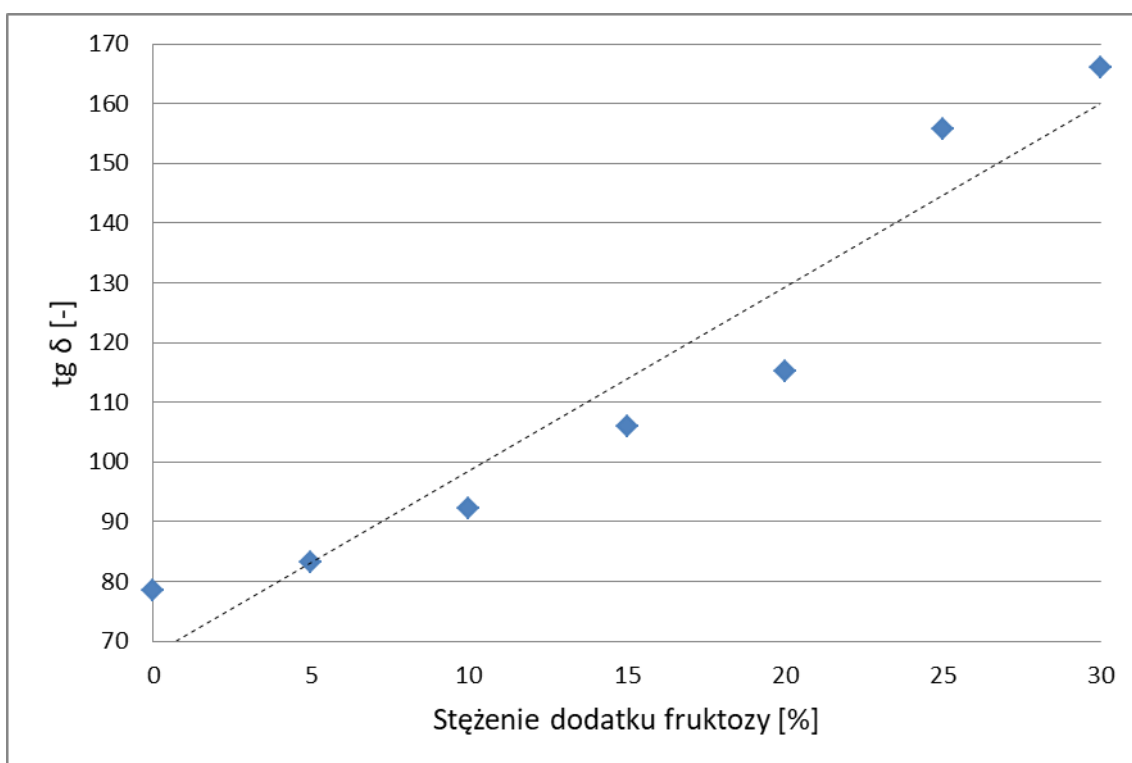
Rys. 32a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.



Rys. 32b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.



Rys. 33a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

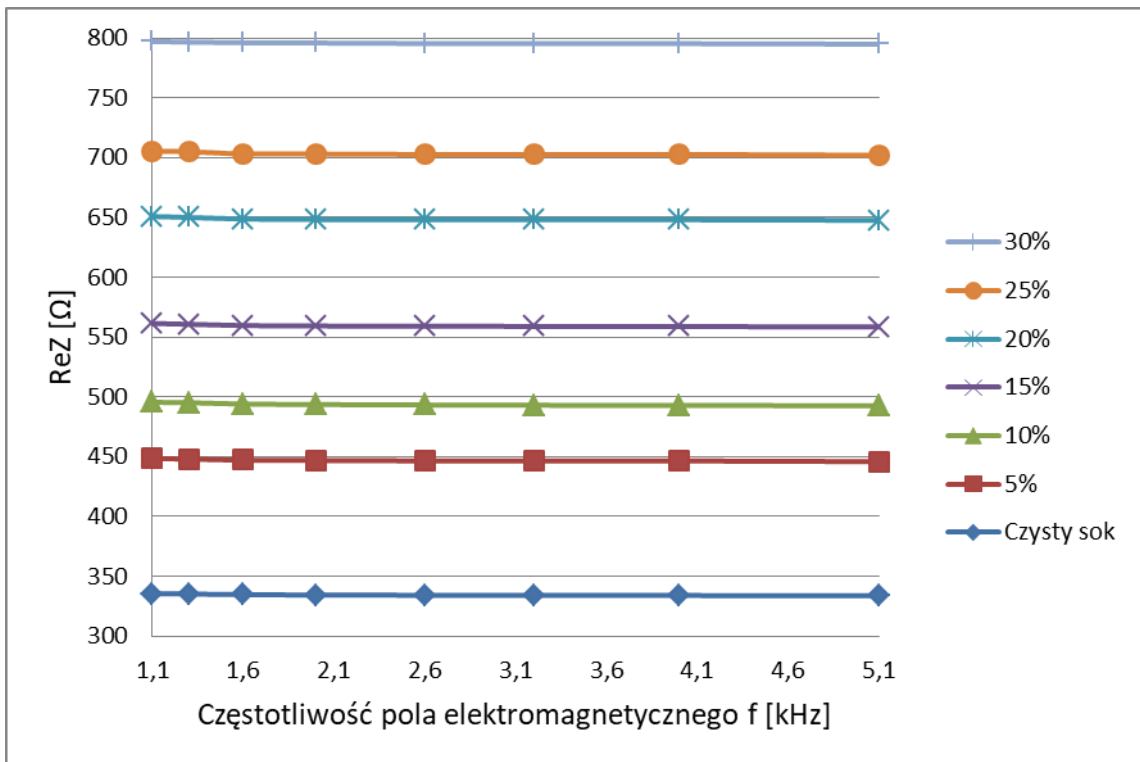


Rys. 33b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 2,6 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

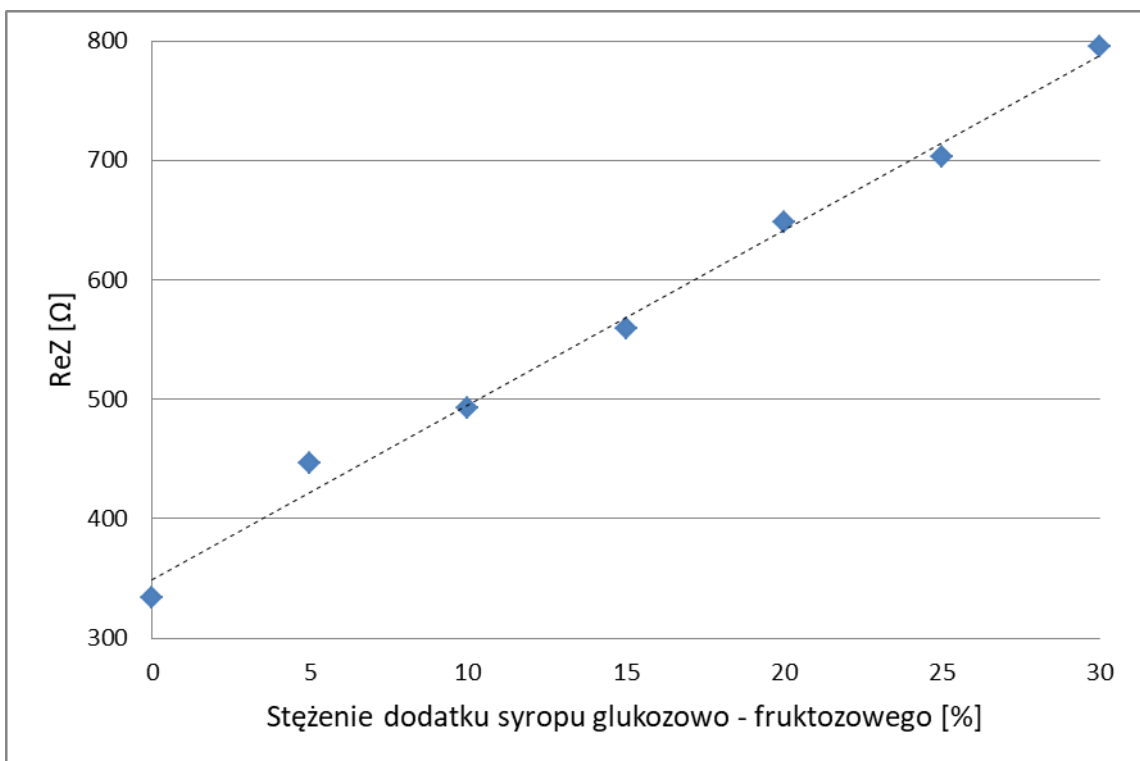
Dodatek syropu glukozy-fruktozowego

Na podstawie wyników testu Kruskala-Wallisa stwierdzono, że istnieją statystycznie istotne różnice części rzeczywistej impedancji między sokiem czystym, a

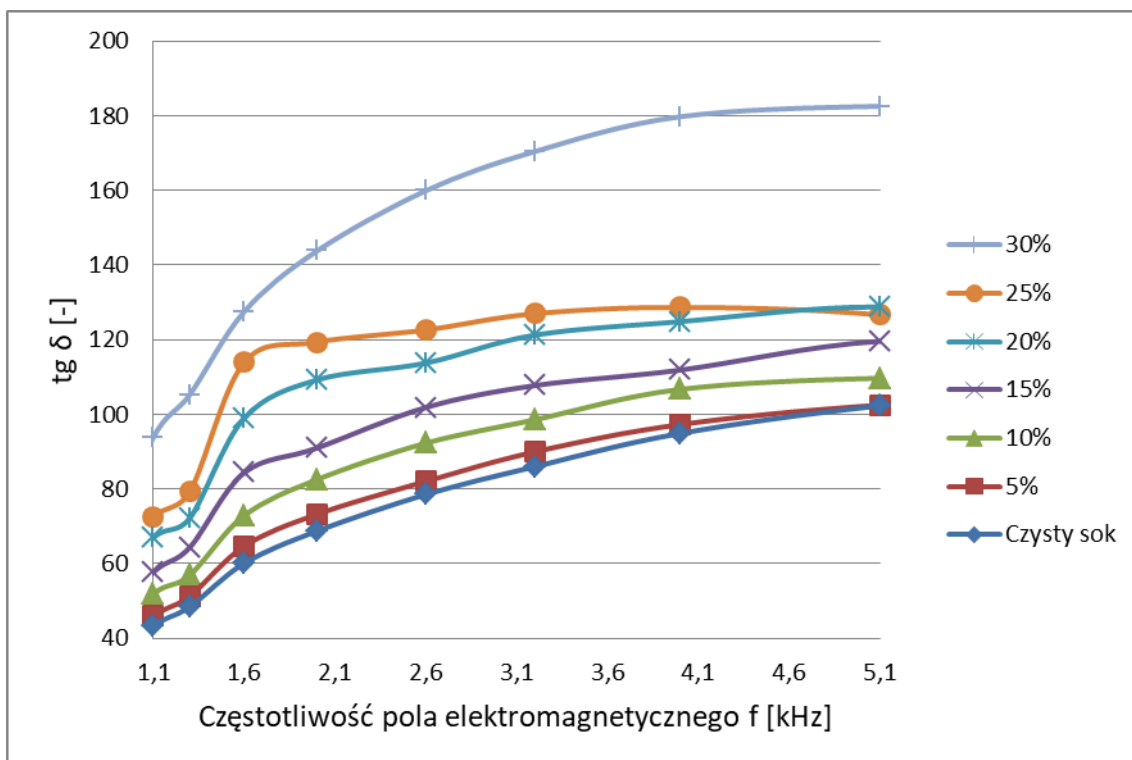
sokiem z dodatkiem syropu, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 20%. W przypadku współczynnika strat dielektrycznych, statystycznie istotne różnice zaobserwowano między sokiem czystym i sokiem z dodatkiem syropu wynoszącym 25% i 30%.



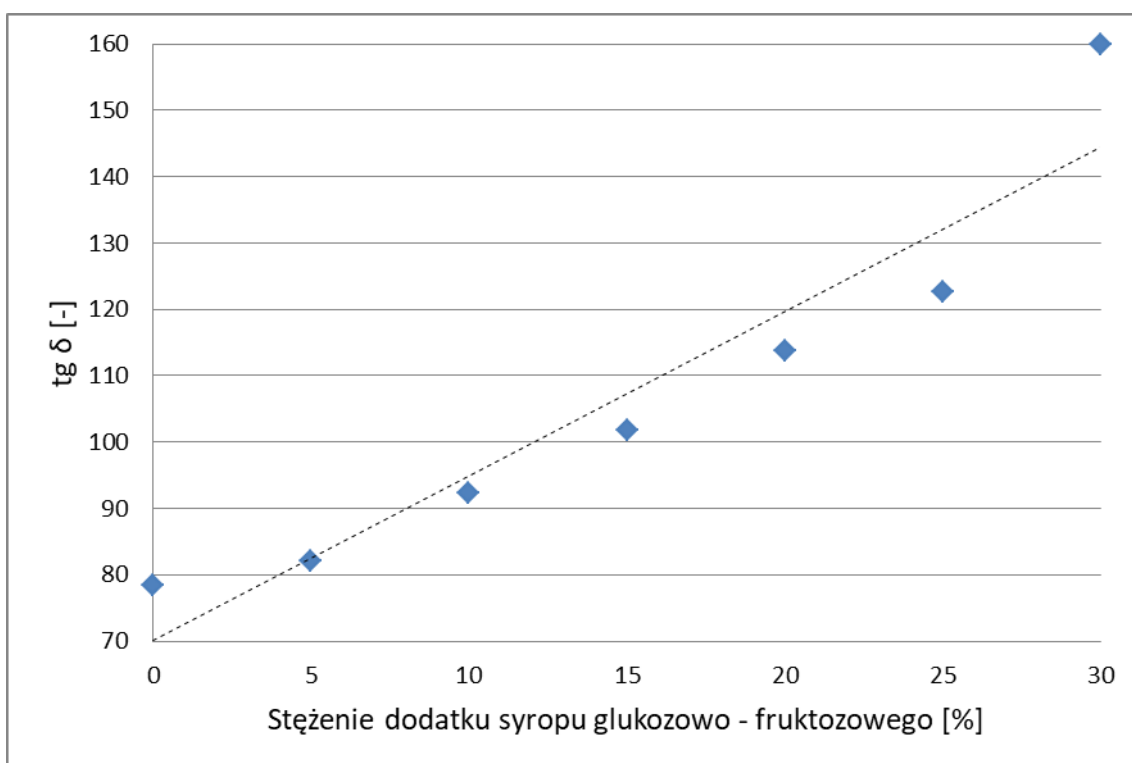
Rys. 34a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.



Rys. 34b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.



Rys. 35a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.



Rys. 35b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 2,6 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

W przypadku dodatku substancji słodzących, parametry elektryczne soku z jabłek odmiany Ligol zmieniają się w sposób monotoniczny. Potwierdza to, wykazaną przez

analizy statystyczne, przydatność parametrów elektrycznych do różnicowania soków czystych i soków dosładzanych. Natomiast w przypadku witaminy C (rys. 29b) obserwujemy początkowy wzrost wartości części rzeczywistej impedancji po dodaniu do soku tego dodatku, a następnie spadek wartości części rzeczywistej impedancji wraz ze wzrostem stężenia dodatku. Dlatego nie jest oczywiste, że ten parametr elektryczny pozwoli na różnicowanie soku czystego i soku z dodatkiem witaminy C przekraczającym 1 g. Dodatkowo uzyskano identyczne wartości części rzeczywistej impedancji dla różnych stężeń witaminy C.

Wyniki uzyskane dla soków jabłkowych przedstawiono w Tabeli 7. Poniższe dane przedstawiają w sposób poglądowy możliwość wykorzystania poszczególnych parametrów elektrycznych do odróżnienia soku czystego od soku z dodatkami wody, witaminy C i substancji słodzących.

Tabela 7. Możliwość wykorzystania parametrów elektrycznych soku jabłkowego do wykrywania poszczególnych dodatków (znak "-" oznacza brak możliwości wykorzystania danego parametru do odróżnienia soku czystego od soku z dodatkiem, wartości liczbowe oznaczają minimalny dodatek danej substancji pozwalający na jego wykrycie).

Dodatek	ReZ	ImZ	tgδ	ε
Sok z jabłek odmiany Champion				
Woda	-	-	-	-
Witamina C	≥ 0,5 g	-	-	-
Glukoza	≥ 15%	-	≥ 30%	-
Fruktoza	≥ 20%	-	≥ 25%	-
Syrop GF	≥ 25%	-	-	-
Sok z jabłek odmiany Ligol				
Woda	-	-	-	-
Witamina C	-	-	-	-
Glukoza	≥ 20%	-	≥ 25%	-
Fruktoza	≥ 20%	-	≥ 25%	-
Syrop GF	≥ 20%	-	≥ 25%	-

Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/12/UE, dodatek cukrów do soku owocowego może wynosić maksymalnie 20% w przypadku nektaru. Część rzeczywista impedancji pozwala wykryć dodatek glukozy nie mniejszy niż 15%, fruktozy nie mniejszy niż 20% i syropu glukozowo-fruktozowego nie mniejszy niż 25% dla soku z jabłek odmiany Champion. Dla soku z jabłek odmiany Ligol, parametr ten pozwala wykryć dodatek glukozy, fruktozy i syropu glukozowo-fruktozowego nie mniejszy niż 20%. Można więc stwierdzić, że pomiar części rzeczywistej impedancji pozwala na wykrycie niedozwolonego (przekraczającego 20%) dodatku substancji

słodzących (poza dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego dla soku Champion). Dodatek substancji słodzących można też wykrywać na podstawie pomiarów współczynnika strat dielektrycznych. Jednak za pomocą tego parametru można wykrywać dodatek substancji słodzącej nie mniejszy niż 25% (z wyjątkiem dodatku syropu glukozowo-fruktozowego do soku Champion, gdzie ten parametr nie okazał się użyteczny). Żaden z badanych parametrów elektrycznych nie może zostać wykorzystany do wykrywania dodatku wody (w badanym zakresie) do soku jabłkowego. Pomiar części rzeczywistej impedancji pozwala wykryć w soku z jabłek odmiany Champion dodatek witaminy C nie mniejszy niż 0,5 g.

W badaniach cech elektrycznych soków z dodatkami wykorzystano sok uzyskany metodą szybkoobrotową. Przy pozyskaniu produktu tą metodą, sok z jabłek odmiany Ligol zawiera więcej cukrów, niż sok z jabłek odmiany Champion. Wykorzystując część rzeczywistą impedancji do wykrywania dodatku glukozy, uzyskano różnicowanie soków przy mniejszym dodatku substancji słodzącej (15%) dla soku Champion, czyli soku mniej słodkiego. Przeciwny wynik uzyskano dla wykrywania dodatku syropu glukozowo-fruktozowego. Mniejsze stężenie tego dodatku jest wykrywane dla słodsze go soku Ligol. W przypadku dodatku fruktozy, uzyskano identyczne wyniki dla obu soków. Wykorzystując jako parametr różnicujący współczynnik strat dielektrycznych, można odróżnić sok czysty od soku z dodatkiem glukozy przy jej mniejszym stężeniu dla słodsze go soku Ligol. Natomiast wykrycie dodatku fruktozy jest możliwe, jeśli dodatek ten jest nie mniejszy niż 25% dla obu soków.

Sok marchwiowy

Na podstawie wyników badań statystycznych stwierdzono, że badane parametry elektryczne różnicują w sposób istotny statystycznie sok marchwiowy czysty i soki z dodatkami substancji słodzących, wody, soli i witaminy C, jeśli parametry te są mierzone w zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego od 4 kHz do 16 kHz. W tym zakresie częstotliwości test U Manna-Whitneya wykazał statystycznie istotne różnice między sokiem z marchwi odmiany Bangor i sokiem z marchwi odmiany Napoli, w przypadku wszystkich badanych parametrów elektrycznych.

Sok z marchwi odmiany Bangor

Dodatek wody

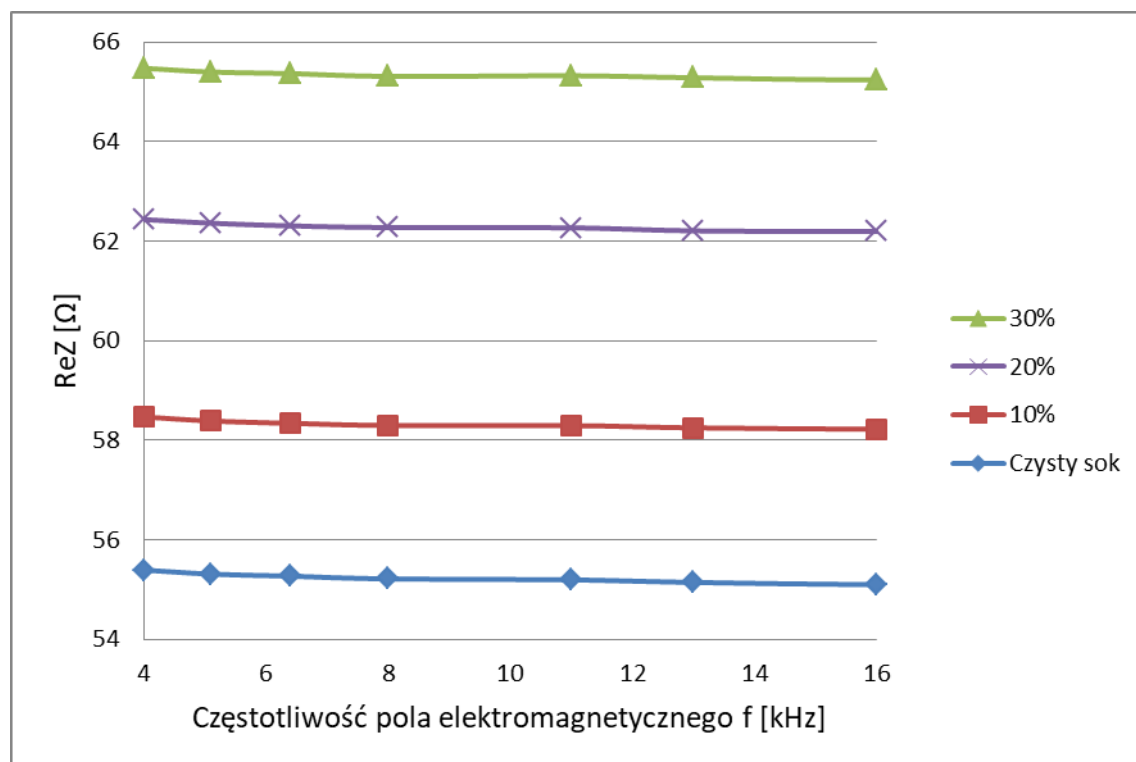
Wyniki testu Kruskala-Wallisa wskazują, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem wody, jeśli ten dodatek wynosi 20% lub więcej.

Dodatek witaminy C

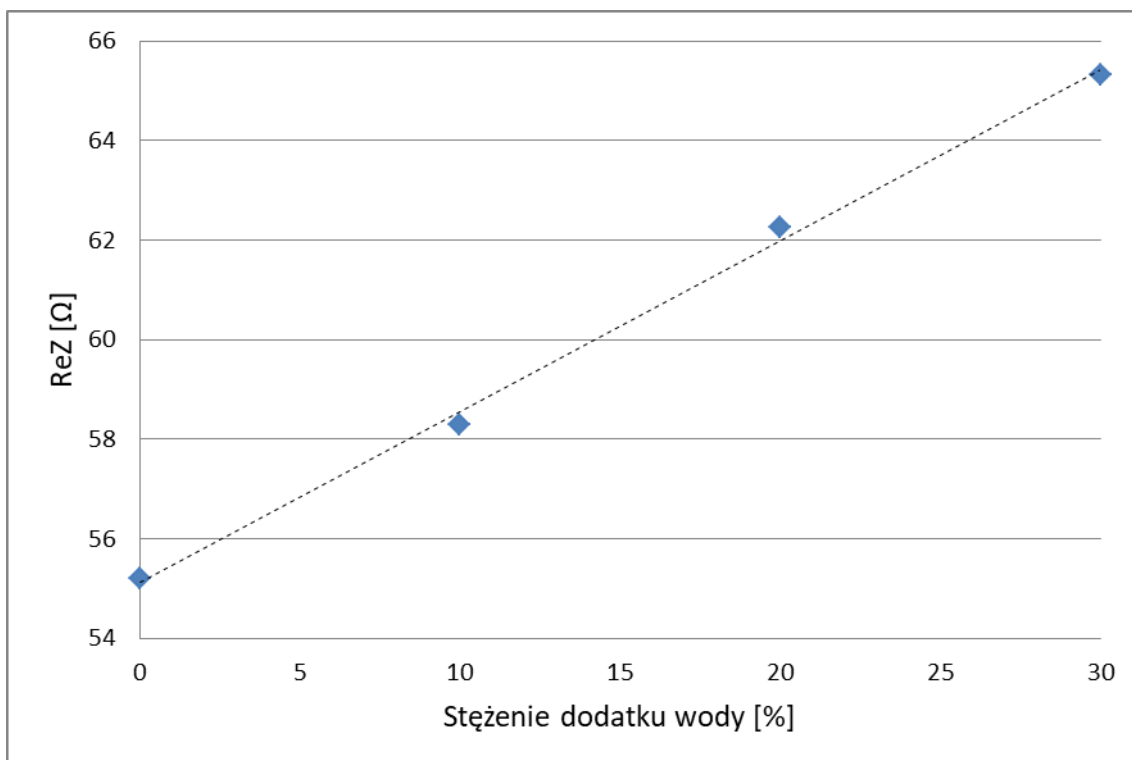
Na podstawie analizy statystycznej wyników stwierdzono, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem witaminy C, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 0,5 g.

Dodatek glukozy

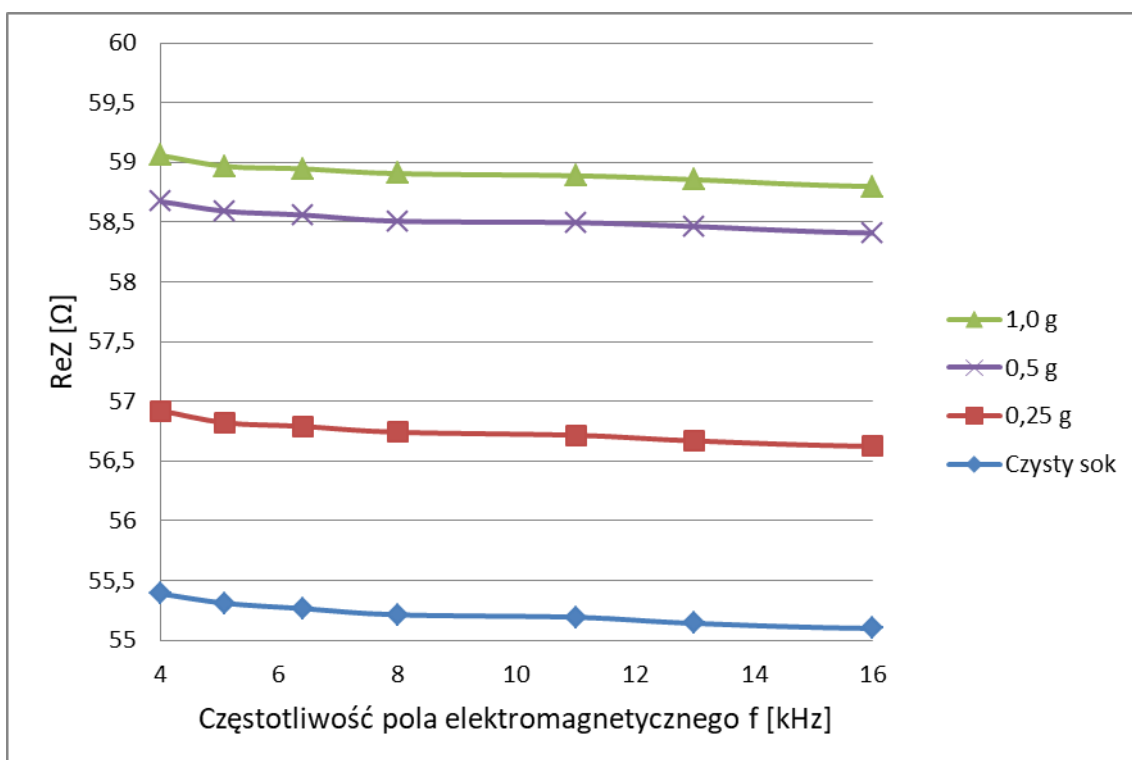
Na podstawie wyników testu statystycznego stwierdzono, że część rzeczywista impedancji różnicuje w sposób istotny statystycznie sok czysty i sok z dodatkiem glukozy wynoszącym 8% lub więcej. Również dla współczynnika strat dielektrycznych wyniki testu statystycznego wykazały istotne różnice między sokiem czystym i sokiem z dodatkiem glukozy jeśli dodatek substancji słodzącej wynosi co najmniej 12%.



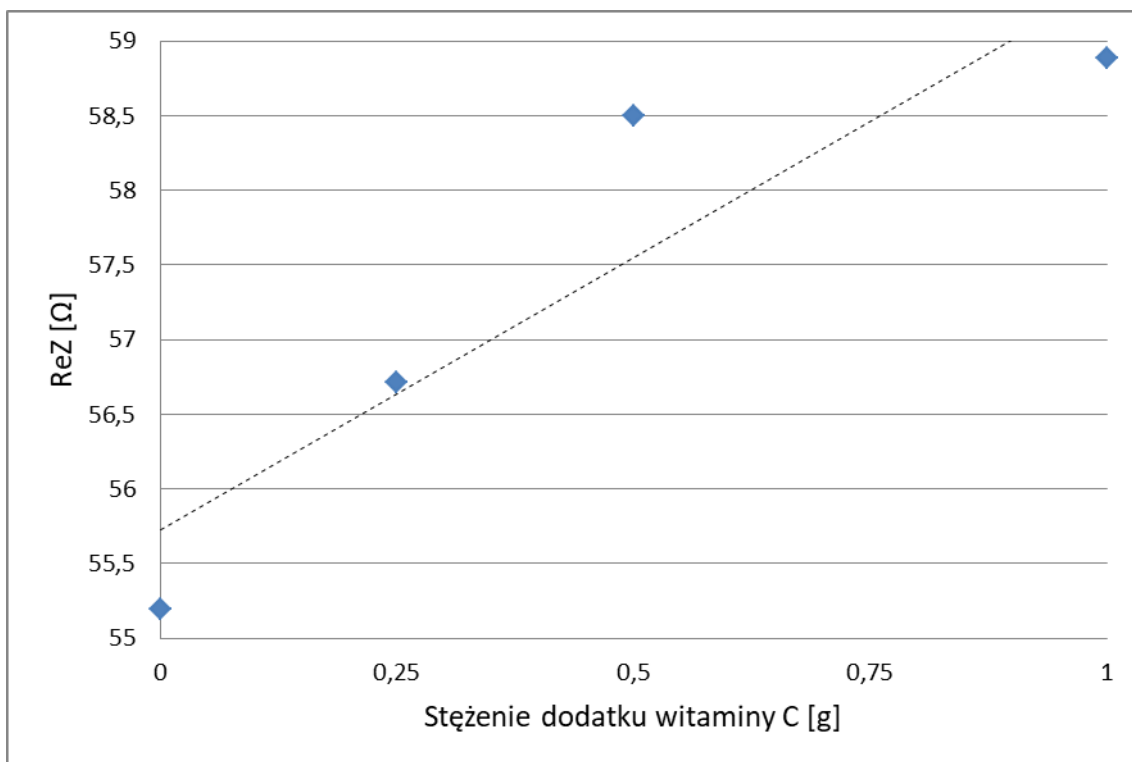
Rys. 36a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem wody w różnych stężeniach.



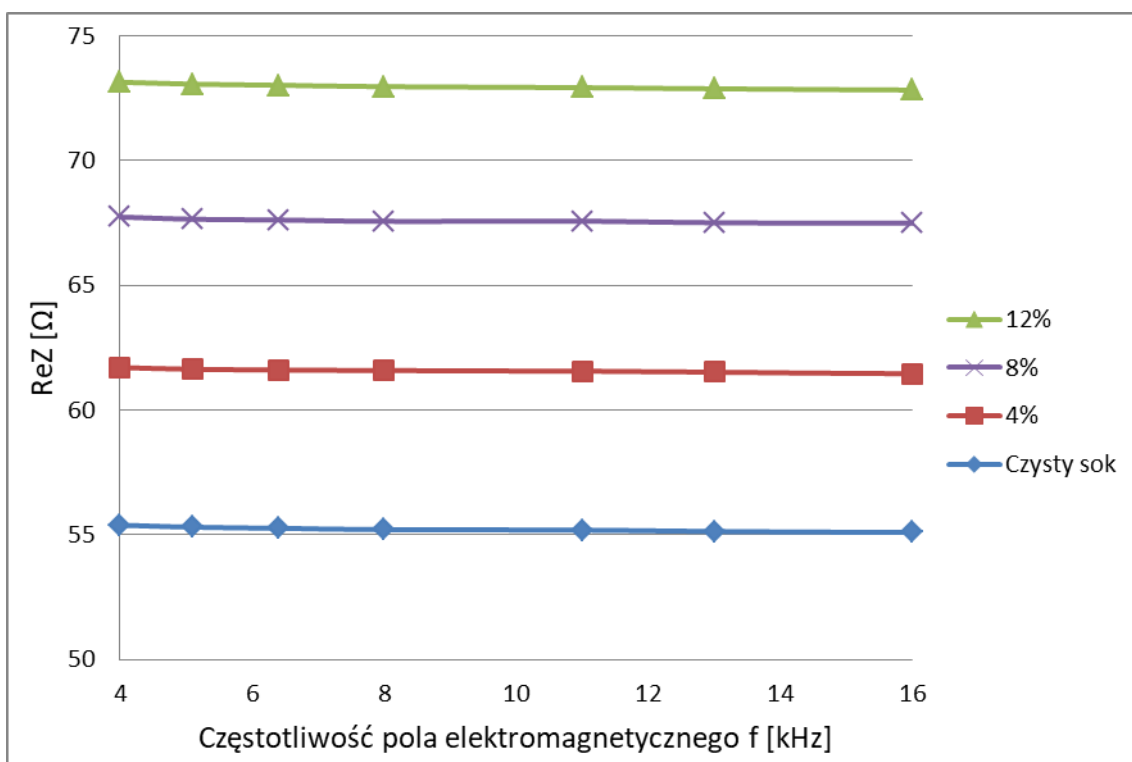
Rys. 36b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.



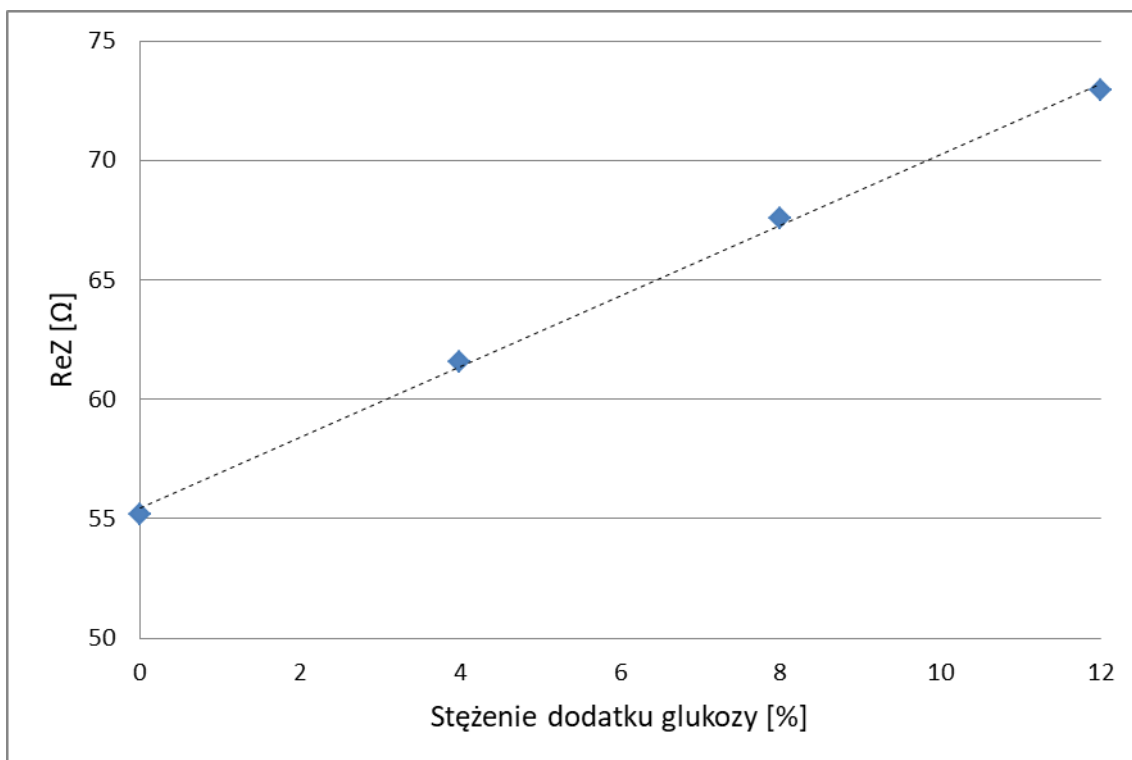
Rys. 37a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.



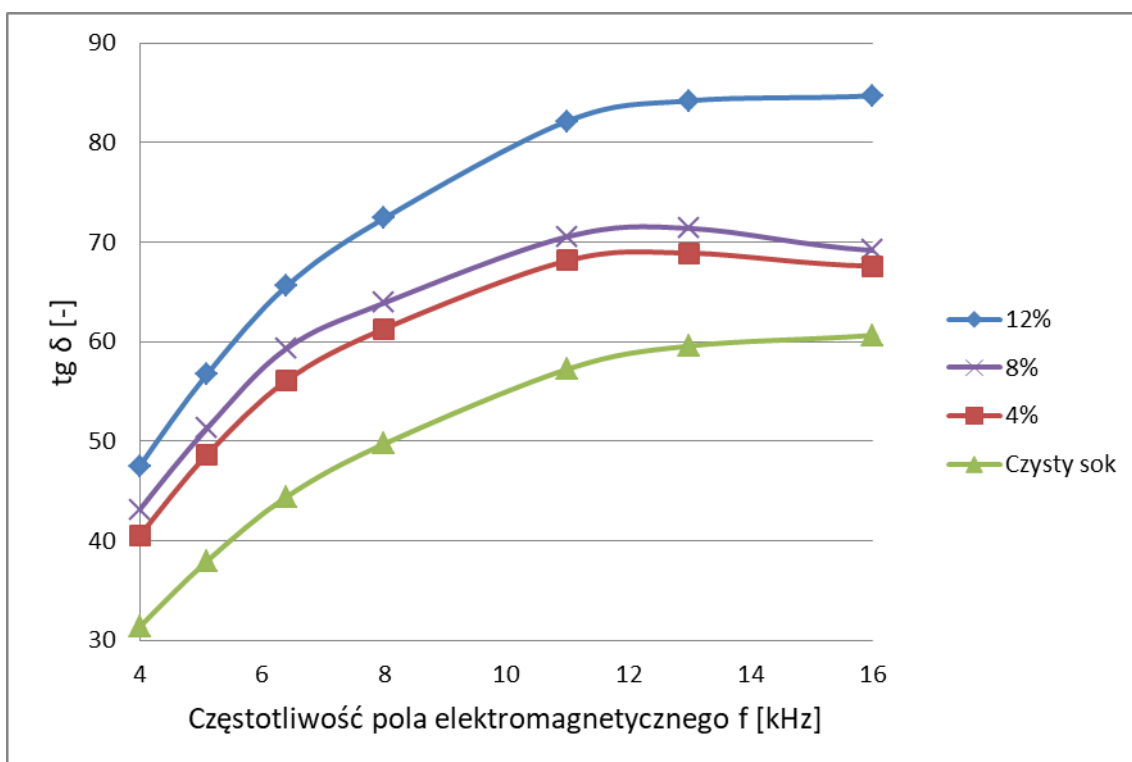
Rys. 37b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.



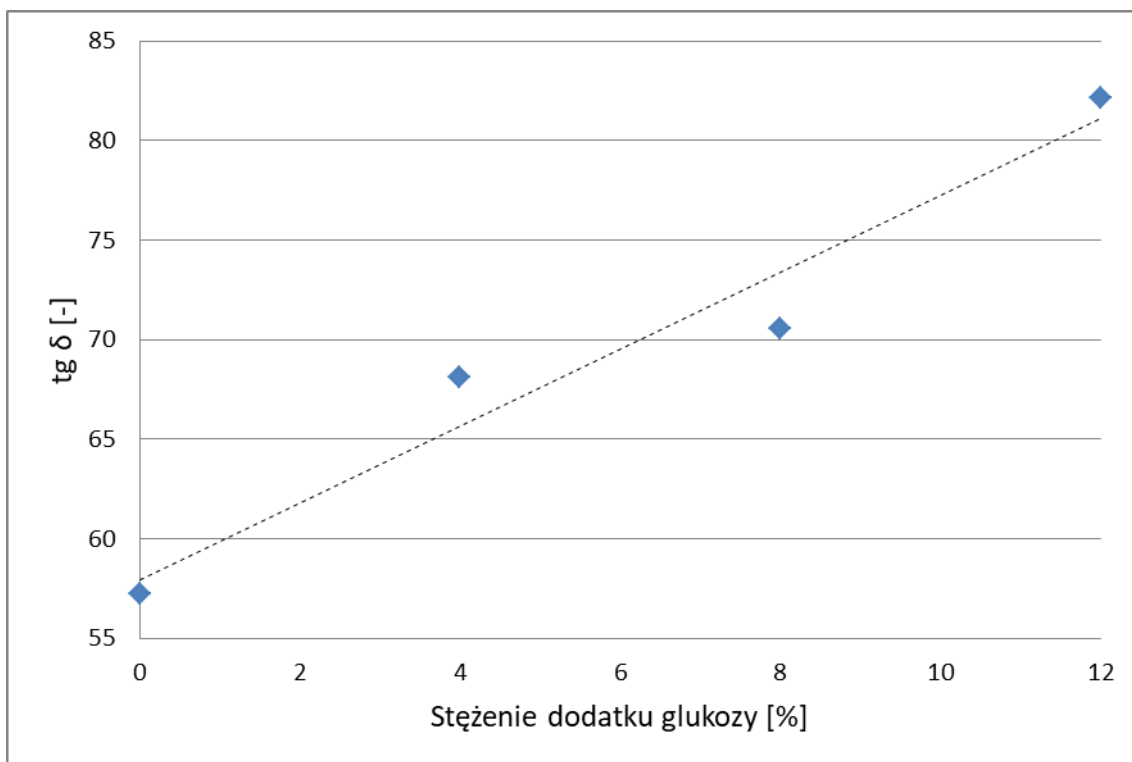
Rys. 38a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.



Rys. 38b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.



Rys. 39a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.



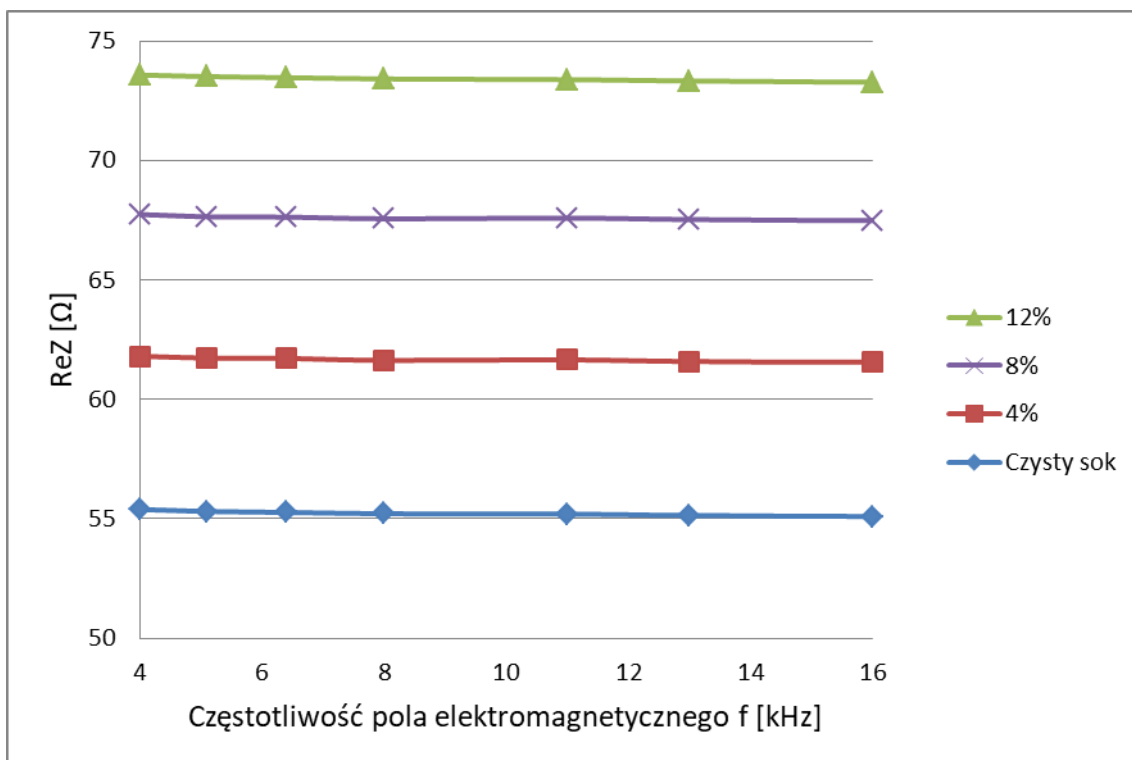
Rys. 39b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

Dodatek fruktozy

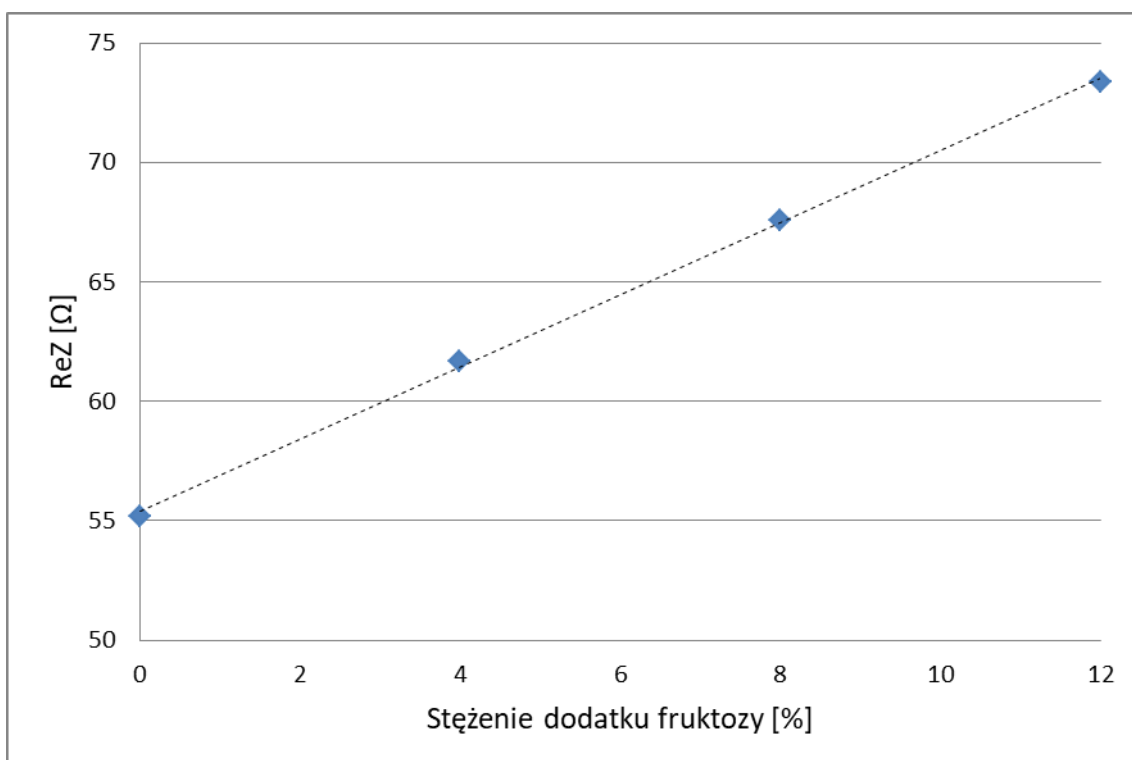
W przypadku dodatku fruktozy uzyskano identyczne wyniki, jak w przypadku dodatku glukozy. Minimalny dodatek substancji słodzącej, przy którym wynik testu Kruskala-Wallisa wykazał istotne statystycznie różnice między sokiem czystym i sokiem z dodatkiem fruktozy wynosi 8% dla części rzeczywistej impedancji i 12% dla współczynnika strat dielektrycznych.

Dodatek syropu glukozowo-fruktozowego

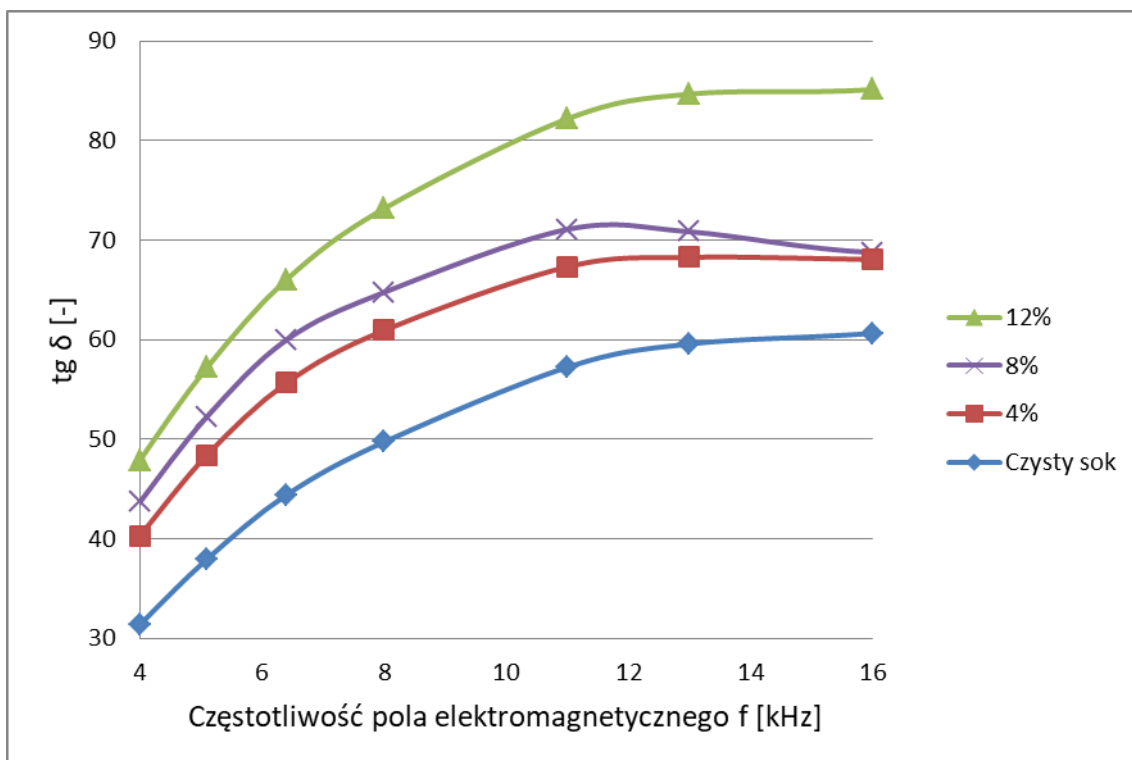
Dla tego dodatku, zaobserwowano statystycznie istotne różnice części rzeczywistej impedancji między sokiem czystym a sokiem z dodatkiem syropu, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 8%.



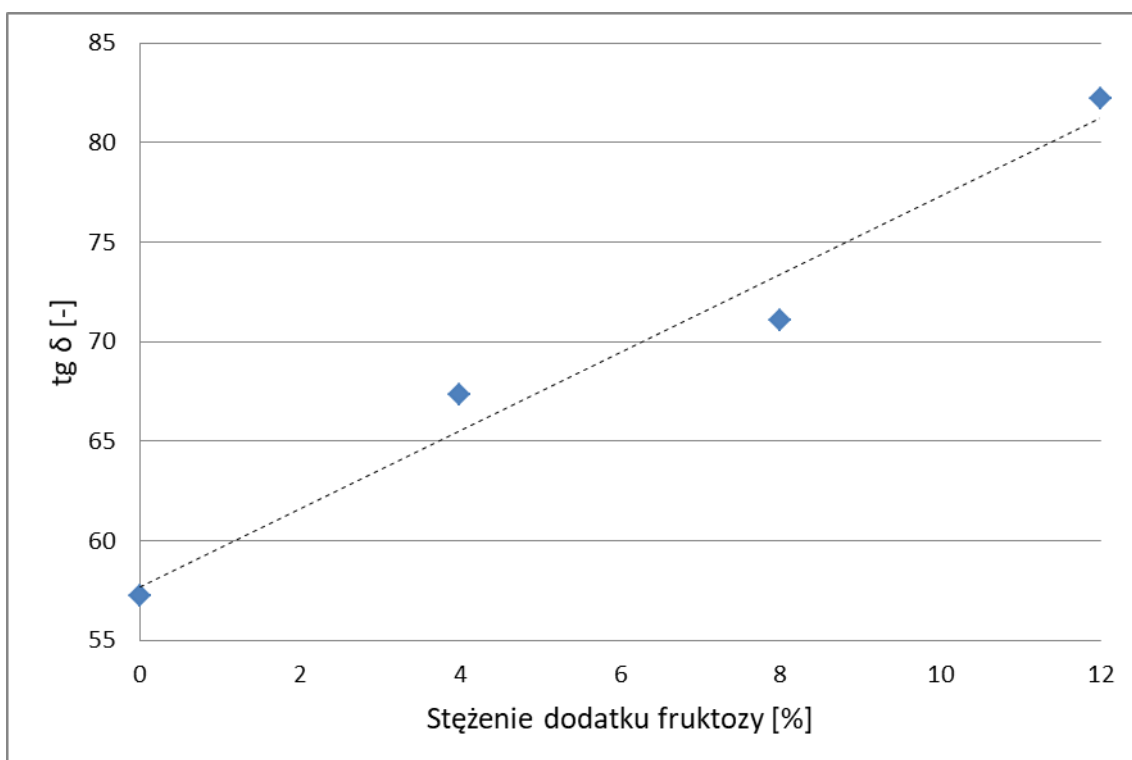
Rys. 40a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.



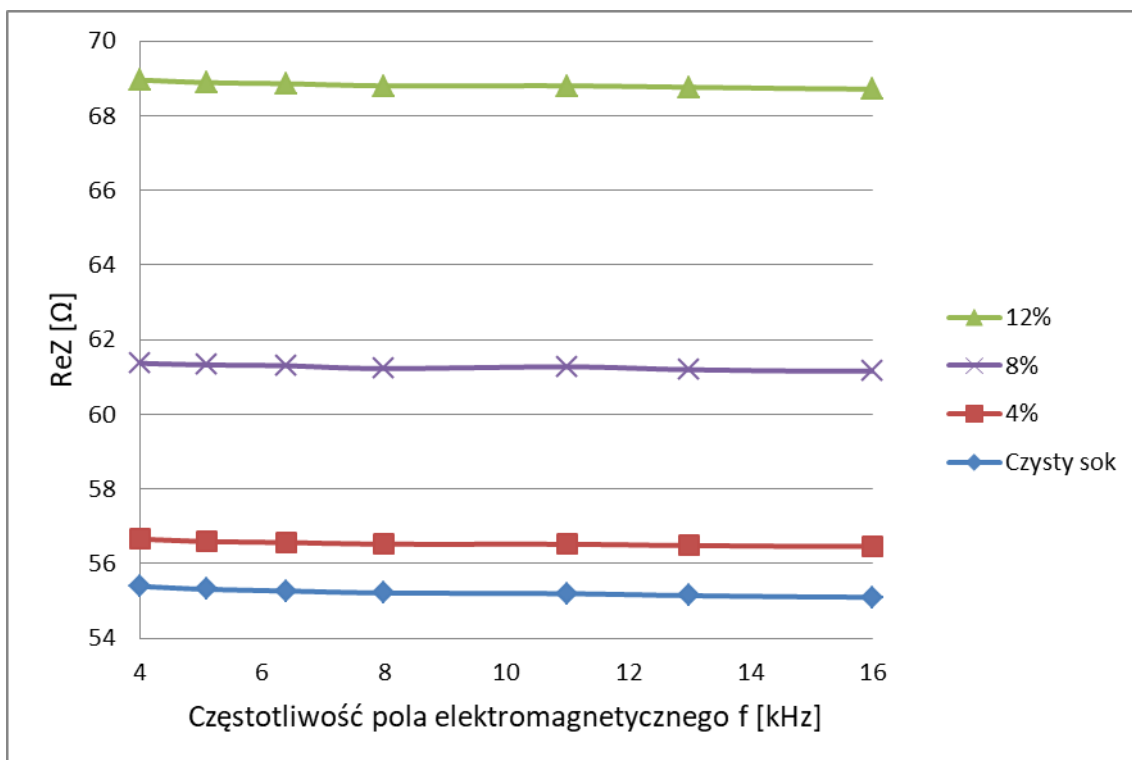
Rys. 40b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.



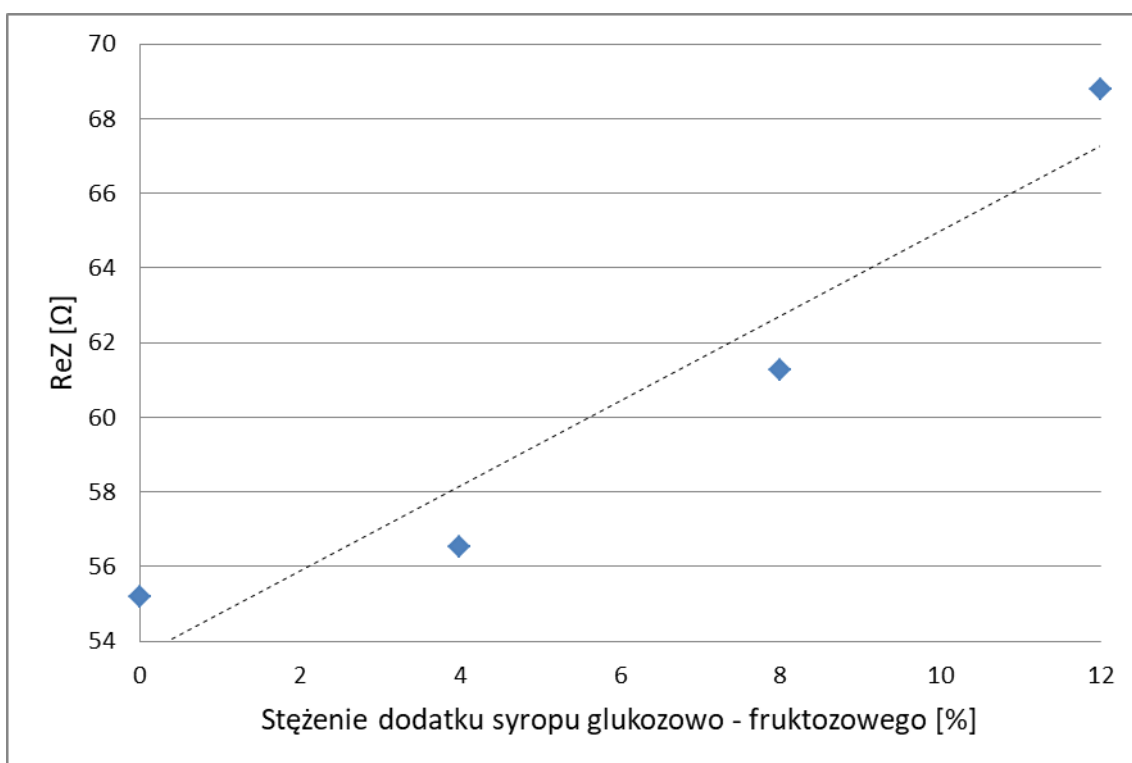
Rys. 41a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.



Rys. 41b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.



Rys. 42a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.

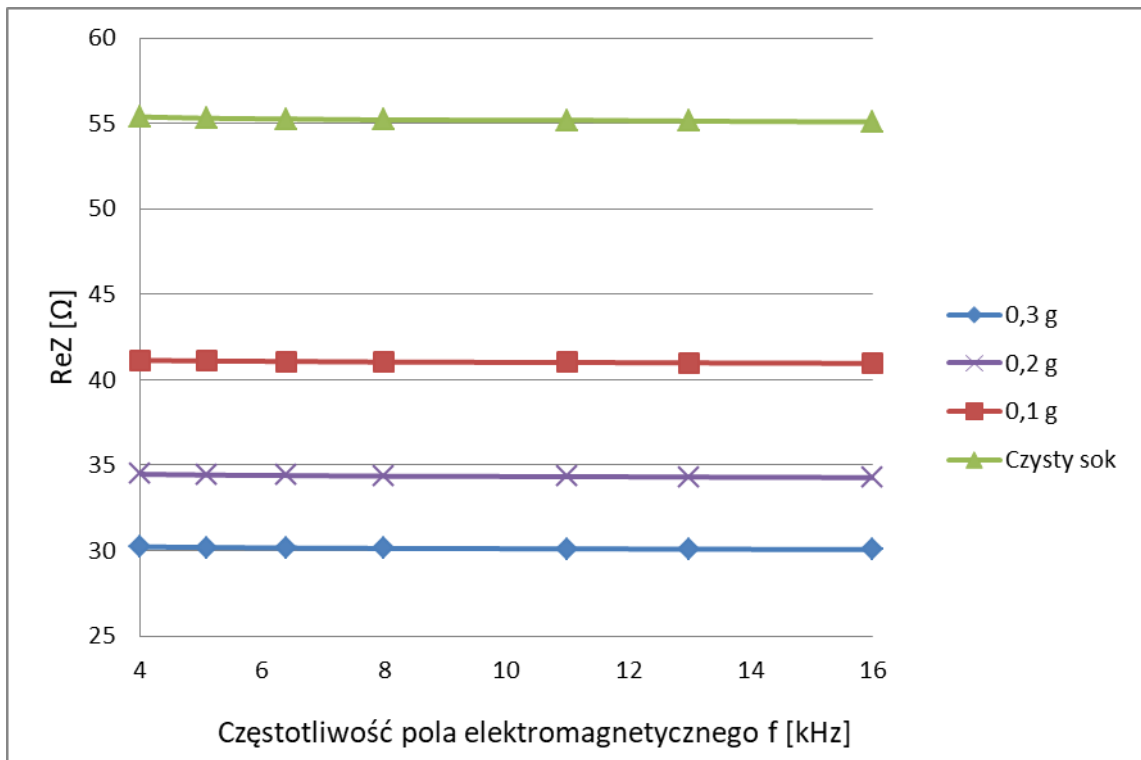


Rys. 42b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

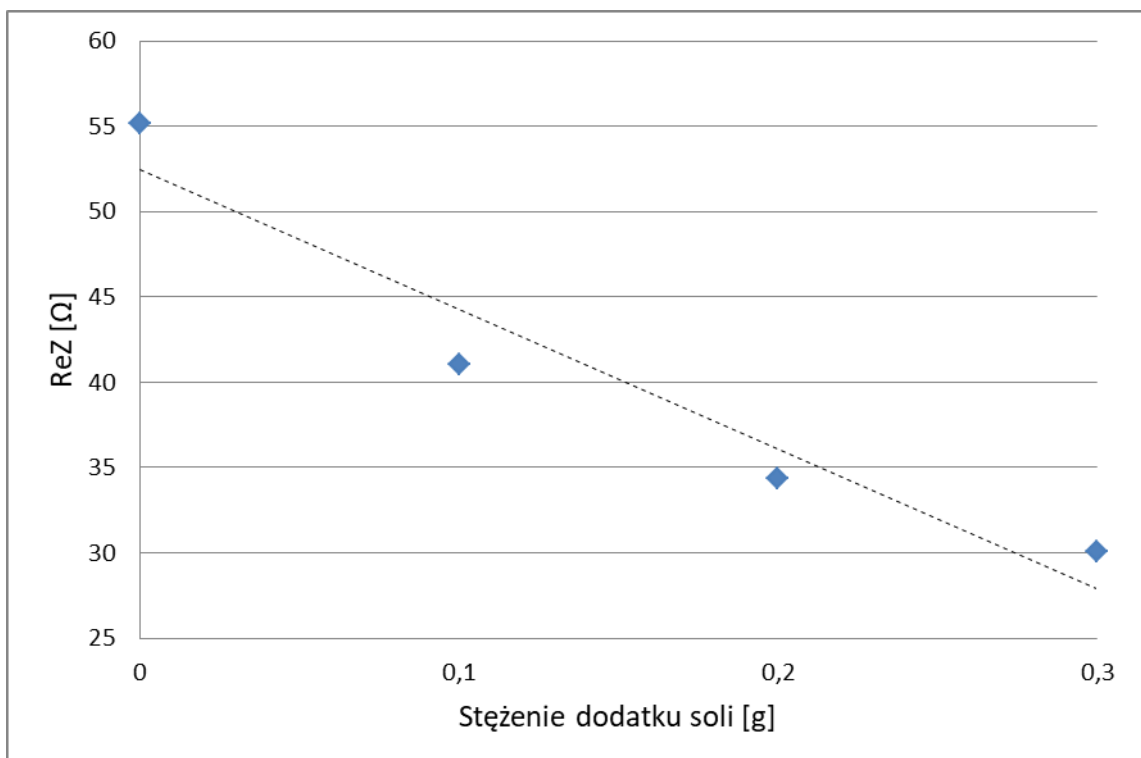
Dodatek soli

Wyniki testu Kruskala-Wallisa wskazują, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym, a sokiem

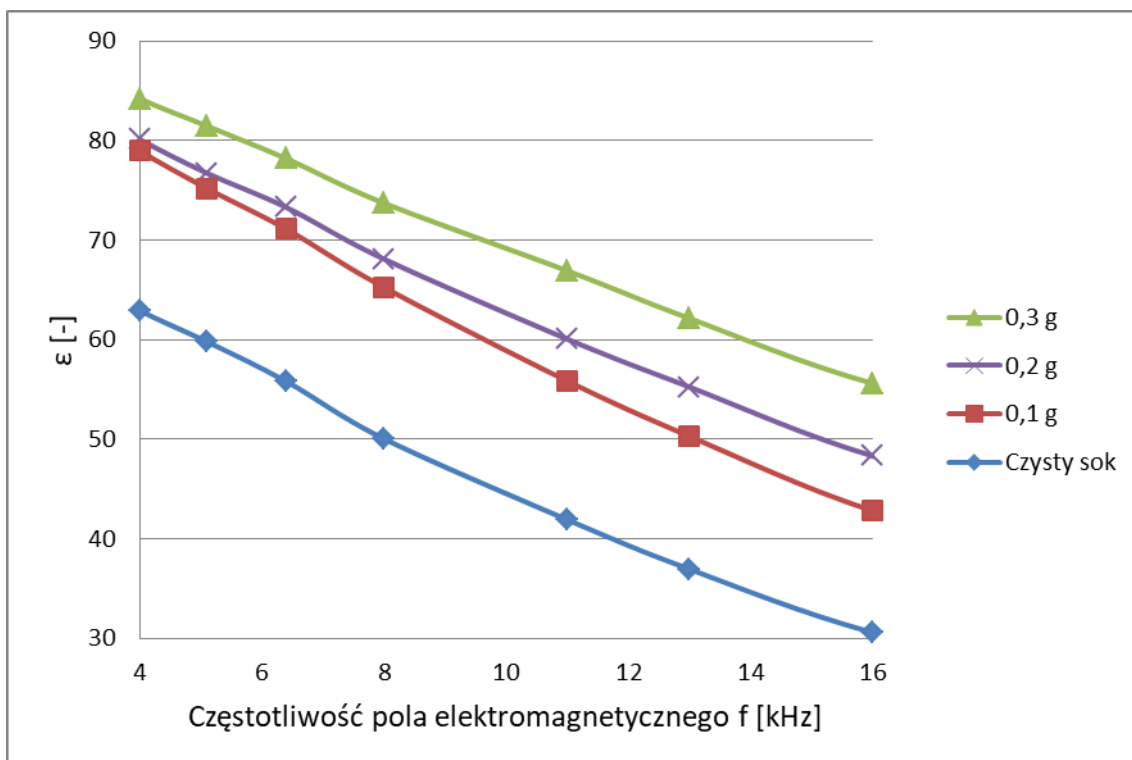
z dodatkiem soli wynoszącym 0,2 g lub więcej. Również dla przenikalności elektrycznej test statystyczny wykazał istotne różnice między sokiem czystym i sokiem z dodatkiem soli, jeśli jej dodatek wynosi 0,3 g.



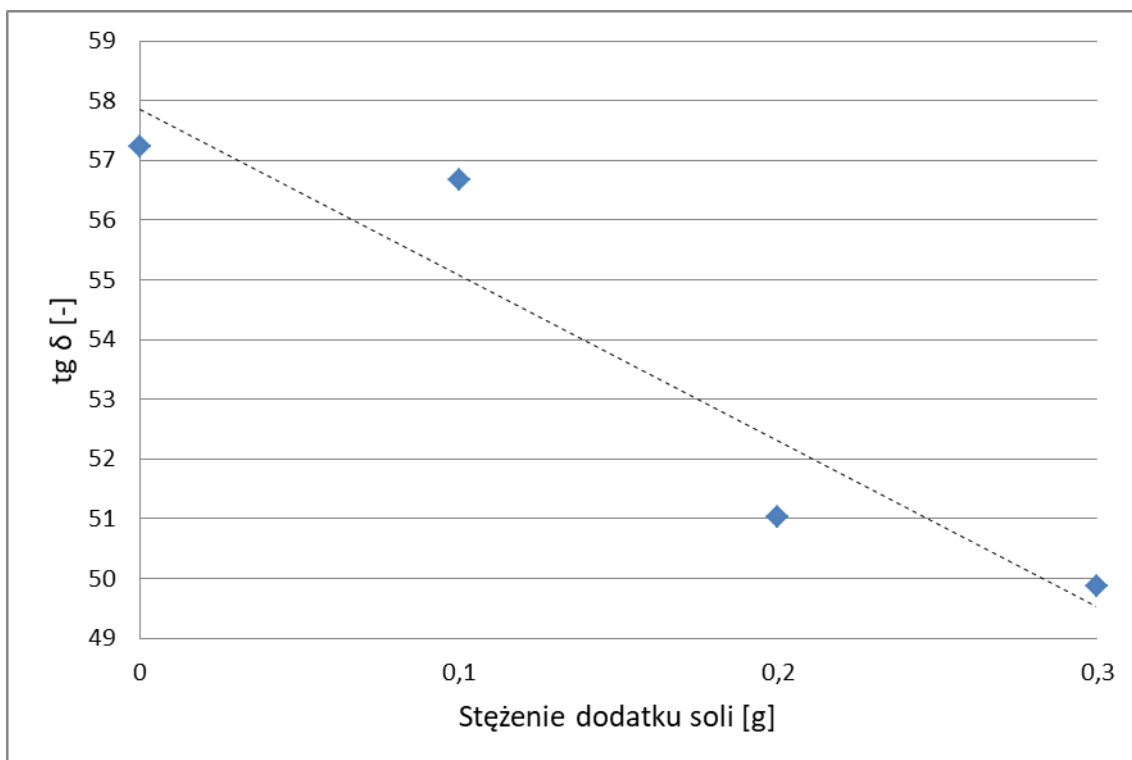
Rys. 43a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem soli w różnych stężeniach.



Rys. 43b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.



Rys. 44a. Zależność od częstotliwości przenikalności elektrycznej soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem soli w różnych stężeniach.



Rys. 44b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

W przypadku soku z marchwi odmiany Bangor, wszystkie pokazane na rysunkach 36b-44b parametry elektryczne zmieniają się w sposób monotoniczny wraz ze wzrostem stężenia analizowanego dodatku. Oznacza to, że wskazane na tych rysunkach parametry elektryczne mogą być wykorzystane do różnicowania soków czystych od soków z dodatkami w danych stężeniach, co jest zgodne z wynikami testów statystycznych.

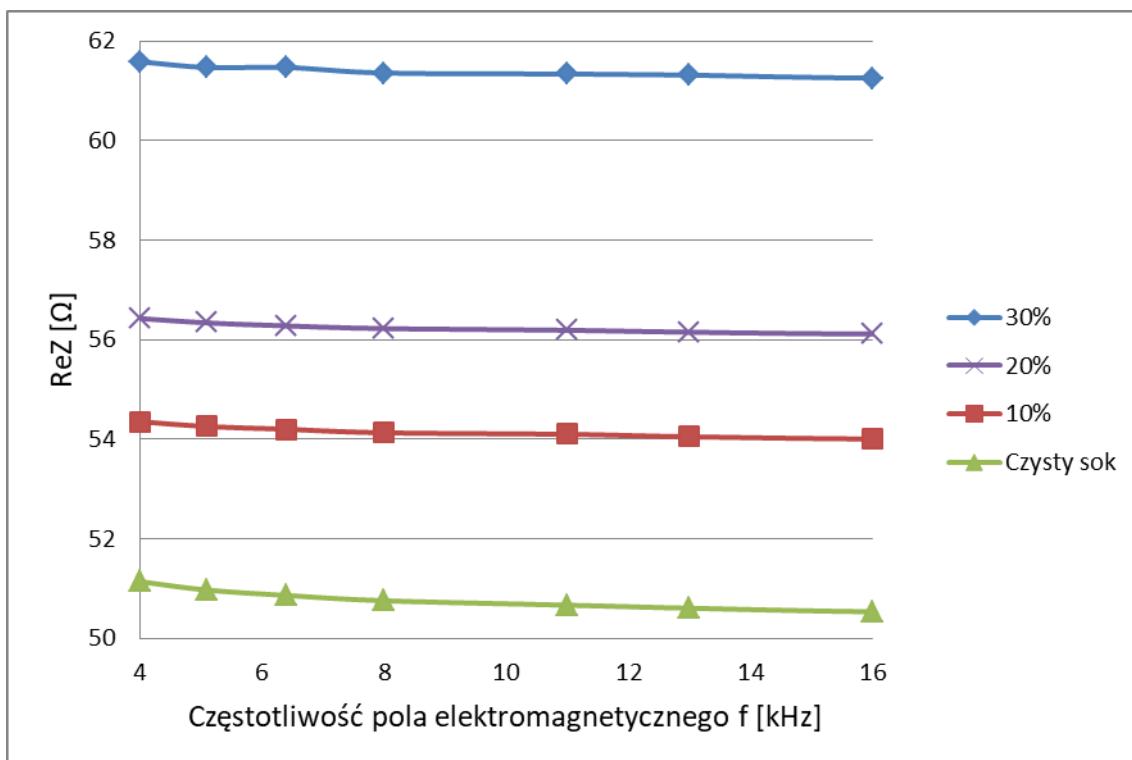
Sok z marchwi odmiany Napoli

Dodatek wody

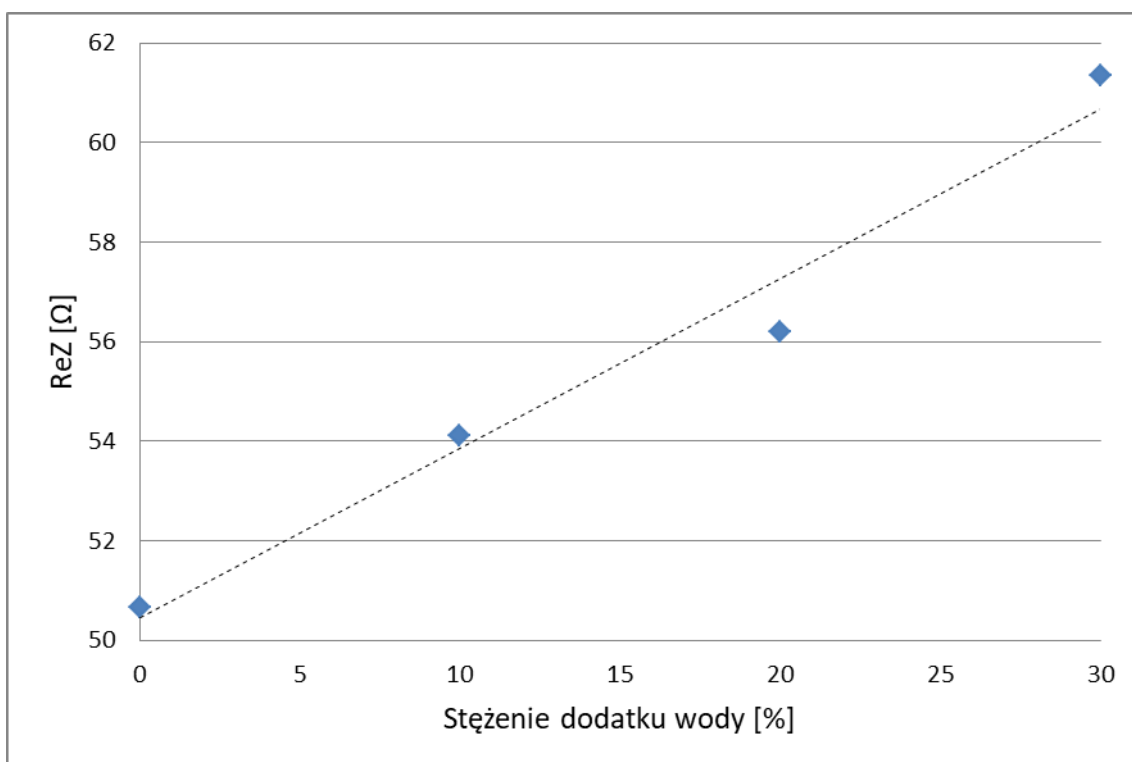
Na podstawie wyników pomiaru części rzeczywistej impedancji można w sposób istotny statystycznie różnicować sok czysty i sok z dodatkiem wody, wynoszący co najmniej 20%. Natomiast współczynnik strat dielektrycznych różnicuje sok czysty i sok z dodatkiem wody, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 30%.

Dodatek witaminy C

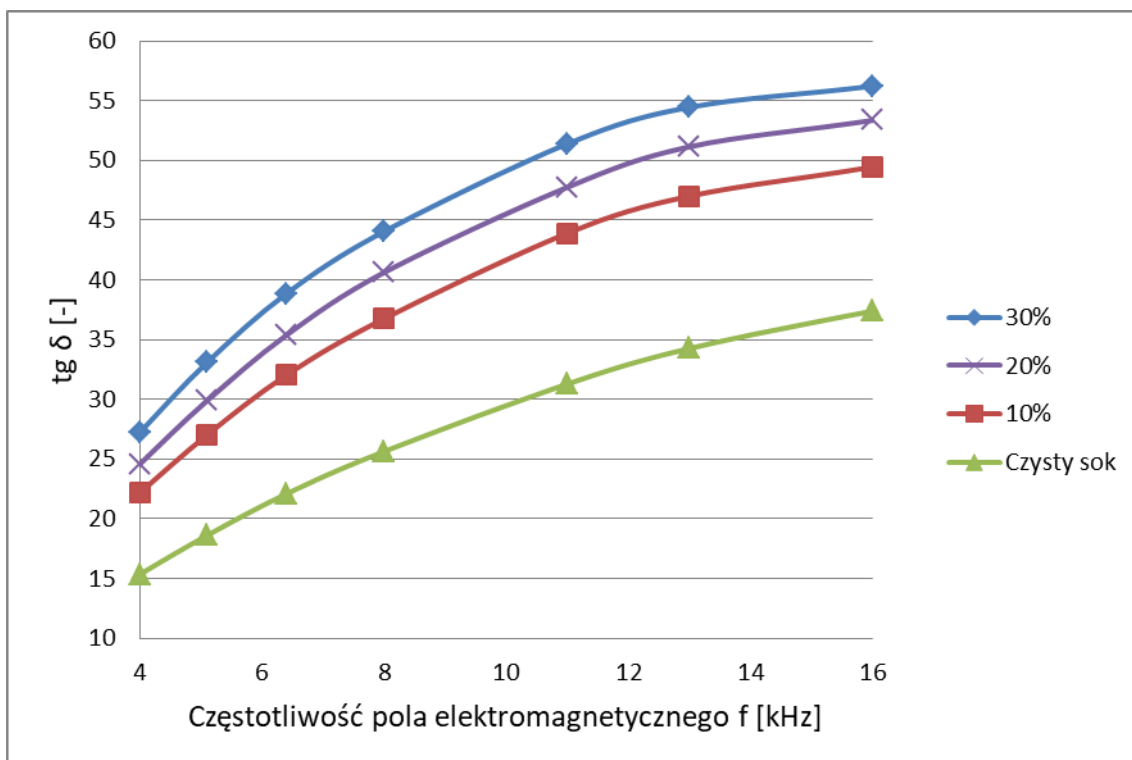
Wyniki testu Kruskala-Wallisa pozwalają stwierdzić, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem witaminy C, jeśli ten dodatek wynosi minimum 0,5 g. Podobnie, dla współczynnika strat dielektrycznych i przenikalności elektrycznej zaobserwowano statystycznie istotne różnice między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem witaminy C, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 0,5 g.



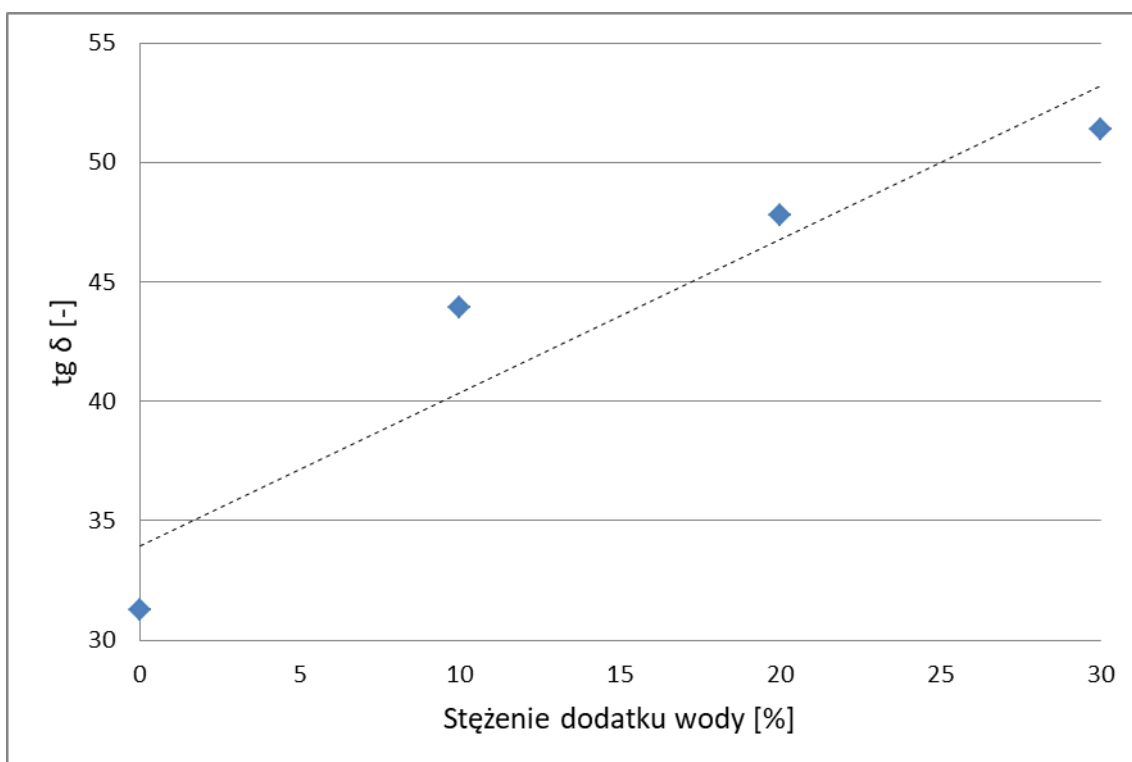
Rys. 45a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem wody w różnych stężeniach.



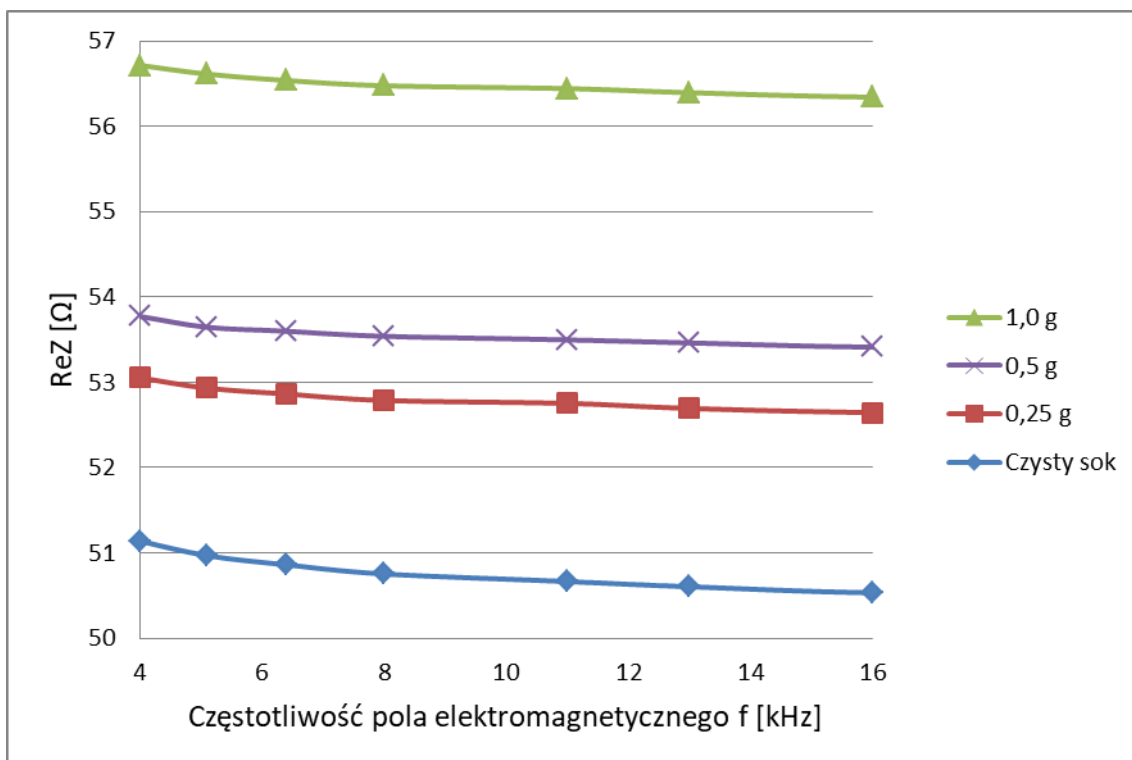
Rys. 45b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.



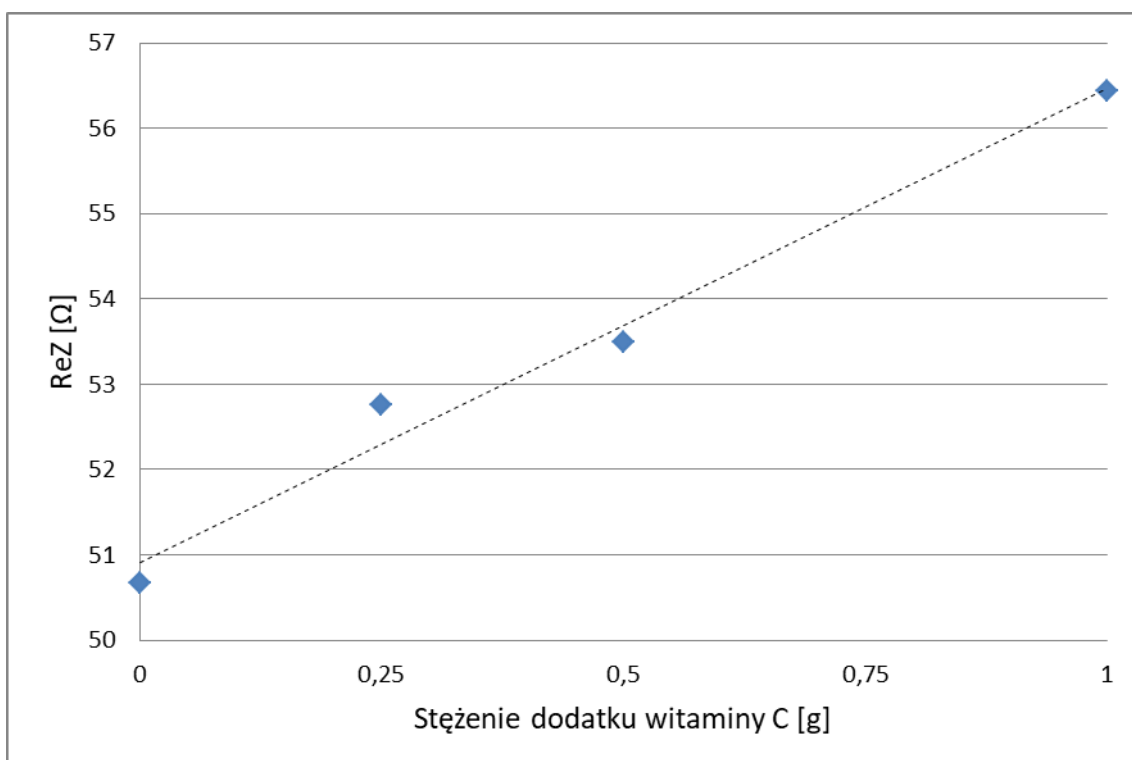
Rys. 46a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem wody w różnych stężeniach.



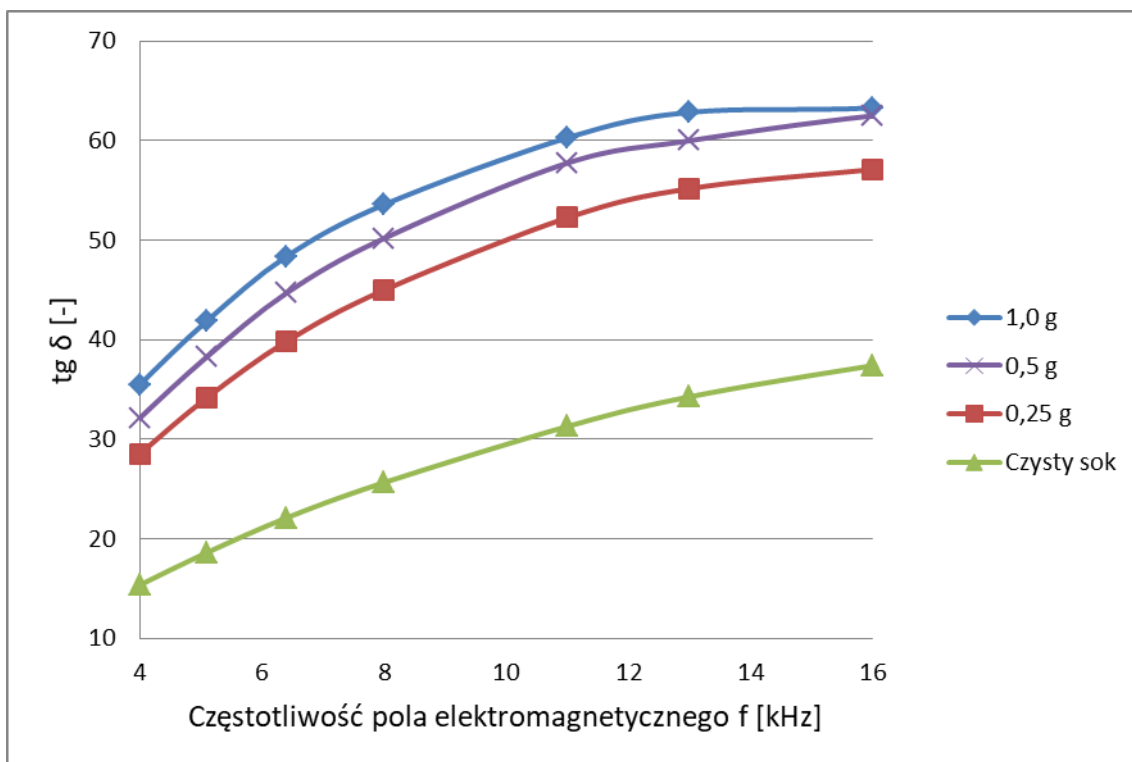
Rys. 46b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.



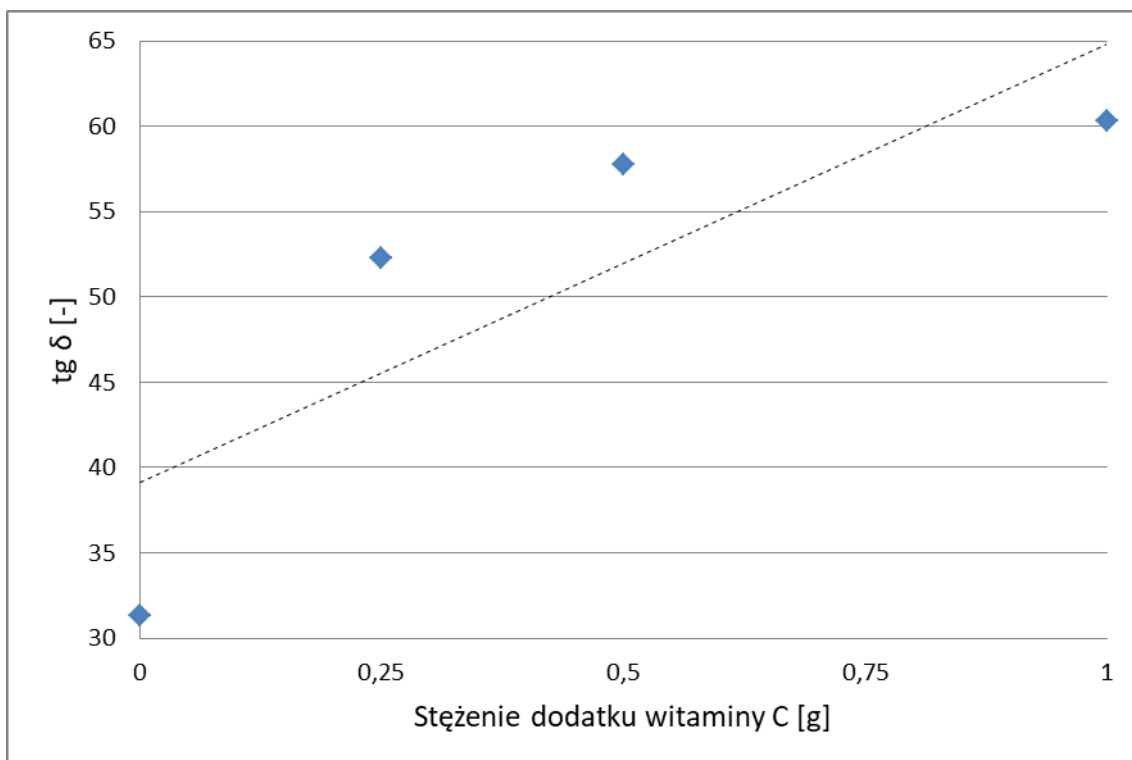
Rys. 47a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.



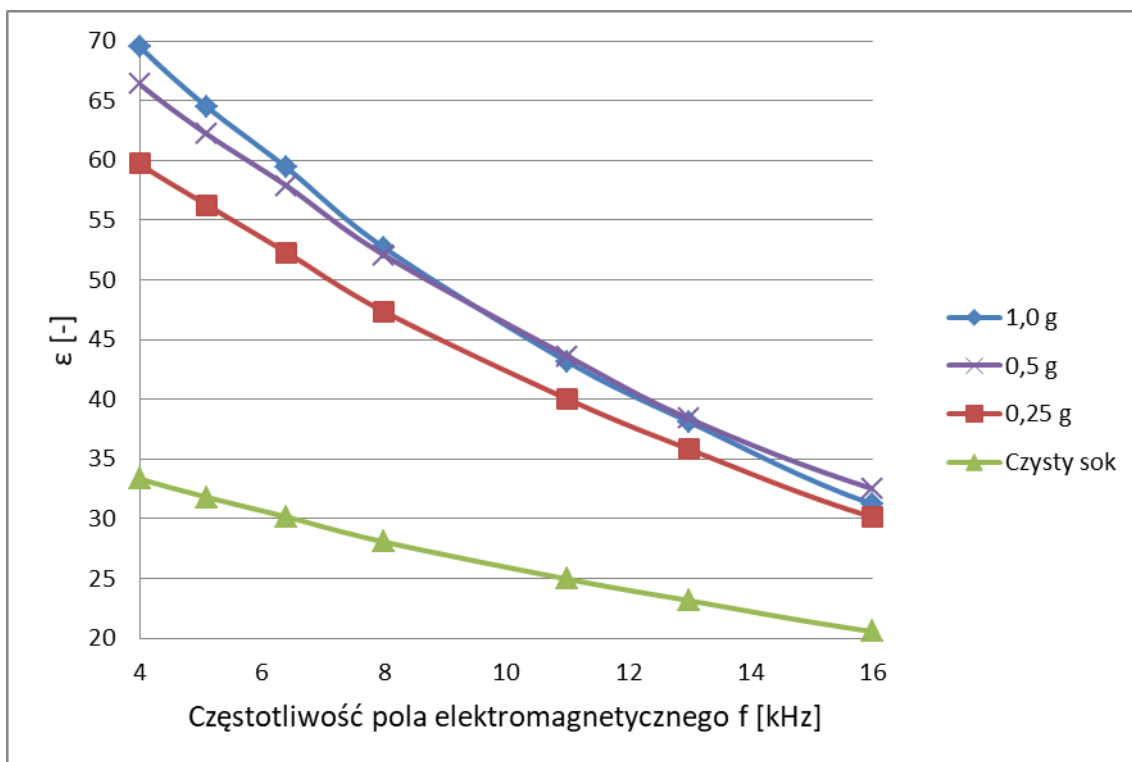
Rys. 47b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.



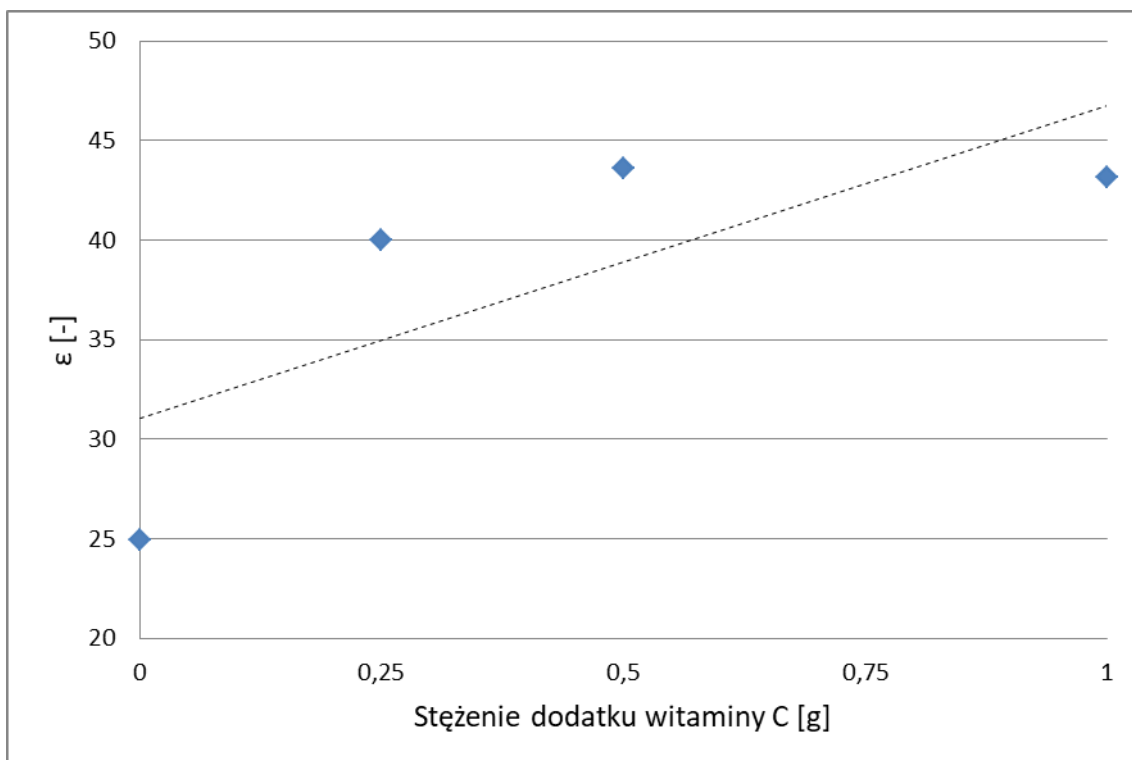
Rys. 48a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.



Rys. 48b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.



Rys. 49a. Zależność od częstotliwości przenikalności elektrycznej soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.



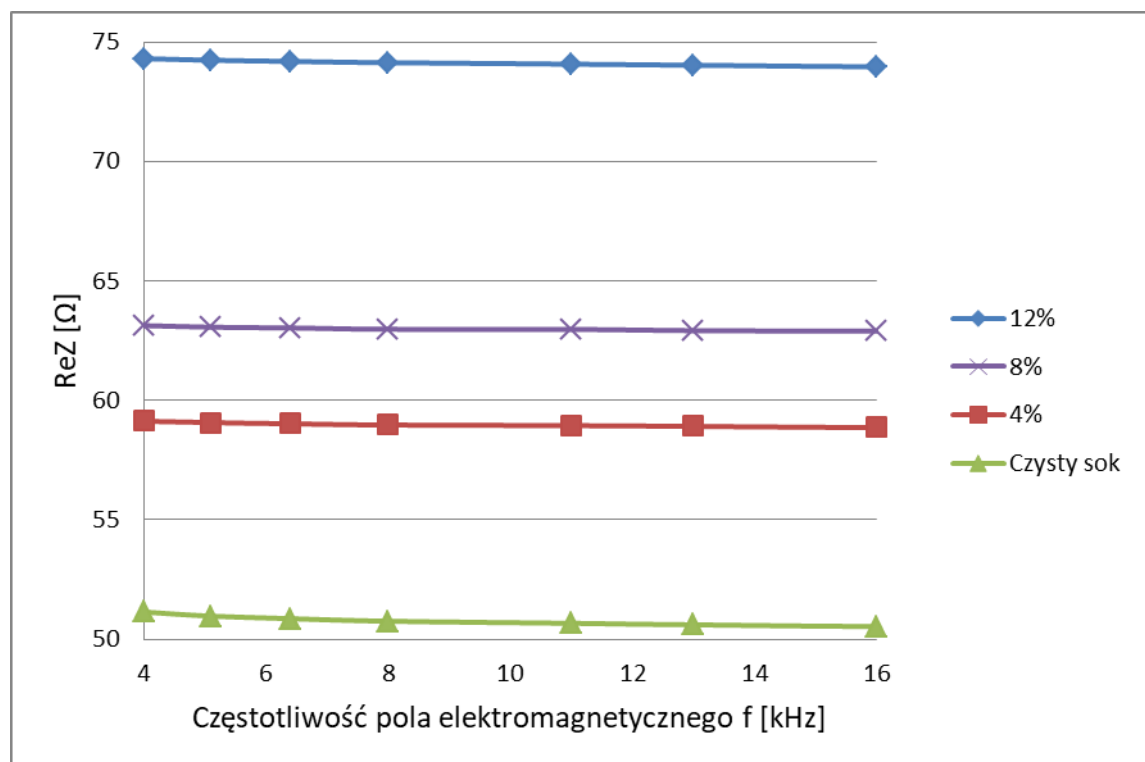
Rys. 49b. Zależność przenikalności elektrycznej mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Dodatek glukozy

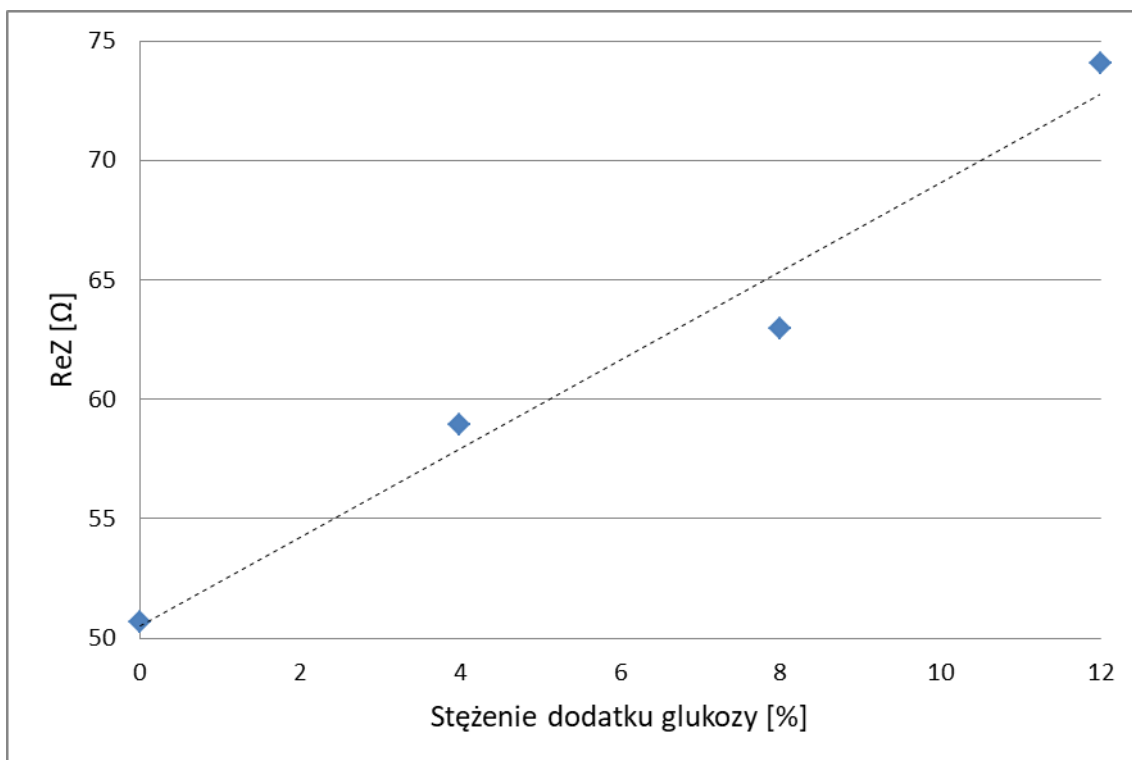
Analiza statystyczna wykazała, że istnieją statystycznie istotne różnice między wartościami części rzeczywistej impedancji soku czystego i soku dodatkiem glukozy jeśli dodatek ten wynosi co najmniej 8%. Istotne statystycznie różnice uzyskano również dla współczynnika strat dielektrycznych. Różnicuje on sok czysty od soku z dodatkiem glukozy jeśli dodatek substancji słodzącej wynosi co najmniej 8%.

Dodatek fruktozy

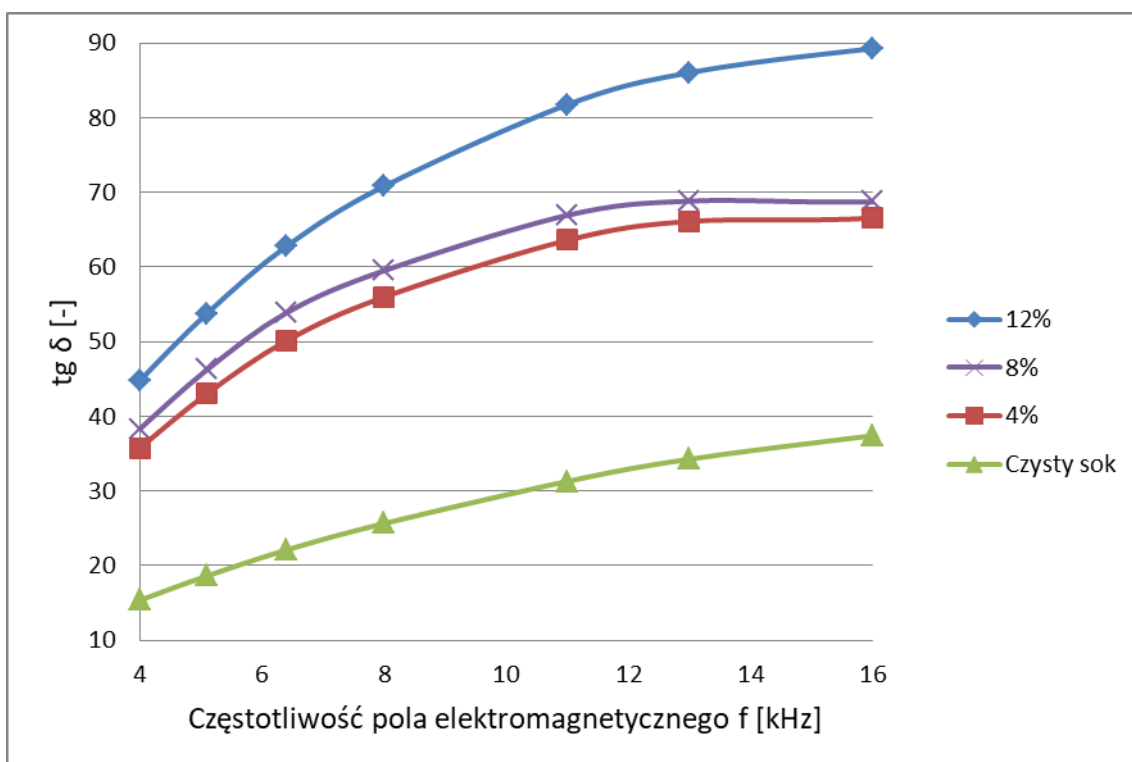
Wyniki testów statystycznych w przypadku dodatku fruktozy są zbieżne z wynikami uzyskanymi dla dodatku glukozy. Część rzeczywista impedancji oraz współczynnik strat dielektrycznych różnicują w sposób istotny statystycznie sok czysty od soku z dodatkiem substancji słodzącej, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 8%.



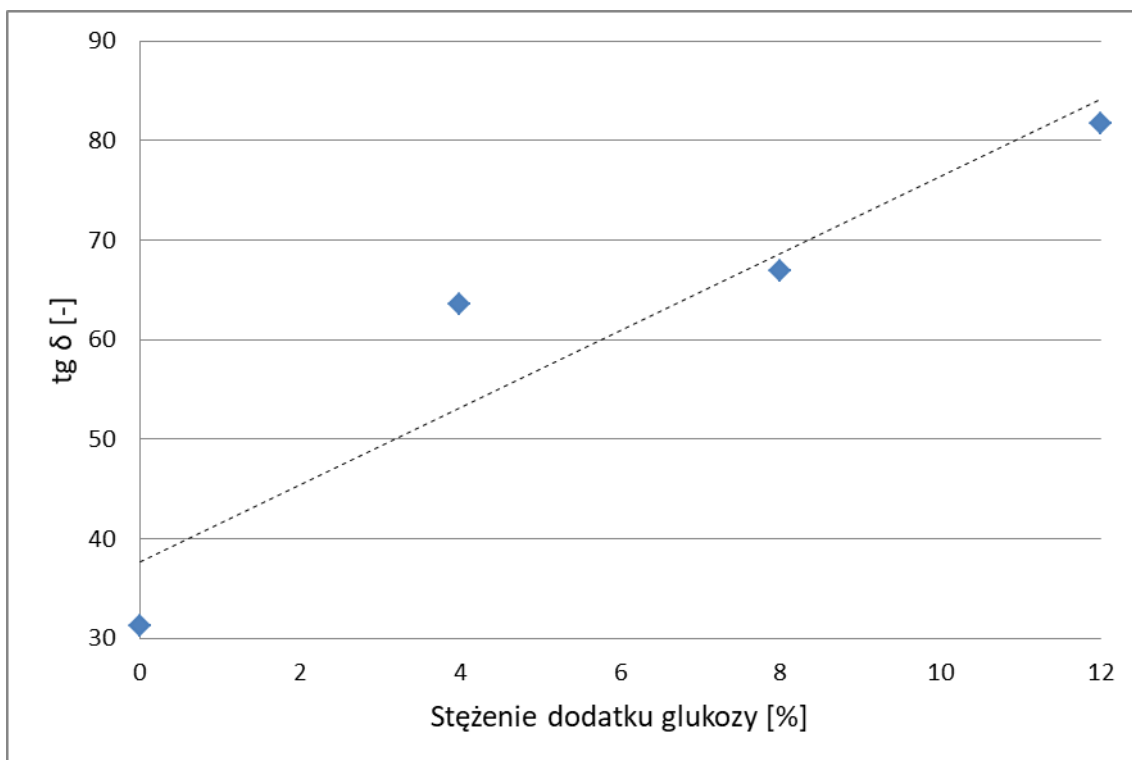
Rys. 50a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.



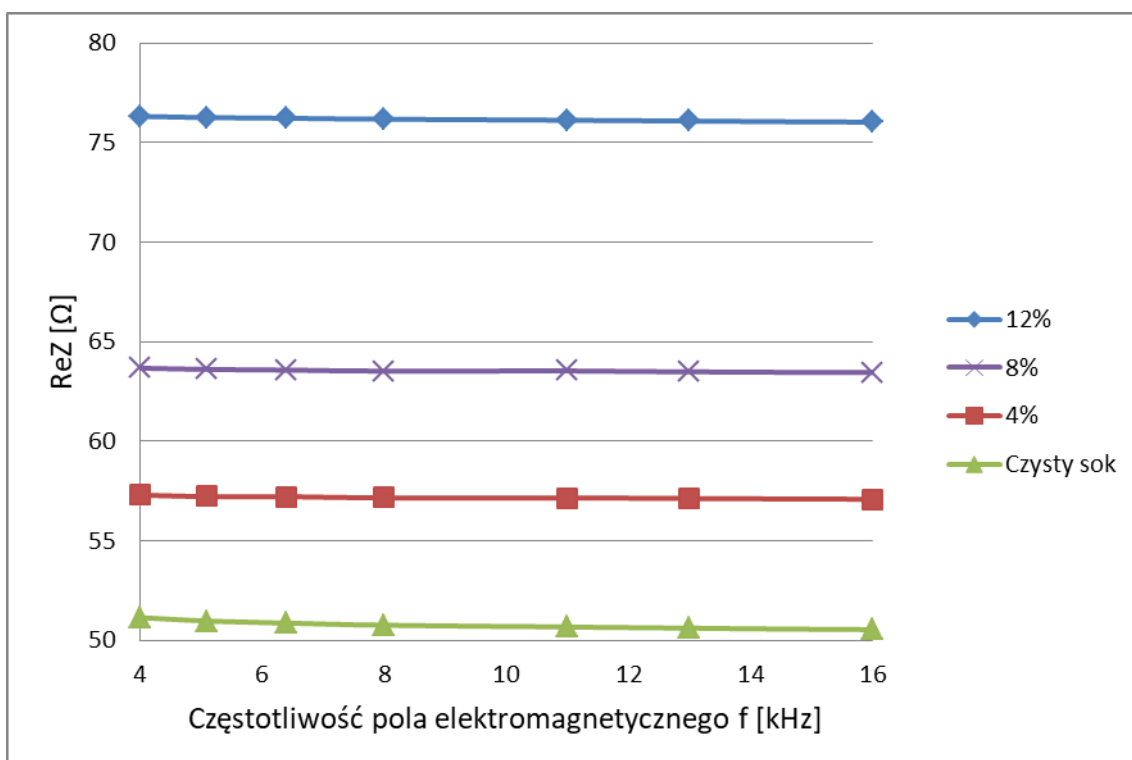
Rys. 50b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.



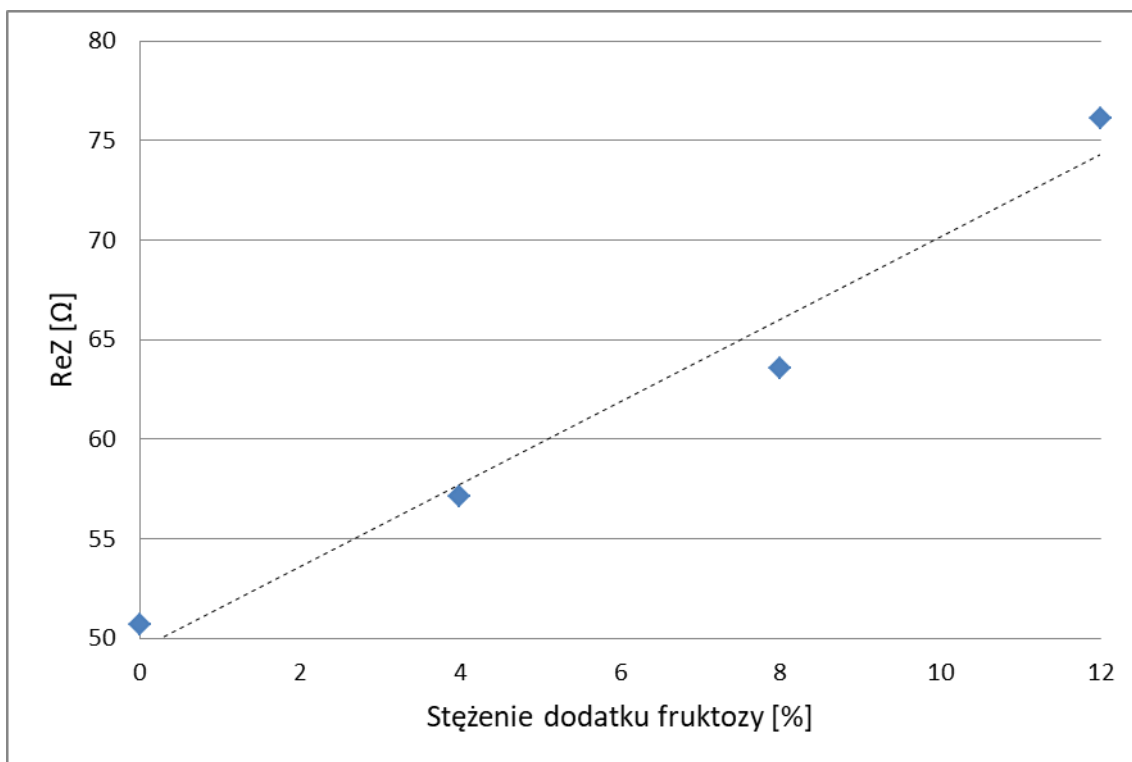
Rys. 51a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.



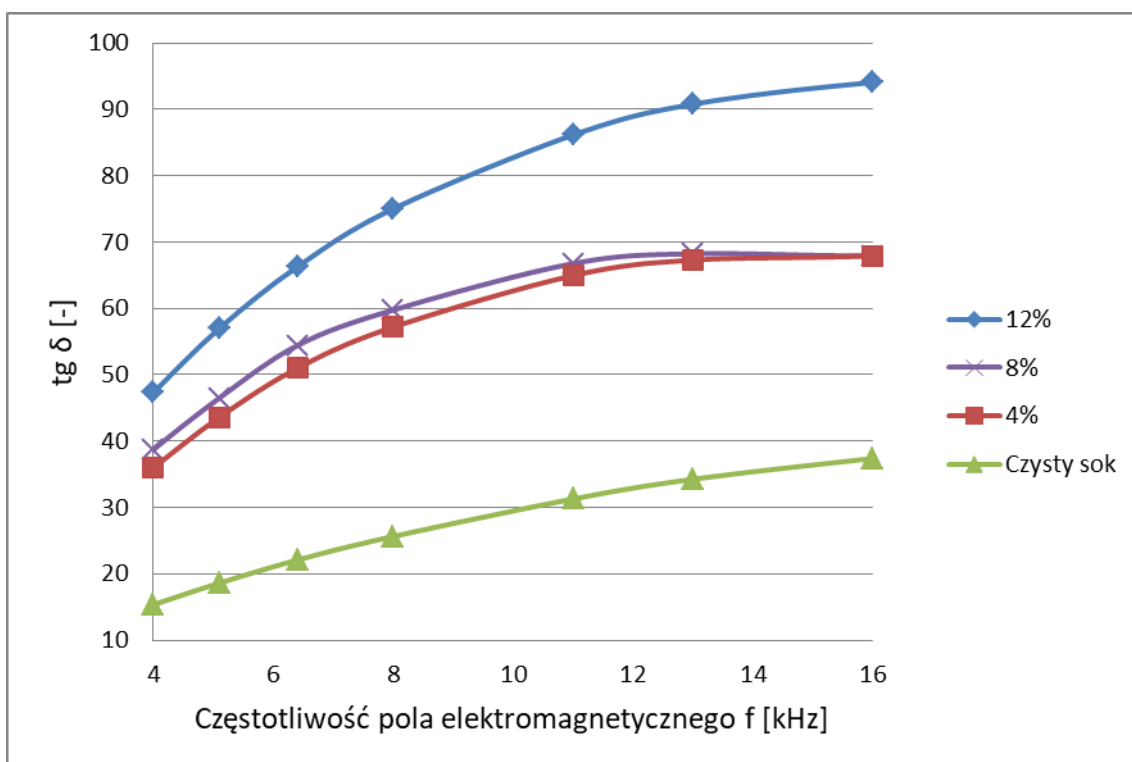
Rys. 51b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napolí.



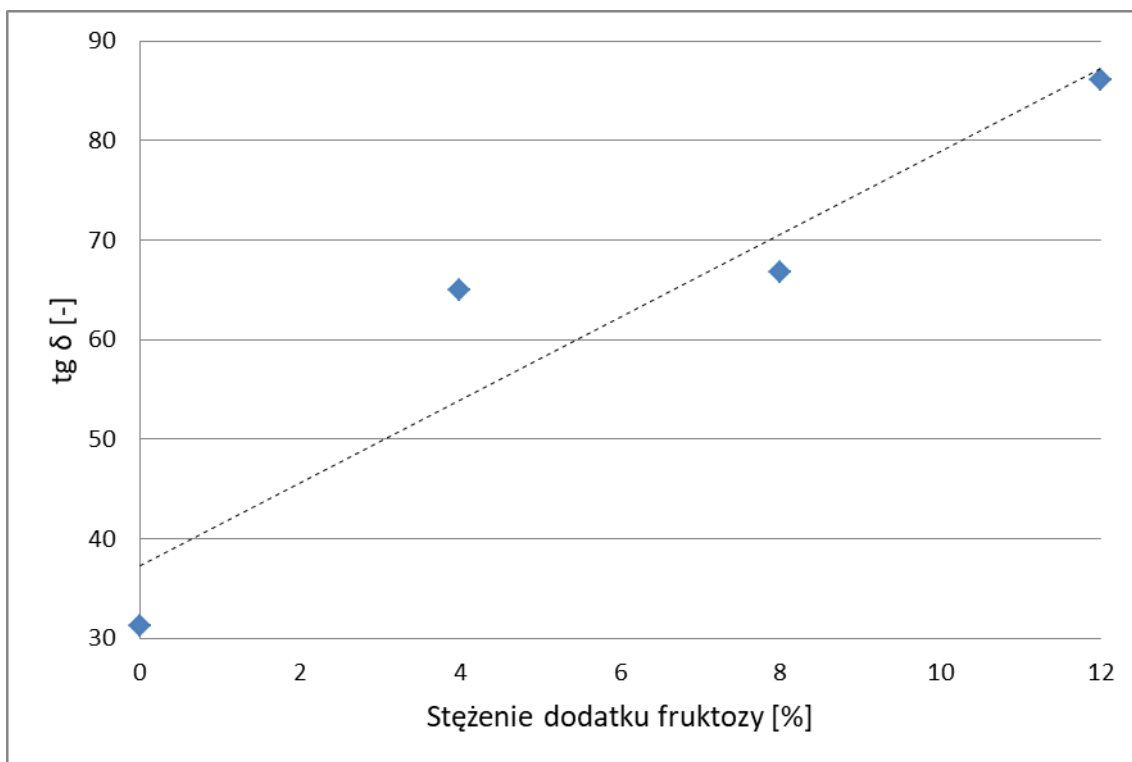
Rys. 52a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napolí z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.



Rys. 52b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.



Rys. 53a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.



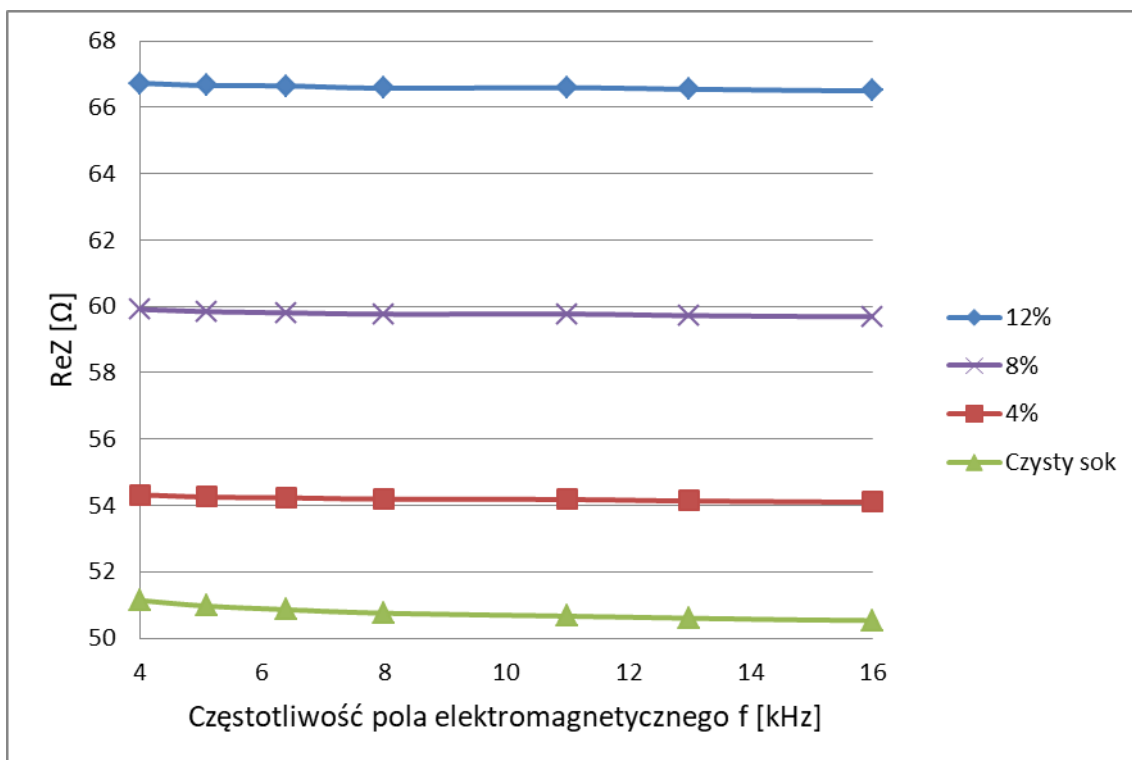
Rys. 53b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Dodatek syropu glukozy-fruktozowego

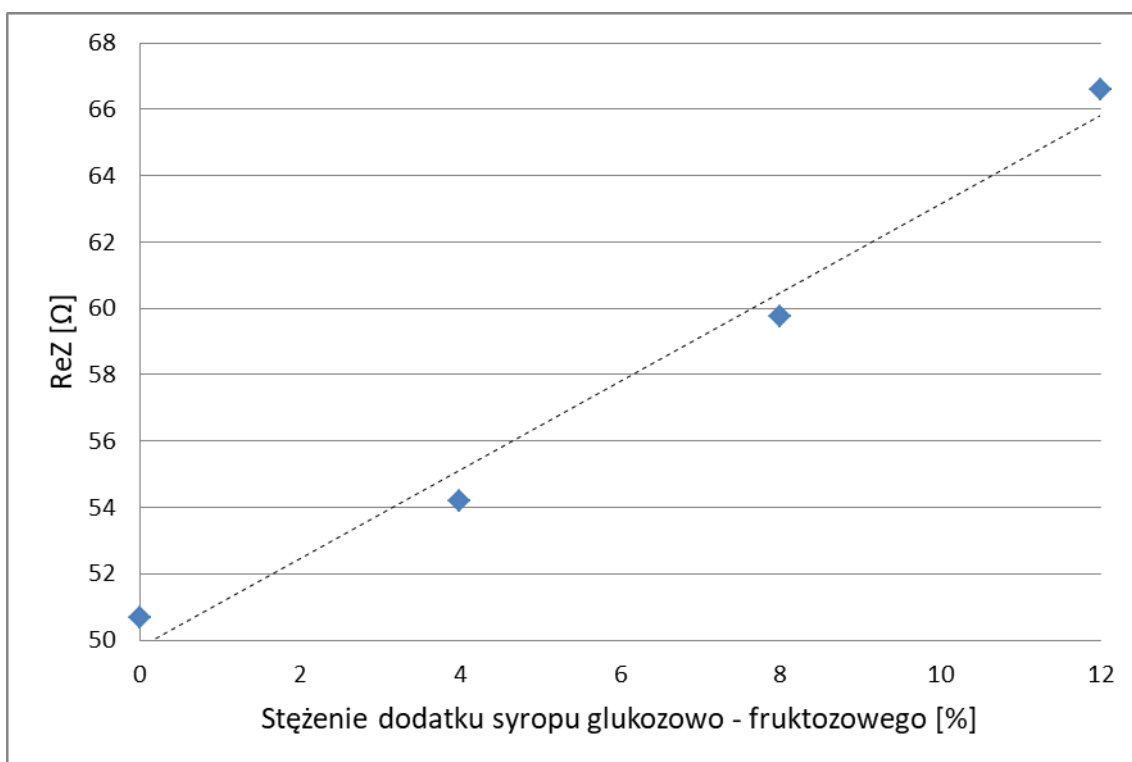
Na podstawie wyników testu Kruskala-Wallisa stwierdzono statystycznie istotne różnice dla części rzeczywistej impedancji oraz współczynnika strat dielektrycznych, między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem syropu, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 8%.

Dodatek soli

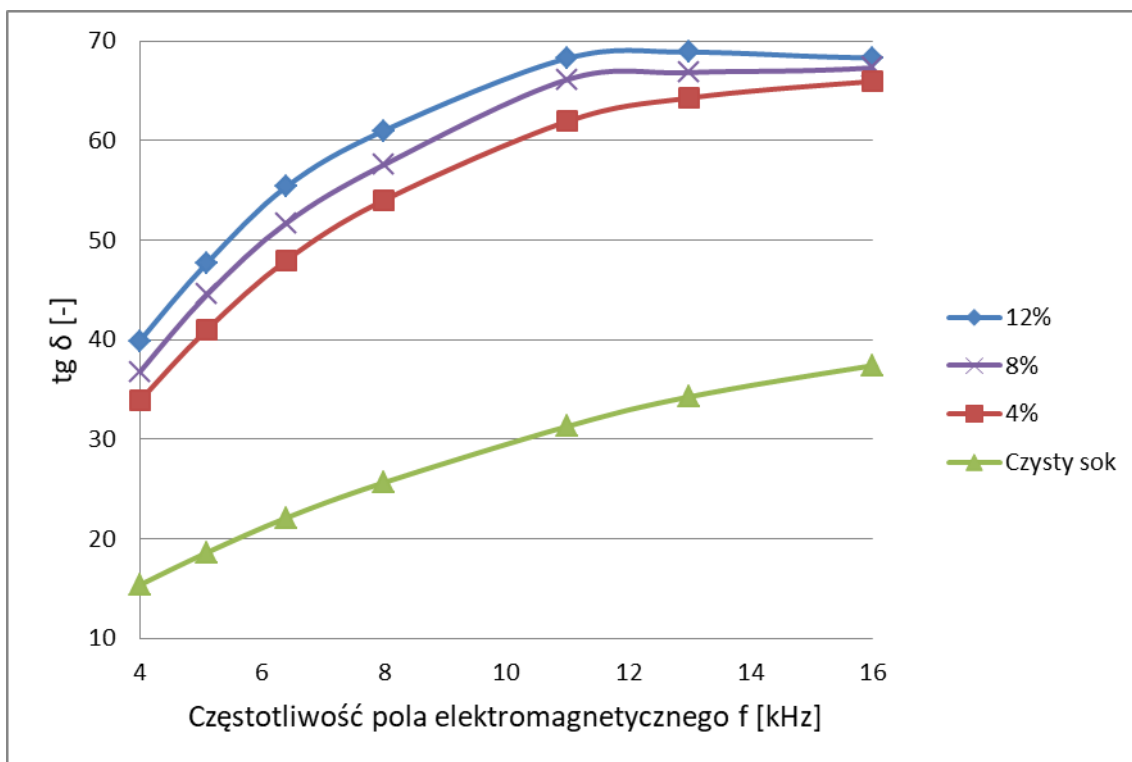
Analiza statystyczna wykazała, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym a sokiem z dodatkiem soli wynoszącym 0,2 g lub więcej.



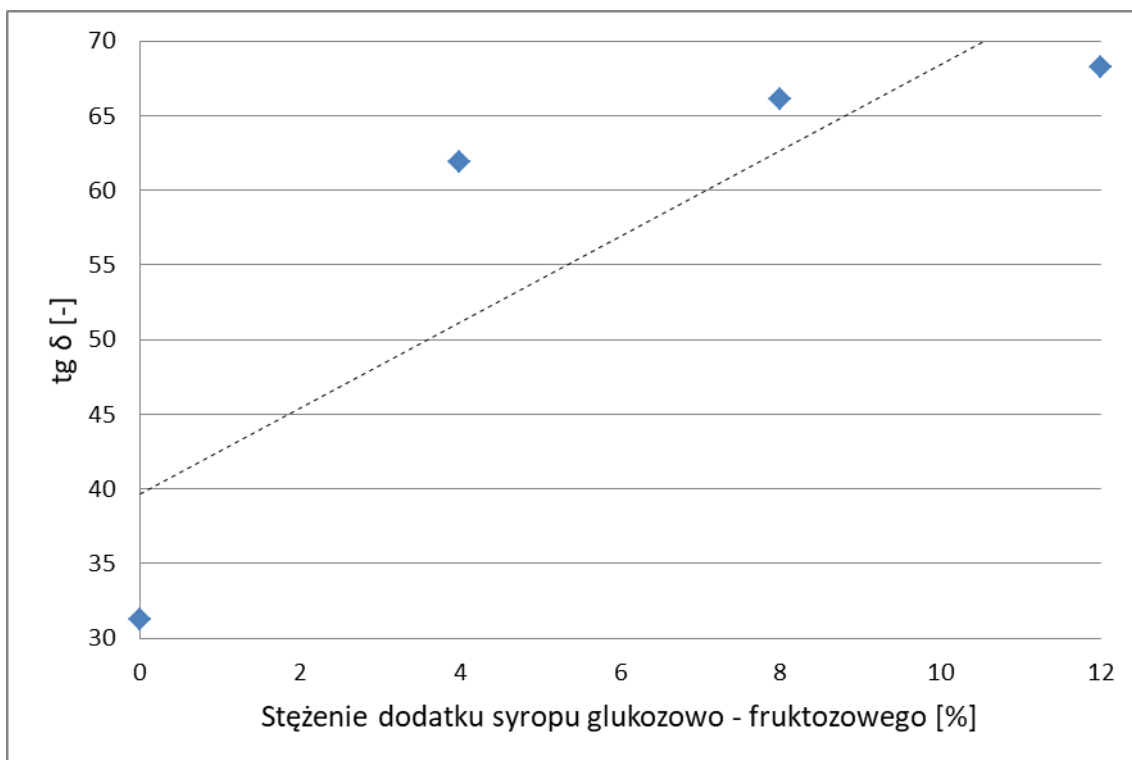
Rys. 54a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.



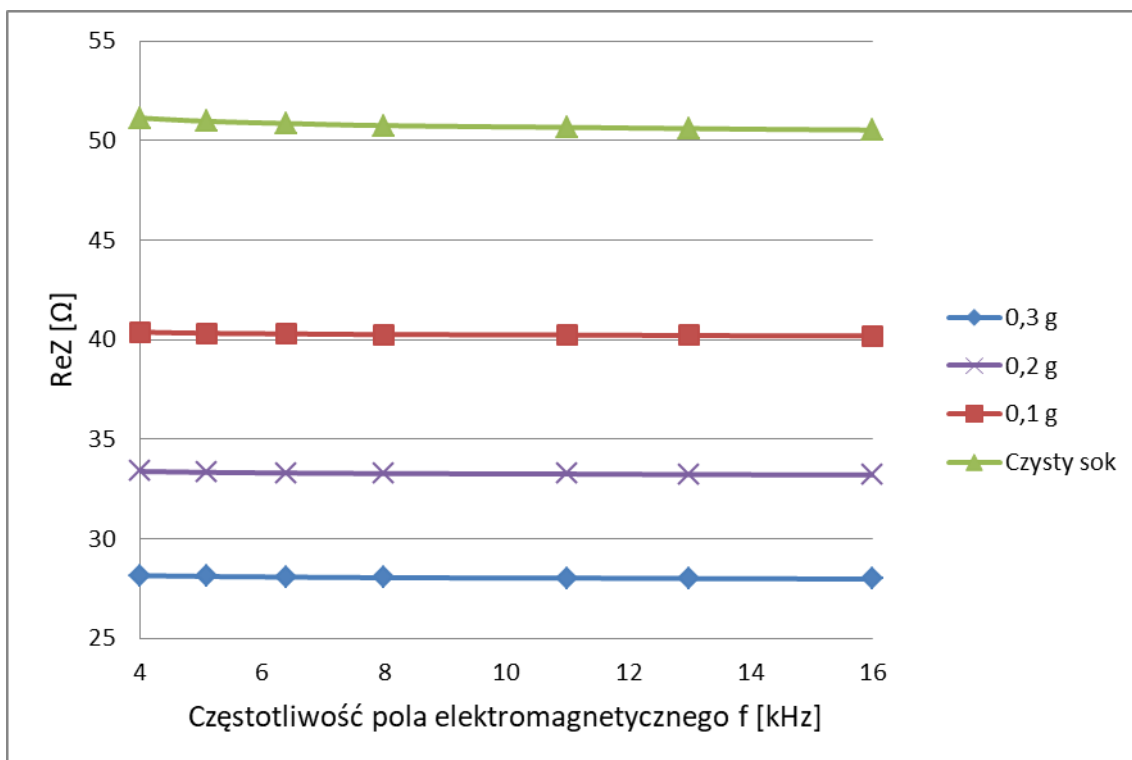
Rys. 54b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.



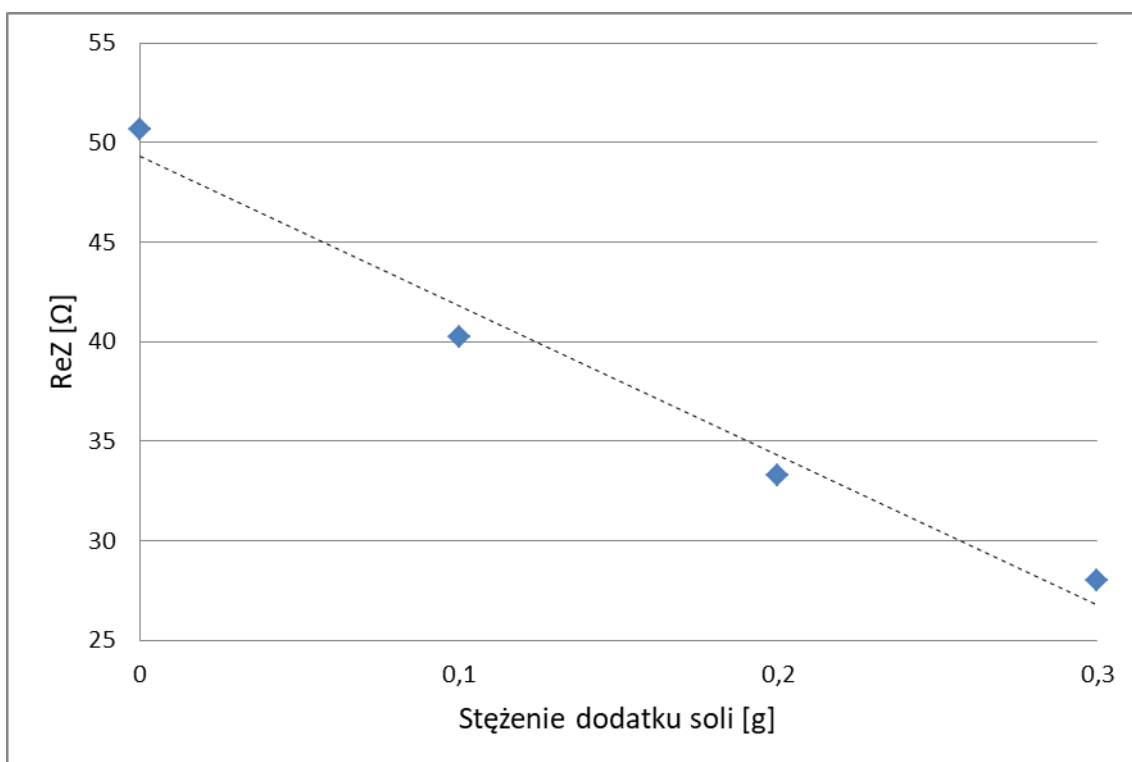
Rys. 55a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.



Rys. 55b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.



Rys. 56a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem soli w różnych stężeniach.



Rys. 56b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Generalnie można stwierdzić, że dla soku z marchwi odmiany Napoli, wszystkie parametry elektryczne wskazane jako użyteczne w wykrywaniu dodatków przez testy statystyczne, zmieniają się w sposób monotoniczny wraz ze wzrostem stężenia analizowanego dodatku (rysunki 45b-56b).

Odstępstwa od zbliżonej do liniowej zależności między wartością parametru elektrycznego, a stężeniem dodatku można zaobserwować w kilku przypadkach. Przedstawione na rysunkach 48b i 49b zależności współczynnika strat dielektrycznych i przenikalności elektrycznej od stężenia witaminy C wskazują na to, że wartość tych parametrów silnie wzrasta wraz ze wzrostem stężenia dodatku do wartości 0,5 g, a następnie ten wzrost ulega osłabieniu. Można to jednak zignorować z uwagi na fakt, że testy statystyczne wykazały przydatność tych parametrów do wykrywania dodatku witaminy C nie mniejszego niż 0,5 g.

Zależność współczynnika strat dielektrycznych od stężenia fruktozy (rys. 53b) wskazuje na niewielką różnicę wartości $\text{tg}\delta$ przy zmianie stężenia fruktozy z 4% do 8%. Nie ma to jednak wpływu na wykazaną statystycznie przydatność tego parametru do wykrywania dodatku fruktozy nie mniejszego niż 8%. W przypadku syropu glukozowo-fruktozowego, wartość współczynnika strat dielektrycznych silnie rośnie po dodaniu syropu w stężeniu 4%. Natomiast późniejszy wzrost stężenia dodatku powoduje już niewielki wzrost wartości $\text{tg}\delta$. Stawia to pod znakiem zapytania możliwość rozróżnienia za pomocą tego parametru soku z dodatkiem syropu w stężeniu 4% od soków z dodatkiem syropu 8% i 12%. W pozostałych przypadkach, parametry elektryczne mogą być wykorzystane do różnicowania soków czystych od soków z dodatkami w danych stężeniach, co jest zgodne z wynikami testów statystycznych.

Wyniki uzyskane dla soków marchwiowych przedstawiono w Tabeli 8. Poniższe dane przedstawiają w sposób poglądowy możliwość wykorzystania poszczególnych parametrów elektrycznych do odróżnienia soku czystego od soku z dodatkami wody, soli, witaminy C i substancji słodzących.

Tabela 8. Możliwość wykorzystania parametrów elektrycznych soku marchwiowego do wykrywania poszczególnych dodatków (znak "-" oznacza brak możliwości wykorzystania danego parametru do odróżnienia soku czystego od soku z dodatkiem, wartości liczbowe oznaczają minimalny dodatek danej substancji pozwalający na jego wykrycie).

Dodatek	ReZ	ImZ	tgδ	ε
Sok z marchwi odmiany Bangor				
Woda	≥ 20%	-	-	-
Witamina C	≥ 0,5 g	-	-	-
Glukoza	≥ 8%	-	≥ 12%	-
Fruktoza	≥ 8%	-	≥ 12%	-
Syrop GF	≥ 8%	-	-	-
Sól	≥ 0,2 g	-	-	≥ 0,3 g
Sok z marchwi odmiany Napoli				
Woda	≥ 20%	-	≥ 30%	-
Witamina C	≥ 0,5 g	-	≥ 0,5 g	≥ 0,5 g
Glukoza	≥ 8%	-	≥ 8%	-
Fruktoza	≥ 8%	-	≥ 8%	-
Syrop GF	≥ 8%	-	-	-
Sól	≥ 0,2 g	-	-	-

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/12/UE dotyczy wyłącznie soków owocowych i soku pomidorowego, dlatego dodatek cukrów do soku warzywnego nie jest prawnie zabroniony. Jednak z punktu widzenia konsumenta, produkt opisany jako 100% sok marchwiowy nie powinien zawierać dodatku cukru. Część rzeczywista impedancji pozwala wykryć dodatek glukozy, fruktozy i syropu glukozowo-fruktozowego nie mniejszy niż 8% dla soku z marchwi obu badanych odmian. Można więc stwierdzić, że pomiar części rzeczywistej impedancji pozwala na wykrycie dodatku substancji słodzących, ale dopiero przy stężeniu dodatku od 8%.

Dodatek substancji słodzących można też wykrywać na podstawie pomiarów współczynnika strat dielektrycznych. Jednak za pomocą tego parametru można wykrywać dodatek nie mniejszy niż 12% w przypadku glukozy i fruktozy dla soku z marchwi odmiany Bangor i nie mniejszy niż 8% dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Producenci soków 100% nie powinni też stosować dodatku wody. Do wykrycia takiego dodatku można wykorzystać część rzeczywistą impedancji dla soków z obu odmian marchwi, jeśli dodatek ten jest nie mniejszy niż 20%. Parametrem różnicującym może być w tym przypadku także współczynnik strat dielektrycznych, jednak tylko dla soku z marchwi odmiany Napoli i przy dodatku wody nie mniejszym niż 30%. Pomiar części rzeczywistej impedancji pozwala wykryć w soku marchwiowym dodatek witaminy C nie mniejszy niż 0,5 g w przypadku soków z obu odmian marchwi.

Dodatkowo, dla soku z marchwi odmiany Napoli, taki sam dodatek witaminy C można wykryć na podstawie pomiarów współczynnika strat dielektrycznych i przenikalności elektrycznej. Pomiar części rzeczywistej impedancji pozwala także wykryć w soku marchwiowym dodatek soli nie mniejszy niż 0,2 g w przypadku soków z obu odmian warzywa. Dodatkowo, dla soku z marchwi odmiany Bangor, dodatek soli nie mniejszy niż 0,3 g można wykryć na podstawie pomiarów współczynnika strat dielektrycznych.

W badaniach cech elektrycznych soków marchwiowych z dodatkami wykorzystano sok uzyskany metodą szybkoobrotową. Przy pozyskaniu produktu tą metodą, sok z marchwi odmiany Napoli zawiera więcej cukrów, niż sok z marchwi odmiany Bangor. Jednak nie ma to wpływu na możliwość wykrywania dodatku substancji słodzących do soku marchwiowego na podstawie pomiarów części rzeczywistej impedancji. Natomiast w przypadku współczynnika strat dielektrycznych, niższy poziom dodatku glukozy i fruktozy zostanie wykryty dla słodsze soku z marchwi odmiany Napoli.

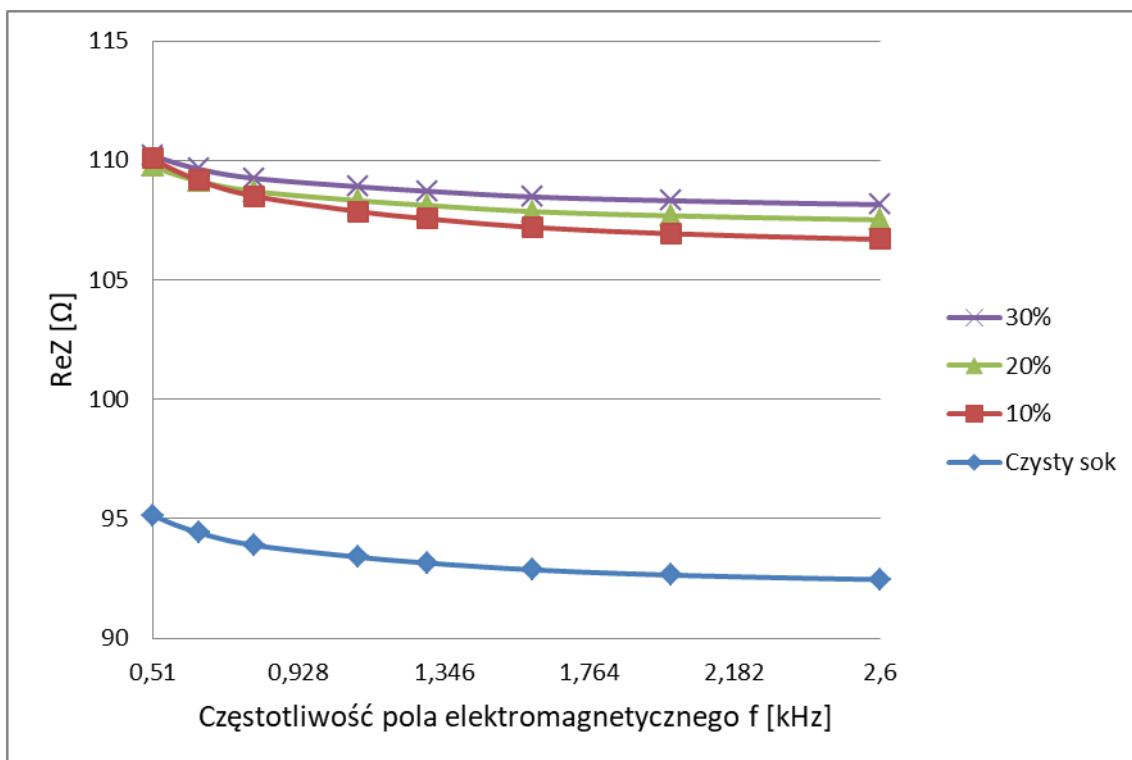
Sok pomidorowy

Badania statystyczne wykazały, że badane parametry elektryczne różnicują w sposób istotny statystycznie sok pomidorowy czysty i soki z dodatkami substancji słodzących, wody, soli i witaminy C, jeśli parametry te są mierzone w zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego od 510 Hz do 2,6 kHz. W tym zakresie częstotliwości wyniki testu U Manna-Whitneya wykazały statystycznie istotne różnice między sokiem z pomidorów odmiany Gargamel i sokiem z pomidorów odmiany Lima w przypadku części rzeczywistej impedancji oraz przenikalności elektrycznej.

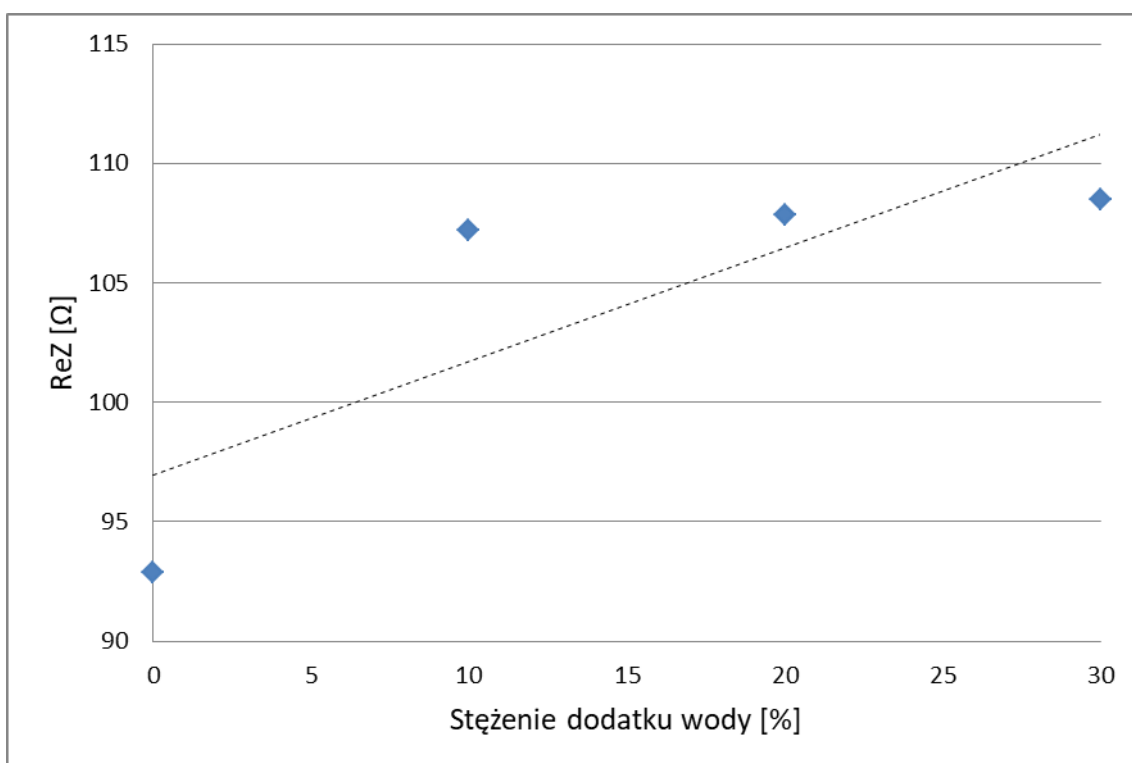
Sok z pomidorów odmiany Gargamel

Dodatek wody

Na podstawie wyników testu Kruskala-Wallisa można wskazać, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym, a sokiem z dodatkiem wody, jeśli ten dodatek wynosi 20% lub więcej.



Rys. 57a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkiem wody w różnych stężeniach.



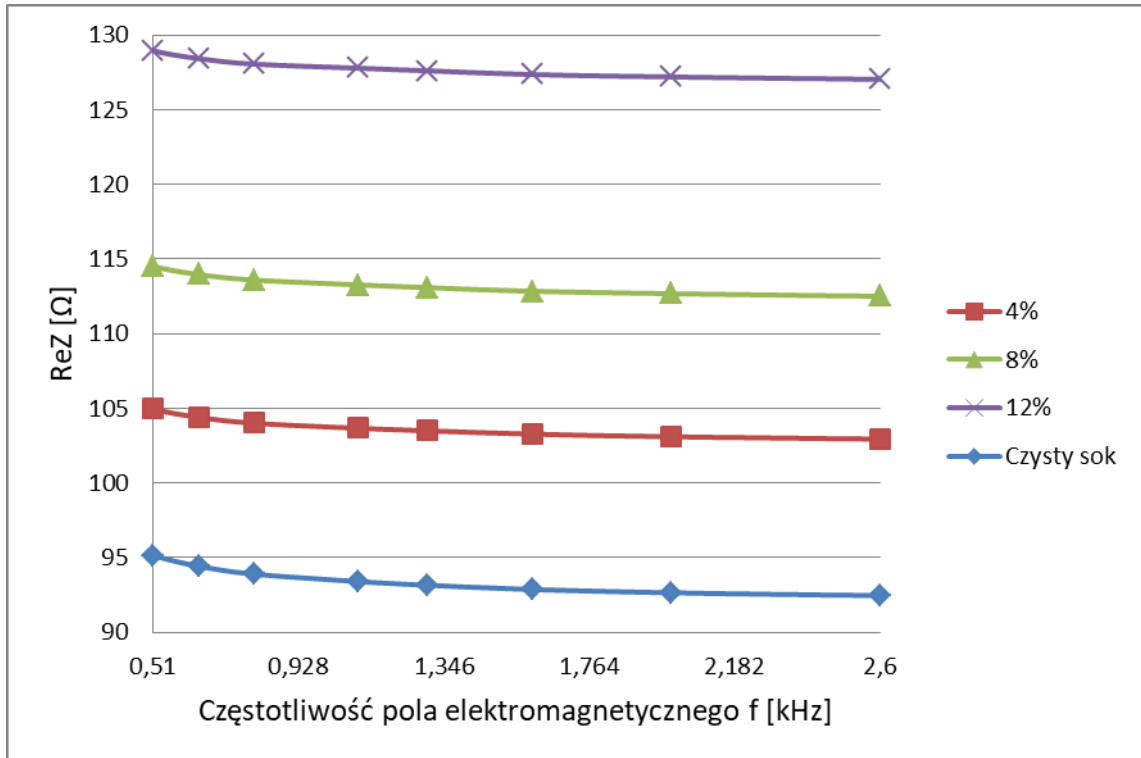
Rys. 57b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.

Dodatek witaminy C

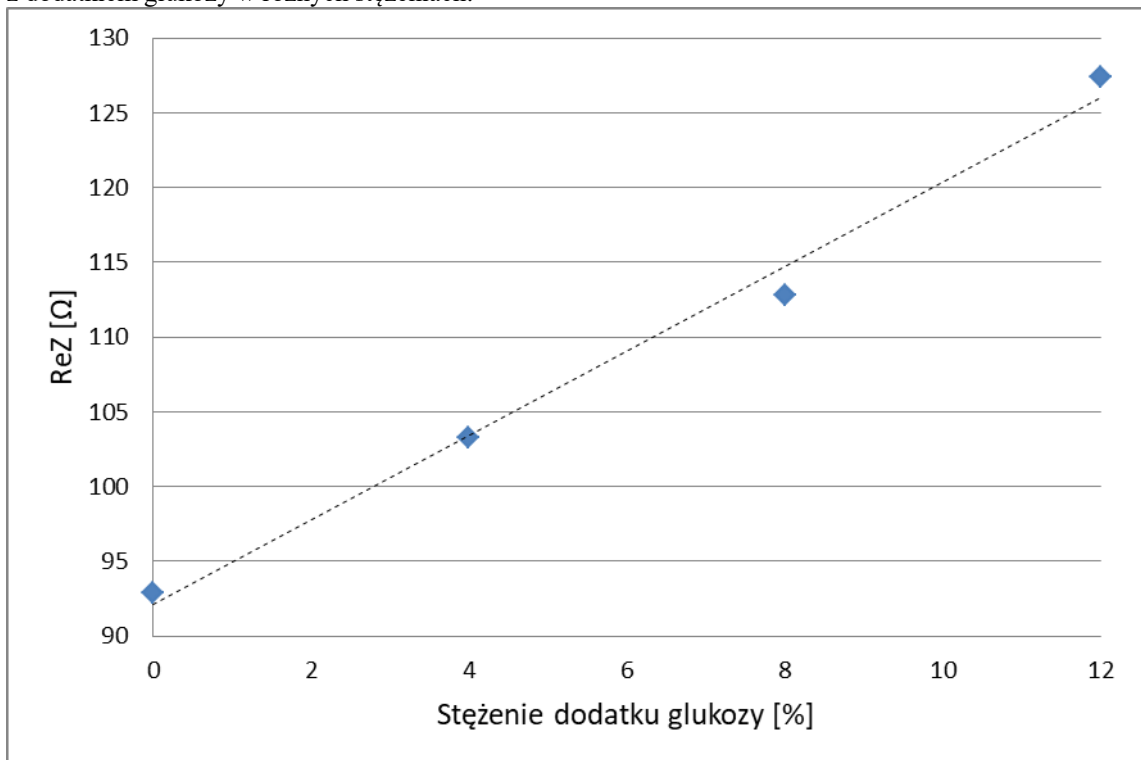
Na podstawie analiz statystycznych można stwierdzić, że żaden z badanych parametrów elektrycznych nie różnicuje soków w zależności od dodatku witaminy C.

Dodatek glukozy

Wyniki testów statystycznych prowadzą do wniosku, że istnieją statystycznie istotne różnice w wartościach części rzeczywistej impedancji między sokiem czystym a sokiem z dodatkiem glukozy wynoszącym 8% lub więcej.



Rys. 58a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.



Rys. 58b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.

Dodatek fruktozy

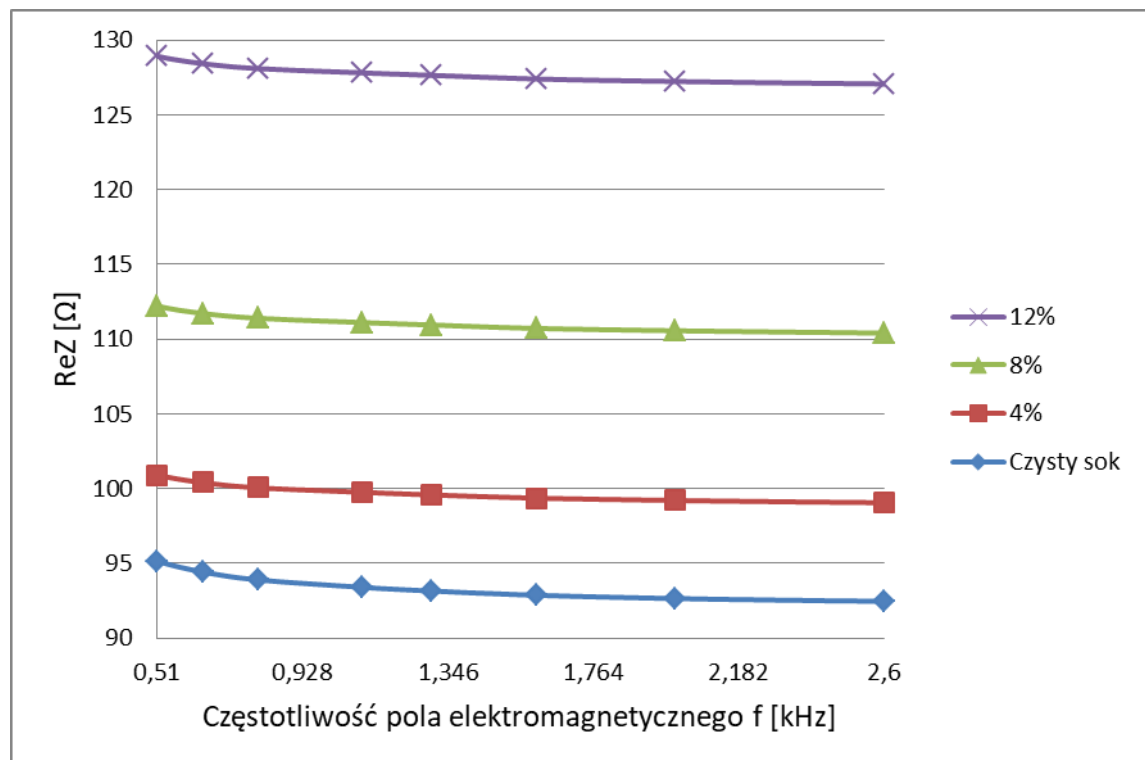
W przypadku dodatku fruktozy uzyskano identyczne wyniki jak w przypadku dodatku glukozy. Minimalny dodatek substancji słodzącej, przy którym analizy statystyczne wykazały istotne statystycznie różnice między sokiem czystym i sokiem z dodatkiem fruktozy dla części rzeczywistej impedancji wynosi 8%.

Dodatek syropu glukozowo-fruktozowego

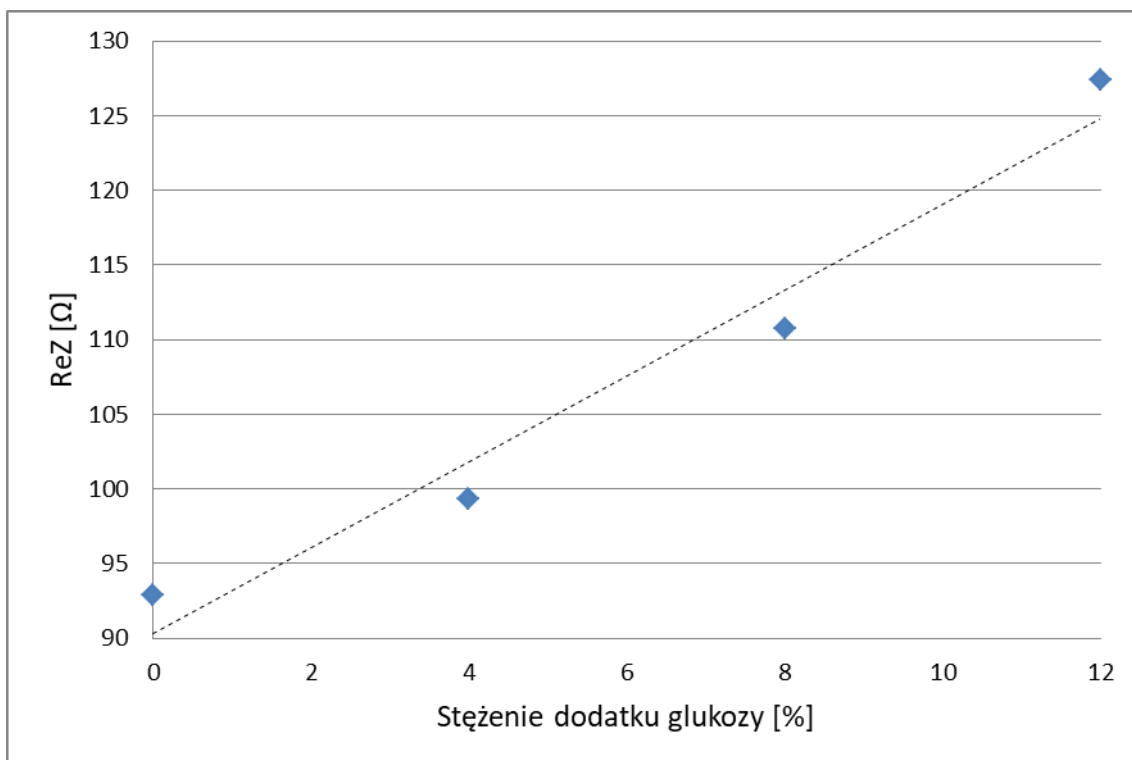
Dla tego dodatku, zaobserwowano statystycznie istotne różnice części rzeczywistej impedancji między sokiem czystym a sokiem z dodatkiem syropu, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 8%.

Dodatek soli

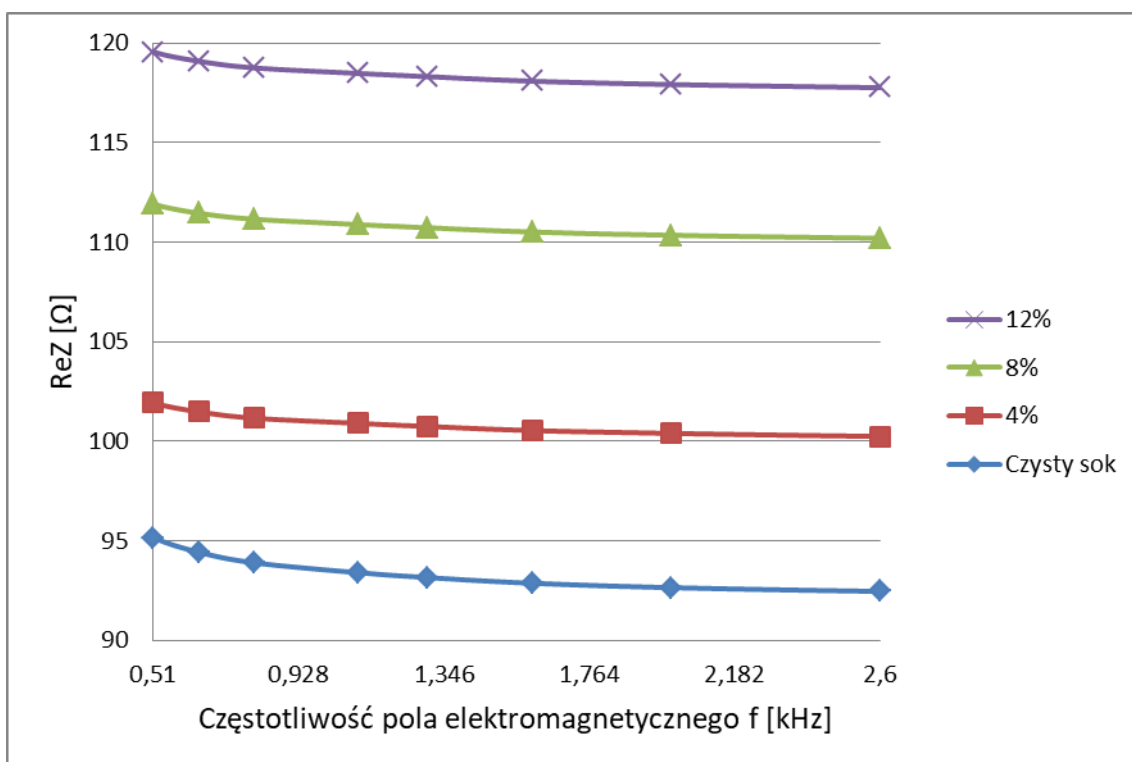
Na podstawie wyników testu Kruskala-Wallisa można stwierdzić, że część rzeczywista impedancji w sposób istotny statystycznie różnicuje sok czysty i sok z dodatkiem soli wynoszącym 0,2 g lub więcej.



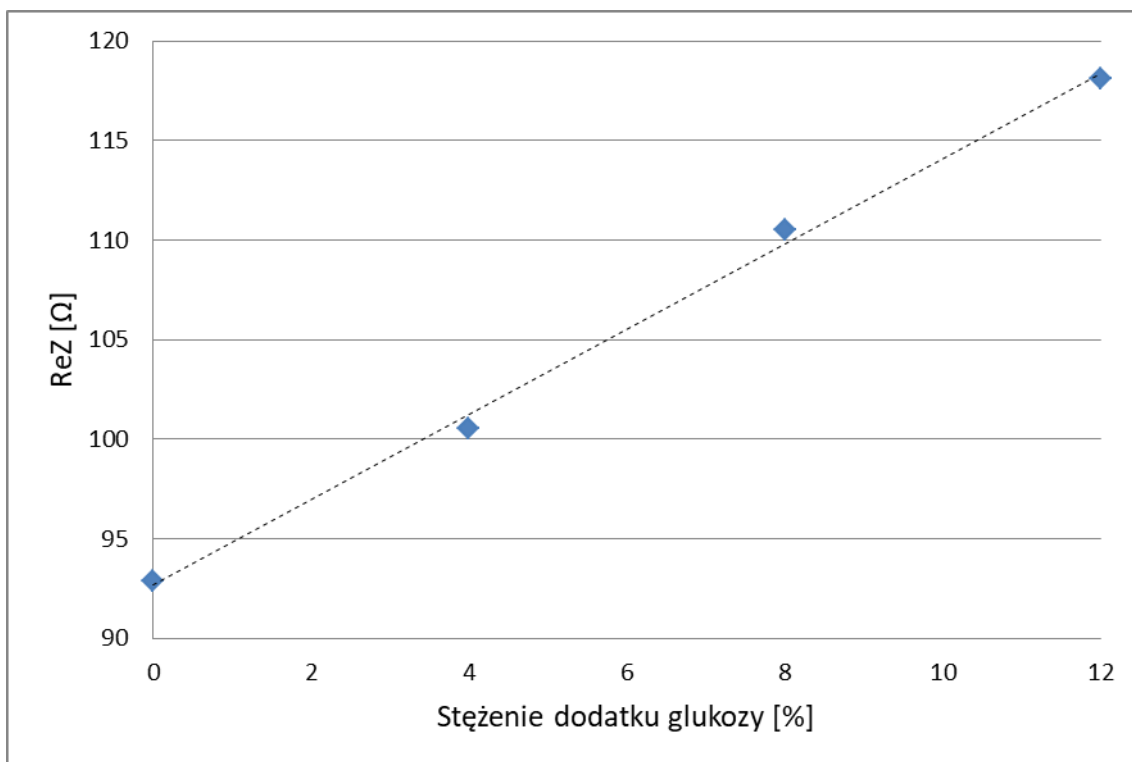
Rys. 59a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.



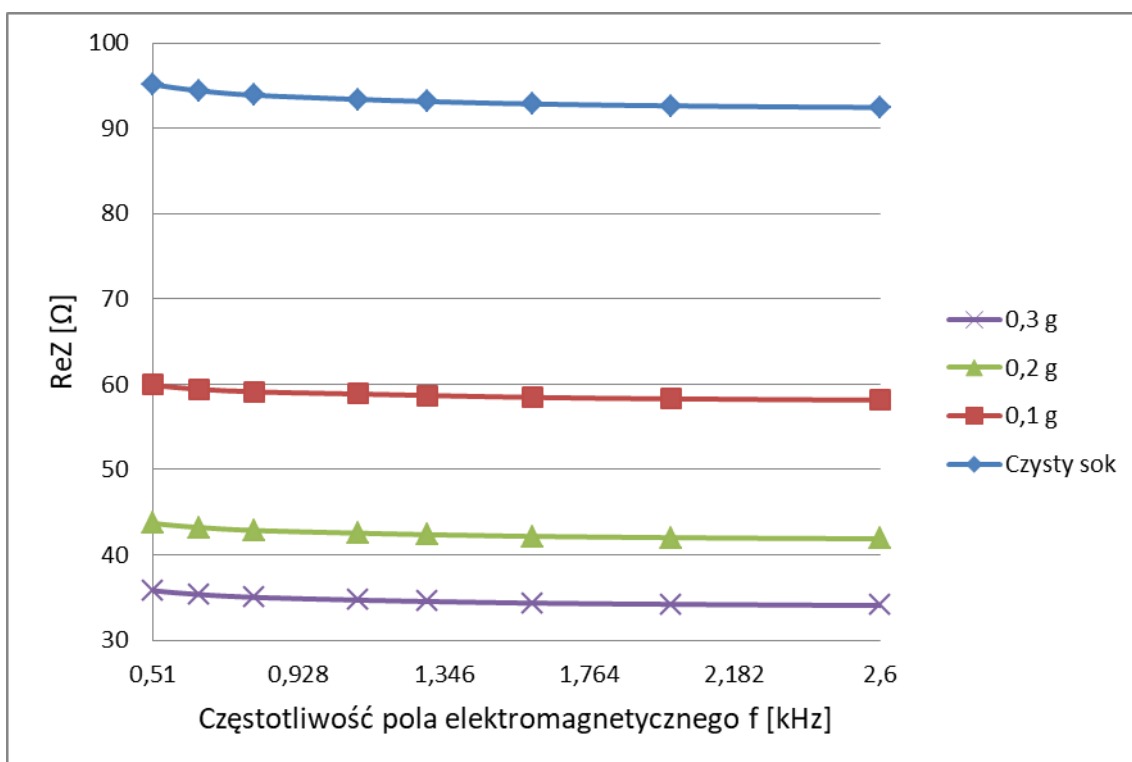
Rys. 59b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.



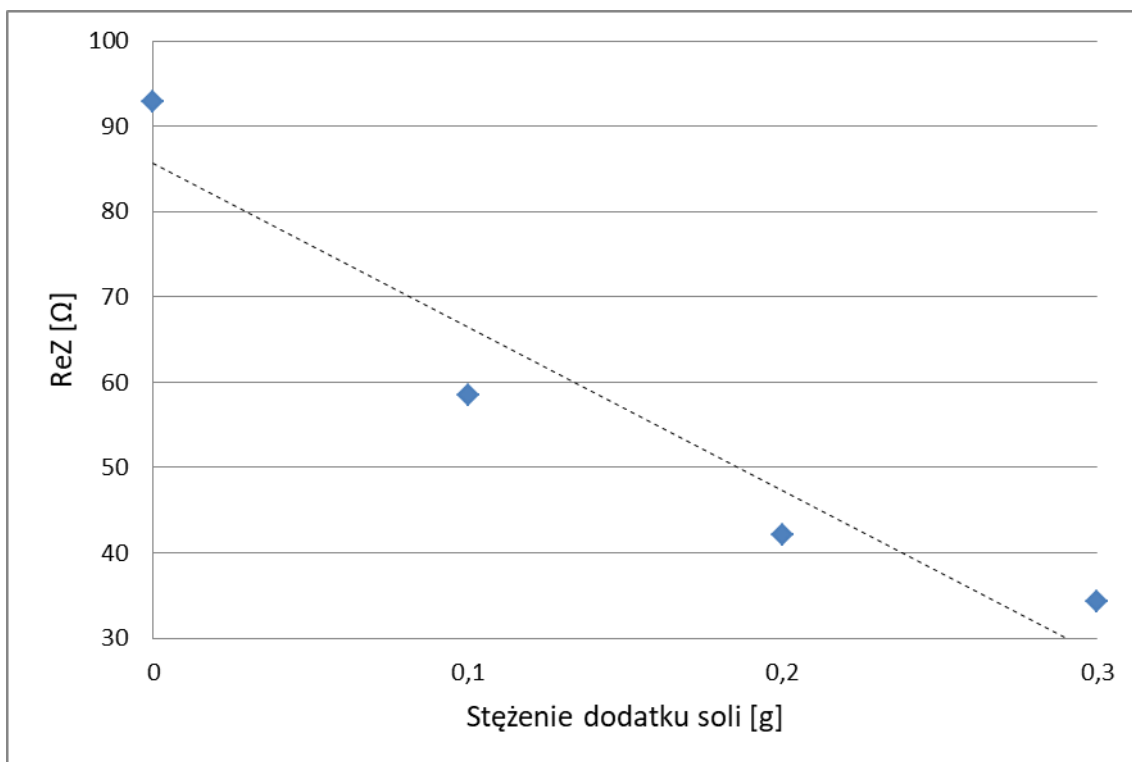
Rys. 60a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkami syropu glukozy-fruktozowego w różnych stężeniach.



Rys. 60b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.



Rys. 61a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkiem soli w różnych stężeniach.



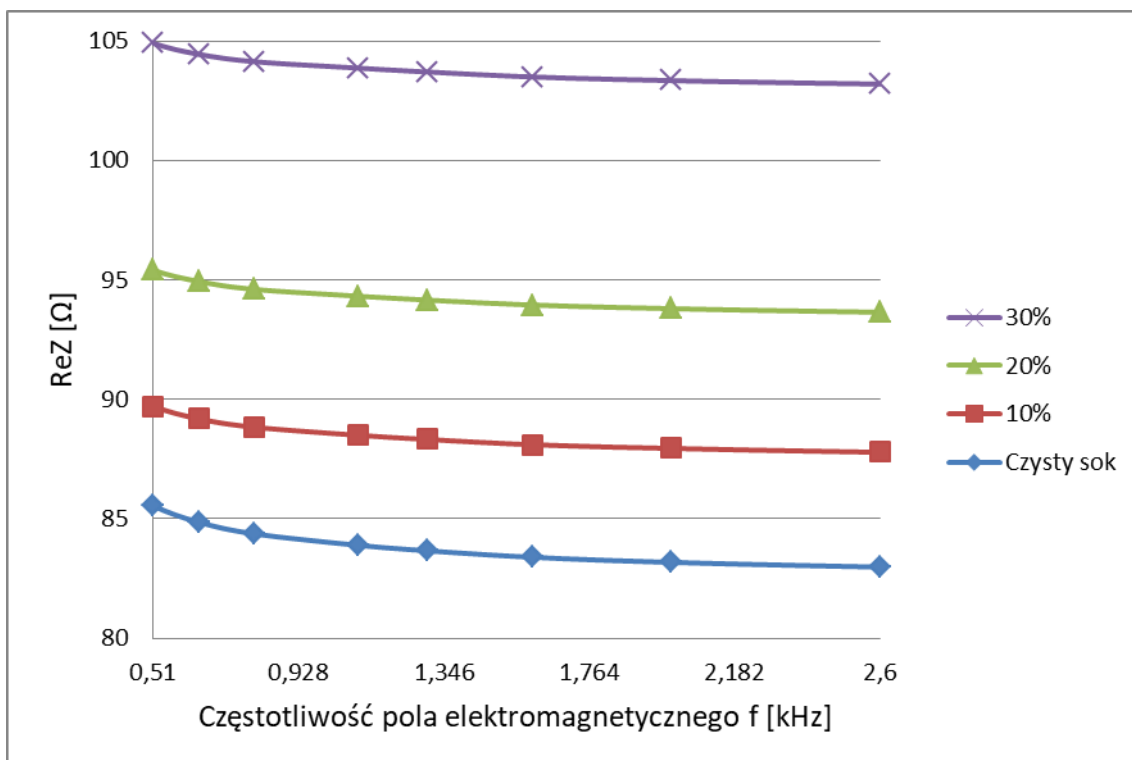
Rys. 61b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.

Zależności przedstawione rysunkach 58b-61b wskazują, że parametry elektryczne zmieniają się w sposób monotoniczny wraz ze wzrostem stężenia analizowanego dodatku. Potwierdza to wykazaną za pomocą testów statystycznych przydatność tych parametrów do różnicowania soków czystych od soków z dodatkami w danych stężeniach. Natomiast na rysunku 28b można zaobserwować, że dodatek wody do soku wynoszący 10% powoduje znaczący wzrost wartości części rzeczywistej impedancji. Jednak dalszy dodatek wody, aż do 30%, powoduje tylko bardzo nieznaczne zmiany wartości ReZ. Dlatego, mimo wyników analiz statystycznych, przydatność tego parametru do wykrywania dodatku wody o wartości minimum 20% jest wątpliwa.

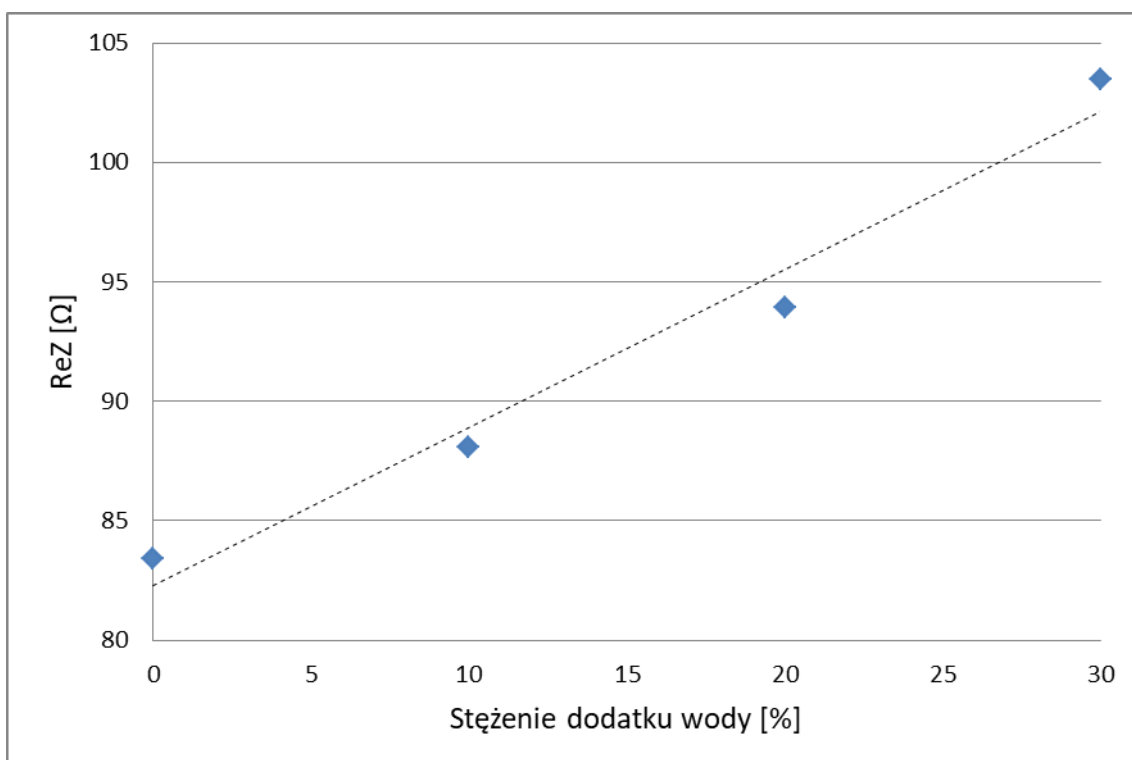
Sok z pomidorów odmiany Lima

Dodatek wody

Analizy statystyczne wykazały statystycznie istotne różnice w przypadku części rzeczywistej impedancji między czystym sokiem a sokiem z dodatkiem wody wynoszącym co najmniej 20%.



Rys. 62a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem wody w różnych stężeniach.



Rys. 62b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima.

Dodatek witaminy C

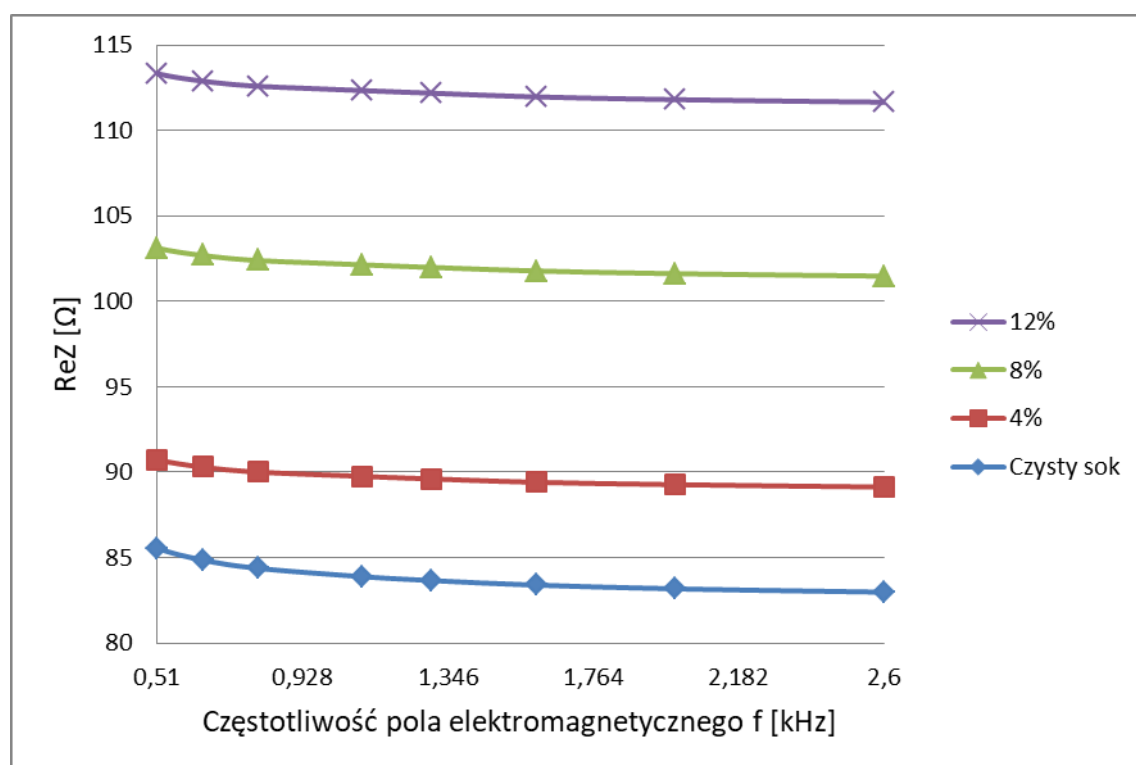
Bazując na wynikach testów statystycznych nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między sokiem czystym a sokiem z dodatkiem witaminy C dla żadnego z parametrów elektrycznych.

Dodatek glukozy

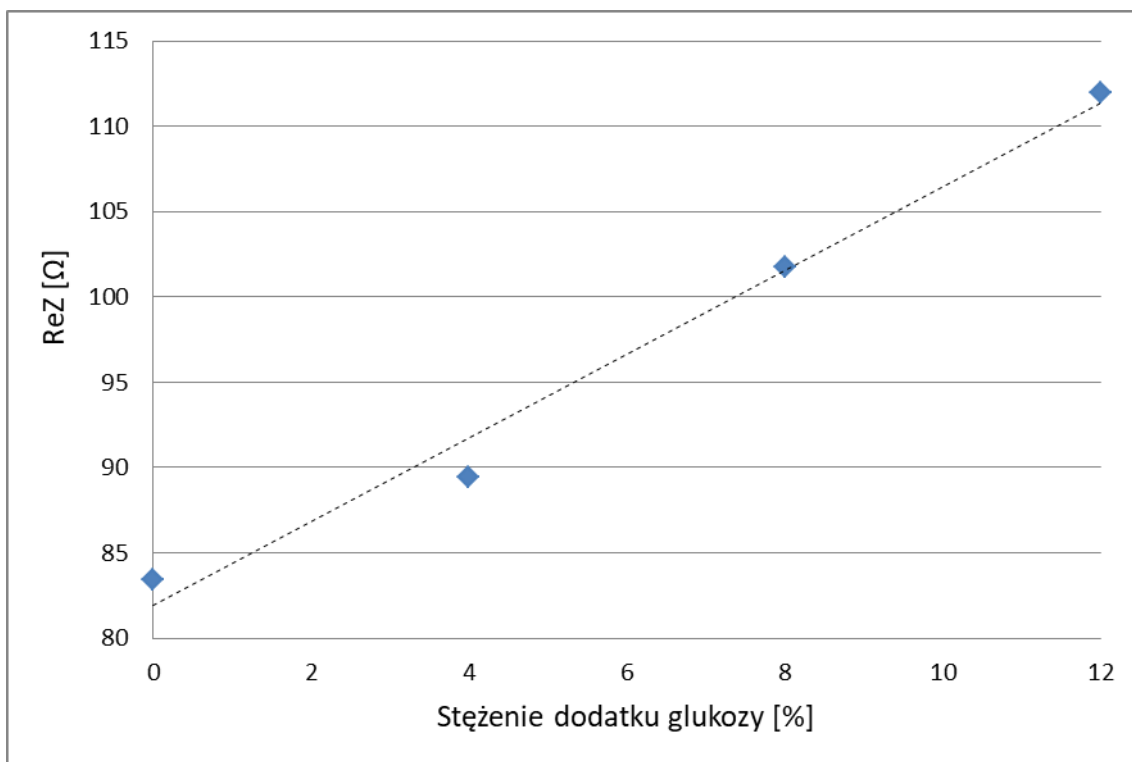
Wyniki testu Kruskala-Wallisa wskazują, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym a sokiem z dodatkiem glukozy, jeśli dodatek ten wynosi co najmniej 8%.

Dodatek fruktozy

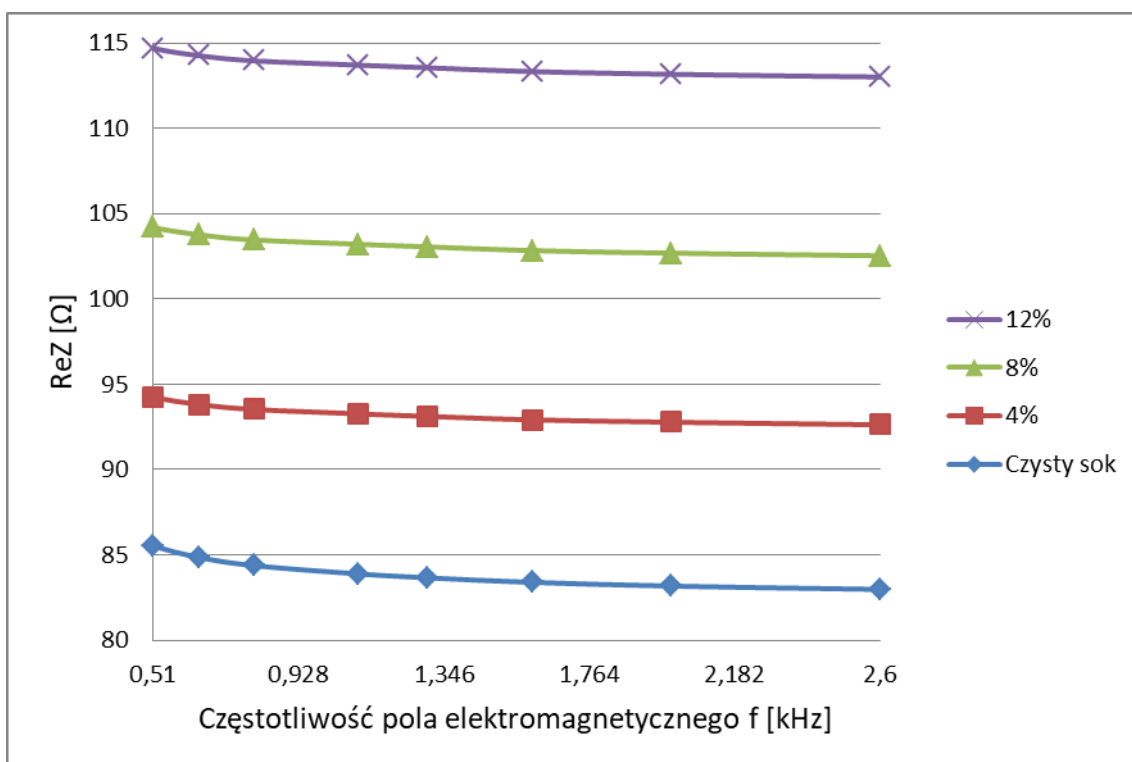
Wyniki testów statystycznych w przypadku dodatku fruktozy są zbieżne z wynikami uzyskanymi dla dodatku glukozy. Część rzeczywista impedancji różnicuje w sposób istotny statystycznie sok czysty od soku z dodatkiem substancji słodzącej, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 8%.



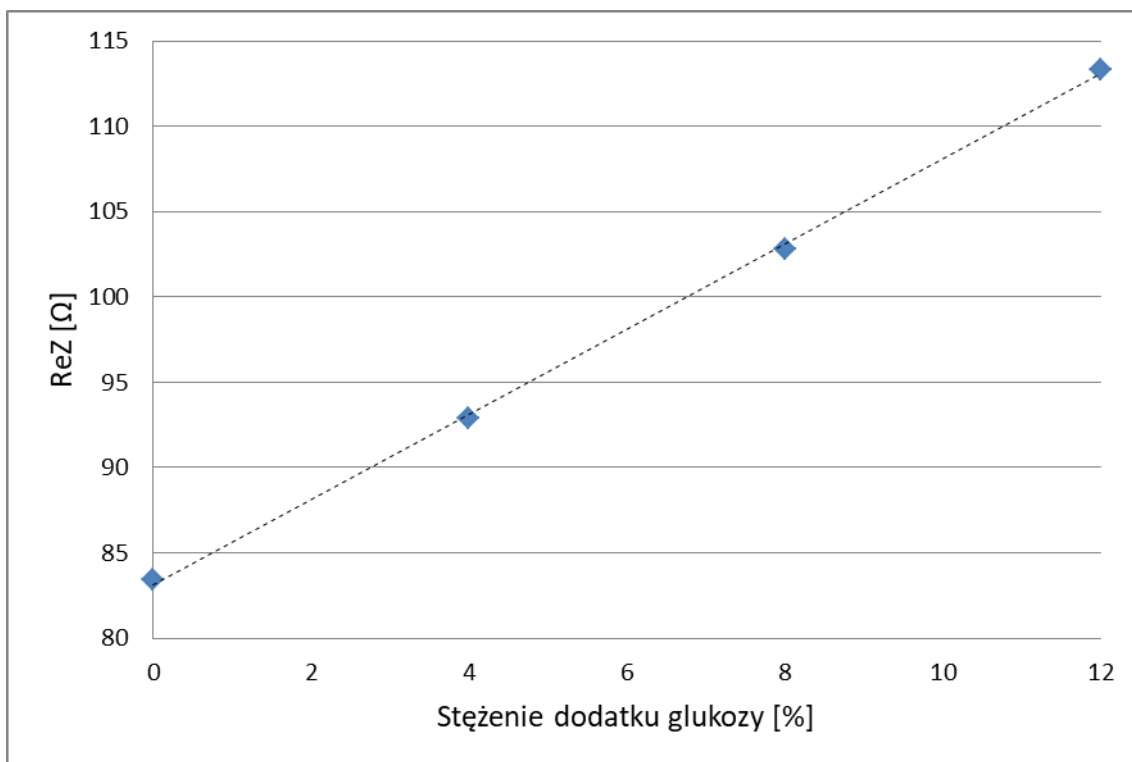
Rys. 63a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.



Rys. 63b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima.



Rys. 64a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.



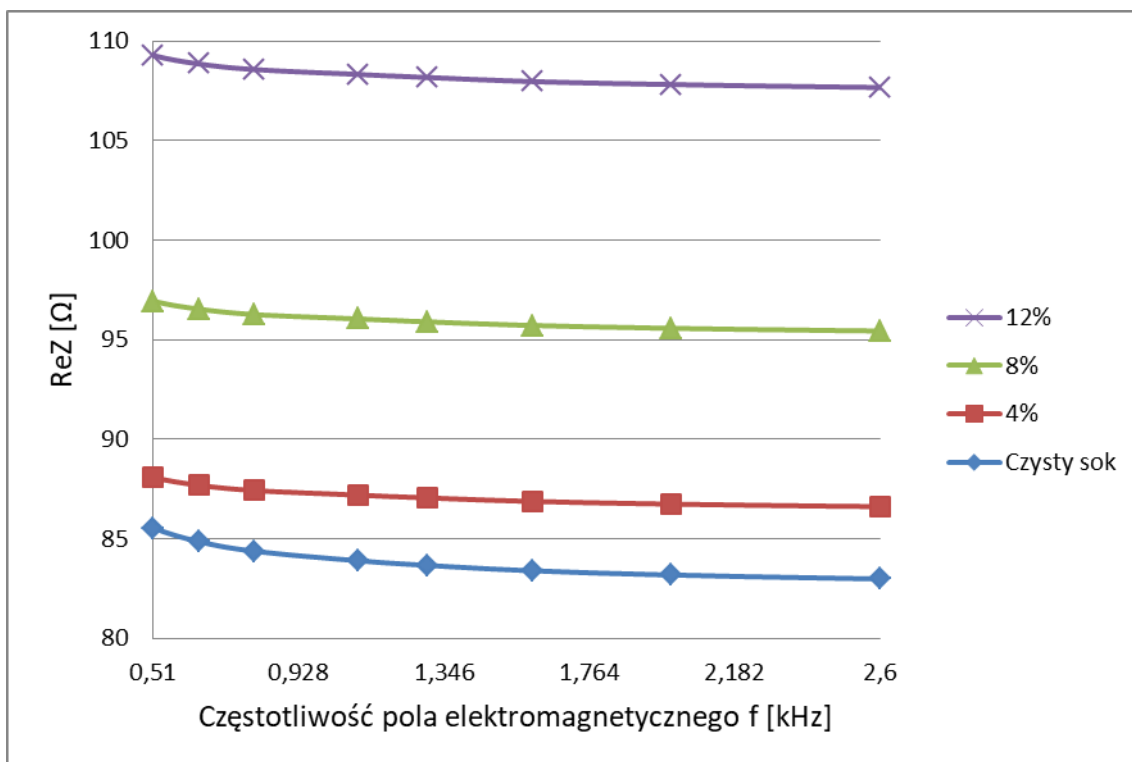
Rys. 64b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima.

Dodatek syropu glukozowo-fruktozowego

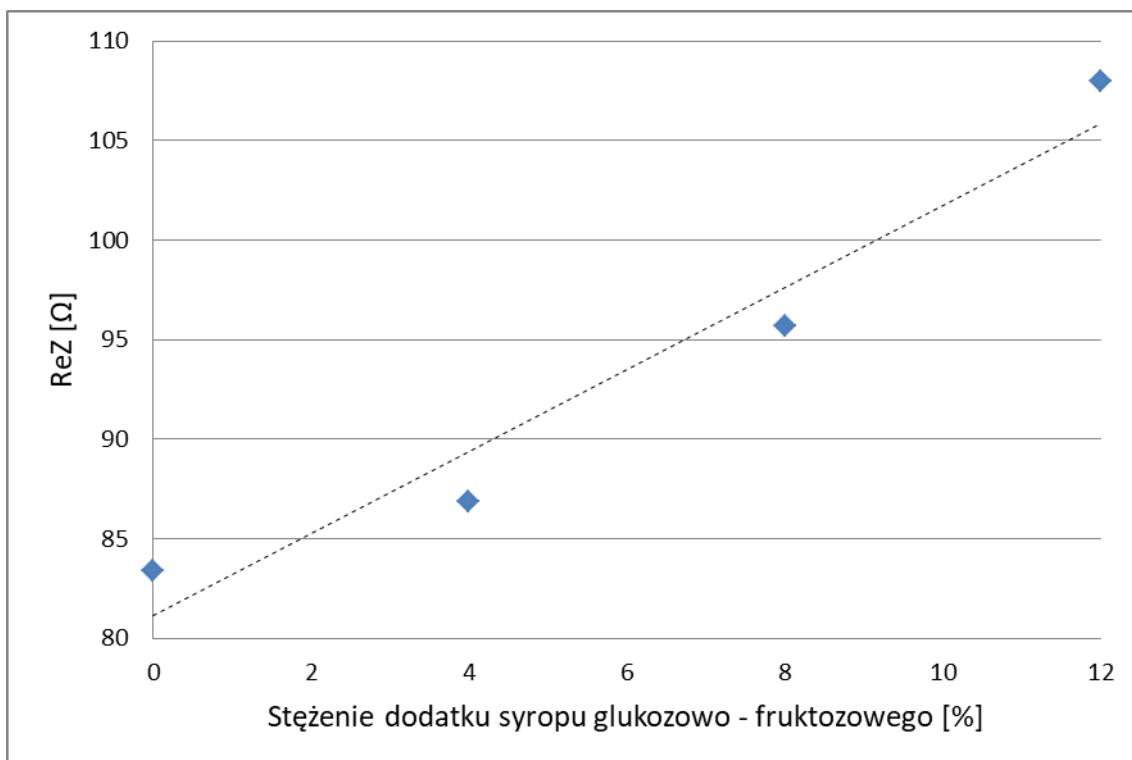
Wyniki analiz statystycznych wskazują na statystycznie istotne różnice w wartościach części rzeczywistej impedancji między sokiem czystym a sokiem z dodatkiem syropu, jeśli ten dodatek wynosi co najmniej 8%.

Dodatek soli

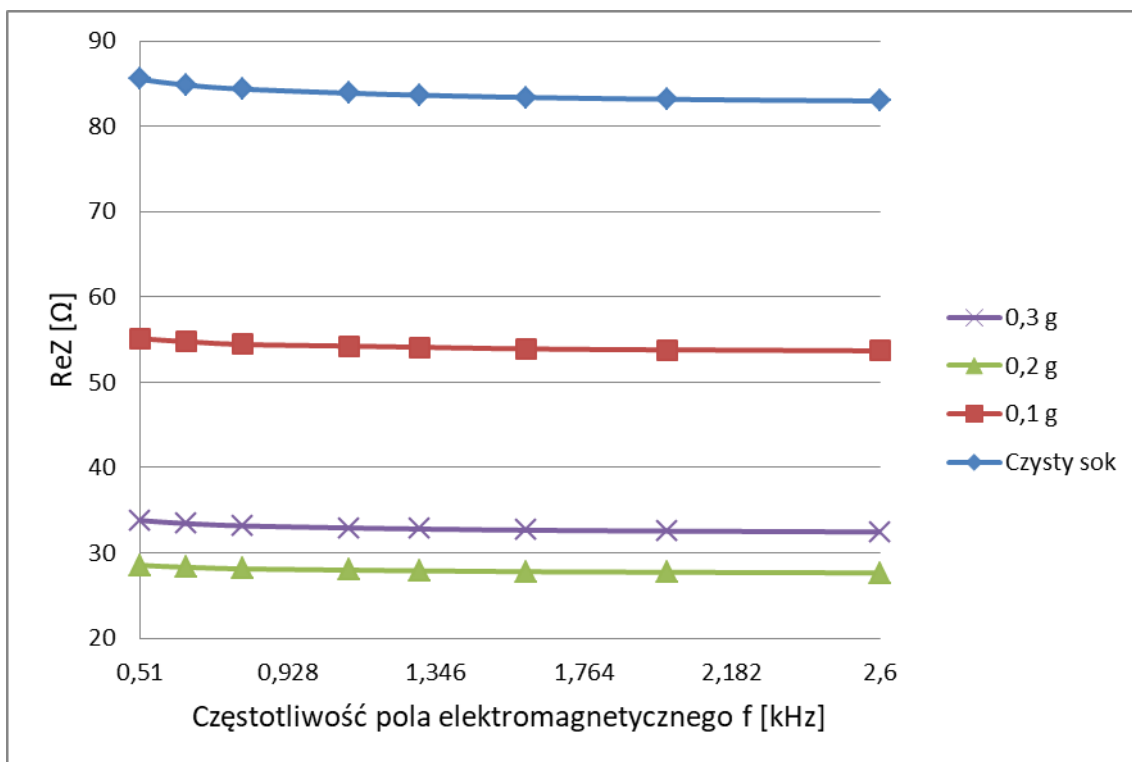
Na podstawie wyników testu Kruskala-Wallisa stwierdzono, że w przypadku części rzeczywistej impedancji, istnieją statystycznie istotne różnice między sokiem czystym a sokiem z dodatkiem soli wynoszącym 0,2 g lub więcej.



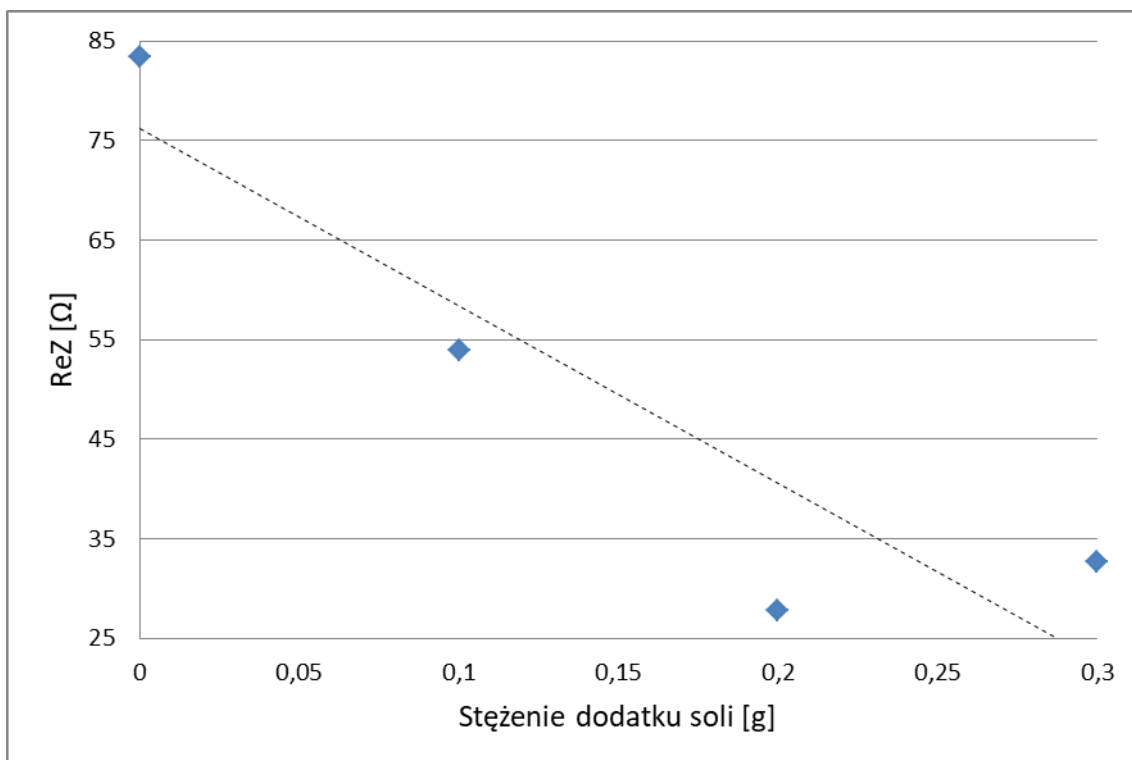
Rys. 65a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.



Rys. 65b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima



Rys. 66a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem soli w różnych stężeniach.



Rys. 66b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima.

W przypadku soku z pomidorów odmiany Lima, zależności parametrów elektrycznych od stężenia dodatków przedstawione na rysunkach 62b-65b są monotoniczne, co potwierdza przydatność tych parametrów do różnicowania soków czystych od soków z dodatkami w danych stężeniach. Natomiast wartość części rzeczywistej impedancji silnie maleje wraz ze wzrostem dodatku soli do 0,2 g, a następnie wzrasta przy zawartości dodatku wynoszącym 0,3 g. Brak monotoniczności tej zależności powoduje, że nie można jednoznacznie stwierdzić przydatności ReZ do wykrywania dodatku soli.

Wyniki uzyskane dla soków pomidorowych przedstawiono w Tabeli 9. Poniższe dane przedstawiają w sposób poglądowy możliwość wykorzystania poszczególnych parametrów elektrycznych do odróżnienia soku czystego od soku z dodatkami wody, witaminy C, soli i substancji słodzących.

Tabela 9. Możliwość wykorzystania parametrów elektrycznych soku pomidorowego do wykrywania poszczególnych dodatków (znak "-" oznacza brak możliwości wykorzystania danego parametru do odróżnienia soku czystego od soku z dodatkiem, wartości liczbowe oznaczają minimalny dodatek danej substancji pozwalający na jego wykrycie).

Dodatek	ReZ	ImZ	$tg\delta$	ϵ
Sok z pomidorów odmiany Gargamel				
Woda	-	-	-	-
Witamina C	-	-	-	-
Glukoza	$\geq 8\%$	-	-	-
Fruktoza	$\geq 8\%$	-	-	-
Syrop GF	$\geq 8\%$	-	-	-
Sól	$\geq 0,2 \text{ g}$	-	-	-
Sok z pomidorów odmiany Lima				
Woda	$\geq 20\%$	-	-	-
Witamina C	-	-	-	-
Glukoza	$\geq 8\%$	-	-	-
Fruktoza	$\geq 8\%$	-	-	-
Syrop GF	$\geq 8\%$	-	-	-
Sól	-	-	-	-

Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/12/UE, do soku pomidorowego producent może dodawać jedynie sól, przyprawy i aromatyczne zioła. Przepisy te nie przewidują możliwości dodawania do soku substancji słodzących. Część rzeczywista impedancji pozwala wykryć dodatek glukozy, fruktozy i syropu glukozowo-fruktozowego nie mniejszy niż 8% dla soku z pomidorów obu badanych odmian. Można więc stwierdzić, że pomiar części rzeczywistej impedancji pozwala na

wykrycie niedozwolonego dodatku substancji słodzących, ale dopiero przy stężeniu dodatku 8%.

Producenci soków 100% nie powinni też stosować dodatku wody. Do wykrycia takiego dodatku można wykorzystać część rzeczywistą impedancji dla soków z pomidorów odmiany Lima, jeśli dodatek wody jest nie mniejszy niż 20%. Pomiar żadnego z badanych parametrów elektrycznych nie pozwala na wykrycie w soku pomidorowym dodatku witaminy C. Pomiar części rzeczywistej impedancji pozwala także wykryć w soku pomidorowym dodatek soli nie mniejszy niż 0,2 g w przypadku soków z pomidorów odmiany Gargamel.

W badaniach cech elektrycznych soków pomidorowych z dodatkami wykorzystano sok uzyskany metodą szybkoobrotową. Przy pozyskaniu produktu tą metodą, sok z pomidorów odmiany Lima zawiera więcej cukrów, niż sok z pomidorów odmiany Gargamel. Jednak nie ma to wpływu na możliwość wykrywania dodatku substancji słodzących do soku pomidorowego na podstawie pomiarów części rzeczywistej impedancji.

6. Dyskusja

W badaniach wykorzystano soki jabłkowy, marchwiowy i pomidorowy. Są to soki chętnie spożywane przez konsumentów. Z badań przeprowadzonych w roku 2012 wynika, że sok jabłkowy, marchwiowy i pomidorowy znajdowały się w pierwszej piątce najchętniej spożywanych soków w Polsce, obok soku pomarańczowego i grejpfrutowego (Hallmann i in., 2013). Wysokie spożycie soków jest spowodowane coraz wyższą świadomością konsumentów dotyczącą znaczenia warzyw i owoców w zdrowej i zrównoważonej diecie.

Warzywa i owoce są źródłem witamin i innych cennych substancji odżywczych. Są one szczególnie cennym źródłem związków o właściwościach antyoksydacyjnych, które m.in. spowalniają procesy starzenia, przeciwdziałają chorobom serca i chorobom nowotworowym. W badanych sokach jabłkowych średnia zawartość polifenoli wynosiła od 8,20 do 51,53 mg·100 ml⁻¹. Znacznie wyższą zawartość polifenoli uzyskano dla soków tłoczonych metodą szybkoobrotową. Wartości te są zbliżone z wynikami publikowanymi przez innych autorów. Olk i współautorzy badali zawartość polifenoli w soku jabłkowym z różnych odmian jabłek i dla jabłek stołowych Topaz ze zbioru w roku 2006 uzyskali 53

mg·100 g⁻¹ (Olk i in., 2010). Zawartość polifenoli w jabłkach deserowych badała też Kahle i współautorzy, uzyskując wartości od 15,4 do 17,8 mg·100 g⁻¹ (Kahle i in., 2005).

W przypadku soków marchwiowych uzyskano średnią zawartość polifenoli od 13,89 do 17,70 mg·100 ml⁻¹. Są to wartości niższe, niż publikowane przez innych autorów, które przekraczają 30 mg·100 g⁻¹ (Ma i in., 2013, Domaradzki i in., 2013). Średnia zawartość polifenoli w badanych sokach pomidorowych wyniosła od 15,30 do 21,47 mg·100 ml⁻¹. Wyższą zawartość polifenoli w soku pomidorowym opublikowali inni autorzy – 45,35 mg·100 g⁻¹ (Hallmann i in., 2013) i 36,77 mg·100 g⁻¹ (Podsędek i in., 2003). W przypadku soku marchwiowego i pomidorowego nie zaobserwowano tak silnego wpływu metody pozyskania na zawartość polifenoli, jak w przypadku soku jabłkowego.

Właściwości antyoksydacyjne soków były oceniane dwiema metodami: ABTS i FRAP. Dla soków jabłkowych wskaźniki te są w zakresie od 12,17 do 119,17 μmol·ml⁻¹ (ABTS) i od 36,49 do 327,51 μmol·ml⁻¹ (FRAP); dla soków marchwiowych – od 19,17 do 44,00 μmol·ml⁻¹ (ABTS) i od 45,78 do 68,99 μmol·ml⁻¹ (FRAP); dla soków pomidorowych – od 3,17 do 14,83 μmol·ml⁻¹ (ABTS) i od 10,49 do 44,48 μmol·ml⁻¹ (FRAP). W przypadku soków jabłkowych i soku pomidorowego Lima zaobserwowano bardzo duży wpływ metody pozyskania soku na jego właściwości antyoksydacyjne.

Zawartość cukrów w sokach ma duże znaczenie z punktu widzenia ich właściwości odżywczych oraz sensorycznych. W badanych sokach określono zawartość glukozy, fruktozy, sacharozy i sorbitolu. Zawartość glukozy w badanych sokach jabłkowych wynosiła od 1426,61 do 1863,23 mg·l⁻¹, zawartość fruktozy od 12086,51 do 14572,51 mg·l⁻¹, zawartość sacharozy od 122,28 do 744,16 mg·l⁻¹. Obecność sorbitolu stwierdzono tylko w soku z jabłek odmiany Champion – od 110,75 do 175,57 mg·l⁻¹, w zależności od metody pozyskania soku.

Analizując prace innych autorów można stwierdzić, że zawartość cukrów w sokach jabłkowych w bardzo dużym stopniu zależy od odmiany jabłek, warunków uprawy i metody pozyskania soku. Wyższą zawartość cukrów w stosunku do wyników uzyskanych w badanych w pracy sokach uzyskano dla soków z uprawianych w Brazylii odmian jabłek Fuji Suprema i Lis Gala (Zielinski i in., 2014) oraz z uprawianych w Turcji jabłek odmian Amasya, Golden Delicious i Starking (Karadeniz i Eksi, 2002).

Zawartość glukozy w badanych sokach marchwiowych wynosiła od 1649,29 do 2749,62 mg·l⁻¹, zawartość fruktozy od 2088,15 do 2944,81 mg·l⁻¹, zawartość sacharozy od 363,70 do 1904,45 mg·l⁻¹. Zawartość glukozy w badanych sokach pomidorowych wynosiła

od 1977,01 do 4845,52 mg·l⁻¹, zawartość fruktozy od 2869,18 do 5740,58 mg·l⁻¹. W soku pomidorowym nie wykazano zawartości sacharozy.

Podobnie, jak w przypadku jabłek, zawartość cukrów w sokach marchwiowych i pomidorowych zależy od odmiany, warunków uprawy i metody pozyskania soku. Dlatego trudno jest porównać uzyskane wyniki z wynikami opublikowanymi w innych pracach.

Dla badanych soków mierzono impedancję zespoloną w zakresie częstotliwości od 10 Hz do 1 MHz. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono współczynnik strat dielektrycznych oraz przenikalność elektryczną. Parametry te określano dla soków czystych oraz soków z dodatkiem substancji słodzących (glukoza, fruktoza i syrop glukozowo-fruktozowy), wody, witaminy C oraz soli (w przypadku soku marchwiowego i pomidorowego). Ponieważ analizy statystyczne wykazały, że w zakresie częstotliwości od 10 Hz do 1 MHz brak jest statystycznie istotnych różnic w wartościach parametrów elektrycznych soków czystych i soków z dodatkami, dla każdego soku wyznaczono zawężony zakres częstotliwości, w którym takie różnice zaobserwowano. Na tej podstawie dokonano oceny możliwości wykorzystania poszczególnych parametrów elektrycznych do różnicowania soków czystych i soków z dodatkami, a przez to do wykrywania tych dodatków w soku.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że wybrane cechy elektryczne mogą być przydatne do różnicowania soków czystych od soków z dodatkami, ale tylko w wąskim zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego: od 1,1 kHz do 5,1 kHz dla soku jabłkowego, od 4 kHz do 16 kHz dla soku marchwiowego i od 510 Hz do 2,6 kHz dla soku pomidorowego. W przypadku soku jabłkowego część rzeczywista impedancji może zostać wykorzystana do wykrycia dodatku witaminy C (nie mniejszego niż 0,5 g i w sposób jednoznaczny tylko w soku z jabłek odmiany Champion) i substancji słodzących (stężenie zależy od odmiany jabłek). Natomiast współczynnik strat dielektrycznych może być potencjalnie wykorzystany do wykrywania dodatku substancji słodzących. W przypadku soku marchwiowego część rzeczywista impedancji może być wykorzystana do wykrycia każdego wykorzystanego w badaniach dodatku, pod warunkiem, że występuje on w soku w odpowiednio dużym stężeniu: 20% dla wody, 0,5 g dla witaminy C, 0,2 g dla soli i 8% dla substancji słodzących.

Dodatek niektórych substancji można też wykryć na podstawie pomiaru współczynnika strat dielektrycznych i przenikalności elektrycznej, ale przydatność tych parametrów jest zależna od odmiany marchwi. Wyniki badań uzyskane dla soku

pomidorowego są, jeśli chodzi o część rzeczywistą impedancji, podobne do wyników uzyskanych dla soku marchwiowego (z wyłączeniem witaminy C, której dodatku nie można wykryć w soku pomidorowym, dodatku wody w przypadku soku z pomidorów odmiany Gargamel i soli w przypadku soku z pomidorów odmiany Lima). Natomiast pozostałe parametry elektryczne okazały się nieprzydatne do wykrywania dodatków w soku pomidorowym.

Próby wykorzystania parametrów elektrycznych do oceny jakości soków warzywnych i owocowych oraz do wykrywania zafałszowań tych produktów były już wcześniej podejmowane przez wielu badaczy. Spektroskopia impedancyjna w niskich częstotliwościach może być podstawą oceny właściwości oraz stopnia rozcieńczenia gęstego soku jabłkowego (Żywica i in., 2005). Istnieje liniowa zależność między parametrami elektrycznymi (impedancją, rezystancją, admitancją i konduktancją) soku jabłkowego uzyskanego przez rozcieńczanie koncentratu, a zawartością substancji rozpuszczalnych w tym soku (Żywica i Banach, 2015). Nakonieczna i współautorzy uzyskali obiecujące wyniki, stosując spektroskopię impedancyjną w zakresie częstotliwości od 20 Hz do 2 MHz do wykrywania różnych dodatków do żywności w soku z czarnego bzu, śliwki, rokitnika, aronii, pokrzywy i żurawiny (Nakonieczna i in., 2016). Badania parametrów elektrycznych soków były także przeprowadzane w wyższych częstotliwościach. Zhu i współautorzy badali zależność stałej dielektrycznej oraz współczynnika strat dielektrycznych od temperatury i częstotliwości w zakresie od 20 do 4500 MHz dla soków jabłkowego, gruszkowego, pomarańczowego, winogronowego i ananсового (Zhu i in., 2012). Guo i współautorzy wskazali stałą dielektryczną oraz współczynnik strat dielektrycznych, mierzone dla częstotliwości od 10 do 4500 MHz, jako obiecujące wskaźniki jakości pulpy i soku arbuzowego, wykazując związek tych parametrów elektrycznych z zawartością substancji rozpuszczalnych (Guo i in., 2013).

7. Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników i ich analizy sformułowano następujące wnioski:

1. Wybrane parametry elektryczne, takie jak impedancja i współczynnik strat dielektrycznych, mogą być wykorzystywane do wykrywania dodatków do soków warzywnych i owocowych. Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego, w jakim należy przeprowadzić pomiary tych parametrów, zależy od rodzaju soku. Dla soku jabłkowego jest to od 1,1 kHz do 5,1 kHz, dla soku marchwiowego – od 4 kHz do 16 kHz i dla soku pomidorowego – od 510 Hz do 2,6 kHz.
2. Dodatek wody do soku marchwiowego, nie mniejszy niż 20%, można wykrywać na podstawie pomiaru części rzeczywistej impedancji.
3. Pomiar części rzeczywistej impedancji może zostać wykorzystany do wykrycia dodatku witaminy C do soku tylko w przypadku soków marchwiowych.
4. Część rzeczywista impedancji może być wykorzystywana do wykrywania dodatku soli do soków marchwiowych, jeśli ten dodatek wynosi nie mniej niż 0,2 g/50 g.
5. Parametry elektryczne są potencjalnie użyteczne do wykrywania dodatku do soku substancji słodzących, takich jak glukoza i fruktoza. Najlepszym parametrem w tym przypadku jest część rzeczywista impedancji, która różnicuje sok czysty od soku z dodatkiem substancji słodzących dla wszystkich badanych soków. W przypadku soku jabłkowego dodatek substancji słodzącej musi wynosić co najmniej 20%, a w przypadku soku marchwiowego i pomidorowego – co najmniej 8%. Dla soku jabłkowego i marchwiowego takie różnicowanie można również wykonać na podstawie pomiarów współczynnika strat dielektrycznych, jednak dodatek substancji słodzącej musi być w tym przypadku wyższy.
6. W soku, w którym sumaryczna zawartość glukozy i fruktozy jest wyższa (sok jabłkowy) stężenie dodawanej substancji słodzącej musi być wyższe, aby możliwe było jego wykrycie za pomocą parametrów elektrycznych.

Literatura

- Aadil R. M., Zeng X.-A., Han Z., Sun D. W. 2013. Effect of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 14, 3201–3206.
- Abid M., Jabbar S., Wu T., Hashim M.M., Hu B., Lei S., Zeng X. 2014. Sonication enhances polyphenolic compounds, sugars, carotenoids and mineral elements of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 93-97.
- Agilent Basics of measuring the dielectric properties of materials. 2006. Application Note,32, USA.
- Aguiló-Aguayo, I., Brunton, N., Rai, D. K., Balagueró, E., Hossain, M. B., & Valverde, J. 2014. Polyacetylene levels in carrot juice, effect of pH and thermal processing. *Food Chemistry*, 152, 370–377.
- Appel K., Meiser P., Millán E., Collado J.A., Rose T., Gras C.C., Carle R., Muñoz E. Chokeberry. 2015. (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot) concentrate inhibits NF- κ B and synergizes with selenium to inhibit the release of pro-inflammatory mediators in macrophages. *Fitoterapia*, 105, 73-82.
- Arzberger U., Lachenmeier D.W. 2008. Fourier transform infrared spectroscopy with multivariate analysis as a novel method for characterizing alcoholic strength, density and total dry extract in spirits and liqueurs. *Food Anal. Methods* 1: 18–22.
- Balmer D.M., Lellan Mc W.D. 1997. New method to detect the adulteration os apple juice with high fructose syrup from inulin by HPLC. *Fruit Process*. 7, 98-99.
- Banach, J.K., Żywica, R., Szpendowski, J., Kielczewska, K. 2012. Possibilities of using electrical parameters of milk for assessing its adulteration with water. *Int. J. Food Prop*. 15, 274–280.
- Bansal, N.; Dhaliwal, A.S.; Mann, K.S. 2015. Dielectric properties of corn flour from 0.2 to 10 GHz. *J. Food Eng*. 166, 255–262.
- Barreca, D., Bellocco, E., Caristi, C., Leuzzi, U., and Gattuso, G. 2011a. Distribution of C- and O-glycosyl flavonoids, (3-hydroxy-3-methylglutaryl) glycosyl flavanones and furocoumarins in *Citrus aurantium* L. juice. *Food Chem.*, 124, 576–582.
- Barreca, D., Bellocco, E., Caristi, C., Leuzzi, U., and Gattuso, G. 2011b. Kumquat (*Fortunella japonica* Swingle) juice: flavonoid distribution and antioxidant properties. *Food Res. Int.*, 44, 2190–2197.
- Barreca, D., Bisignano, C., Ginestra, G., Bisignano, G., Bellocco, E., Leuzzi, U., et al. 2013a. Polymethoxylated, C- and O-glycosyl flavonoids in Tangelo (*C. reticulata* 3 C.

paradisi) juice and their influence on antioxidant properties., 10 Food Chem., 141, 1481–1488.

Barreca, D., Lagana, G., Bruno, G., Magazu, S., and Bellocco, E. 2013b. Diosmin binding to human serum albumin and its preventive action against degradation due to oxidative injuries. *Biochimie*, 95, 2042–2049.

Barreca, D., Bellocco, E., Leuzzi, U., and Gattuso, G. 2014. First evidence of C- and O-glycosyl flavone in blood orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) juice and their influence on antioxidant properties. *Food Chem.*, 149C, 244–252.

Barreca, D., Lagana, G., Leuzzi, U., Smeriglio, A., Trombetta, D., and Bellocco, E. 2016. Evaluation of the nutraceutical, antioxidant and cytoprotective properties of ripe pistachio (*Pistachia vera* L. variety Bronte) hulls. *Food Chem.* 196, 493–502.

Barreca D., Gattuso G., Bellocco E., Calderaro A., Trombetta D., Smeriglio A., Laganà G., Daglia M., Meneghini S., Nabavi S. M. 2017. Flavanones: Citrus phytochemical with health-promoting properties. *BioFactors*, Volume 43, 495-506.

Belay A., Solomon W. K., Bultossa G., Adgaba N., Melaku S. 2013. Physicochemical properties of the Harena forest honey, Bale, Ethiopia. *Food Chemistry*. 141. 3386-3392.

Bellocco, E., Barreca, D., Lagana, G., Leuzzi, U., Tellone, E., Ficarra, S., et al. 2009. Influence of L-rhamnosyl-D-glucosyl derivatives on properties and biological interaction of flavonoids. *Mol. Cell. Biochem.*, 321, 165–171.

Boffetta, P., Couto, E., Wichmann, J., Ferrari, P., et al. 2010. Fruit and vegetable intake and overall cancer risk in the European prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC). *J. Natl. Cancer Inst.*, 102, 529–537.

Bohigas X., Amigó R., and Tejada J. 2008. Characterization of sugar content in yoghurt by means of microwave spectroscopy. *Food Res. Int. J.*, 41, 104-109.

Cabanero A. I., Recio J. L., Ruperez M. 2010. Simultaneous stable carbon isotopic analysis of wine glycerol and ethanol by liquid chromatography coupled to isotope ratio mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 58, 722-728.

Caswell J.A. 2006. Quality assurance, information, tracking, and consumer labeling. *Marine Pollution Bulletin*, 53, 650-656.

Cataldo A., Piuze E., Cannazza G., De Benedetto E., Tarricone L. 2010. Quality and anti-adulteration control of vegetable oils through microwave dielectric spectroscopy. *Measurement*. 43. 1031-1039.

Chłobowska Z., Chudzikiewicz E., Świegoła C. 2000. Analysis of alcoholic products at the Institute of Forensic Research. *Z Zagadnień Nauk Sądowych* XLI: 52–61.

- Chabłowska, B., Piasecka-Józwiak, K., Rozmierska, J., Szkudzińska-Rzeszowiak, E., Kliszcz, M. 2013. Fermentacja mlekowa jabłek z upraw ekologicznych sposobem na otrzymanie nowego asortymentu produktów – biosoków. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 58 (3), 71-77.
- Chua L. S., Abdul-Rahaman N - L., Sarmidi M. R., Aziz R. 2012. Multi-elemental composition and physical properties of honey samples from Malaysia. *Food Chemistry*. 135. 880-887.
- Code of Practice for Evaluation of Fruit and Vegetable Juices, Association of the Industry of Juices and Nectars from Fruits and Vegetables of the European Economic Community, Brussels 1996.
- Czerwiecki L.: Problemy autentyczności produktów spożywczych. *Roczniki PZH*, 2004, 55/1, 9-19. cyt. Za Balmer D.M., Lellan Mc W.D.: New method to detect the adulteration of apple juice with high fructose syrup from inulin by HPLC. *Fruit Process*. 1997, 7, 98-99).
- Daglia, M. 2012. Polyphenols as antimicrobial agents. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 23, 174–181.
- Domaradzki P., Malik A., Zdyb J. 2013. Zawartość związków polifenolowych i aktywność przeciwutleniająca soków marchwiowych. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna – XLVI*, 1, str. 40 – 47.
- Duda-Chodak A., Tarko T., Satora P., Sroka P., Tuszyński T. 2010. The profile of polyphenols and antioxidant properties of selected apple cultivars grown in Poland. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 18(2), 39-50.
- Dupuy C., Botta-Genoulaz V., Guinet A. 2005. Batch dispersion model to optimise traceability in food industry. *J. Food Eng.*, 70, 333-339.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego I Rady 2012/12/UE z dnia 19 kwietnia 2012 r. zmieniająca dyrektywę Rady 2001/112/WE odnoszącą się do soków owocowych i niektórych podobnych produktów przeznaczonych do spożycia przez ludzi. *Dz. U. L 10* z dnia 12 stycznia 2002, str. 47.
- E. Tylińska. 2012. Konsumenci i oszuści, „Mówią wieki”, nr 2, s. 18-22.
- Espin, J. C., Garcia-Conesa, M. T., and Tomas-Barberan, F. A. 2007. Nutra- ceuticals: facts and fiction. *Phytochemistry*, 68, 2986–3008.
- Eurostat.<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home>, 2016. (dostęp on-line: 18.04.2016).

Gwóźdź E., Gębczyński P. 2015. Prozdrowotne właściwości owoców pomidora i jego przetworów, *Med Rodz.* 4(18): 186-188.

Francini A., Sebastiani L. 2013. Phenolic compounds in apple: compounds characterization and stability during postharvest and after processing. *Antioxidants.* 2, 181-193.

Gasińska A., Piłka B. 2008. Antyoksydanty w żywności a stres oksydacyjny. *Bromat. Chem. Toksykol.* XLI: 555-561.

Garcia A, Torres JL, Prieto E, De Blas M. 2001. Dielectric properties of grape juice at 0.2 and 3 GHz, *Journal of Food Engineering*, Vol.48, No.3, 203-211.

Gellynck X., Verbeke W. 2001. Consumer perception of traceability in the meat chain. *Agrarwirtschaft.* 50, 368-374.

Guo W., Wang S., Tiwari G., Johnson J. A., Tang J. 2010a. Temperature and moisture dependent dielectric properties of legume flour associated with dielectric heating. *LWT - Food Science and Technology.* 43. 193-201.

Guo W., Zhu X., Liu H., Yue R., Wang S. 2010b. Effects of milk concentration and freshness on microwave dielectric properties. *Journal of Food Engineering.* 99. 344-350.

Guo W., Zhu X., Nelson S.O. 2013. Permittivities of watermelon pulp and juice and correlation with quality indicators. *International Journal of Food Properties*, 16:475–484.

GUS, 2015. Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2015.
http://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/6/9/1/rocznik_statystyczny_rolnictwa_2015.pdf).

Hallmann E., Lipowski J., Marszałek K., Rembiałkowska E. 2013. The Seasonal Variation in Bioactive Compounds Content in Juice from Organic and Non-organic Tomatoes Plant Foods for Human Nutrition, 68:171–176.

Handeland M., Grude N., Torp T., Slimestad R. 2014. Black chokeberry juice (*Aronia melanocarpa*) reduces incidences of urinary tract infection among nursing home residents in the long term—a pilot study. *Nutrition Research*, 34(6), 518-525.

Hassall A.H. 1855: *Food and its adulterations: comprising the reports of the Analytical Sanitary Commission of: The Lancet* for the years 1851 to 1854 inclusive (revised and extended), Longmans, Brown, Green and Co., London.

Hollman, P. C., Geelen, A., and Kromhout, D. 2010. Dietary flavonol intake may lower stroke risk in men and women. *J. Nutr.*, 140, 6002604.

Jabbar, S., Abid, M., Hu, B., Wu, T., Muhammad, H. M., Lei, S., et al. 2014. Quality of carrot juice as influenced by blanching and sonication treatments. *LWT – Food Science and Technology*, 55, 16–21.

- Jha S.N., Narsaiah K., Basediya A.L., Sharma R., Jaiswal P., Kumar R., Bhardwaj R. 2011. Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of foods—A review. *J Food Sci. Technol.* 48, 387–411.
- Kahle K., Kraus M., Richling E. 2005. Polyphenol profiles of apple juices *Molecular Nutrition & Food Research*, 49, 797 – 806.
- Karadeniz F., Eksi A. 2002. Sugar composition of apple juices *European Food Research and Technology*, 215:145–148.
- Khaled D.E., Novas N., Gazquez J.A., Garcia R.M., Manzano-Agugliaro F. 2015. Fruit and vegetable quality assessment via dielectric sensing. *Sensors*. 15, 15363–15397.
- Khan M.S. 2014. Electrical and Optical Properties of Some Oil Seeds and Grains. Available online: <http://shodhganga.inflibnet.ac.in/handle/10603/15081> (accessed on 15 January 2014)).
- Kowalczyk S. 2014. Prawo czystej żywności. Od Kodeksu Hammurabiego do Codex Alimentarius, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, 237.
- Kowalska J., Majewska E., Lenart A. 2011. Aktywność wody napoju kakaowego w proszku o zmodyfikowanym składzie surowcowym. *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość.* 4 (77). 57 – 65.
- Krauze S. 1975. Zarys nauki o środkach żywności. Wyd. 2. Warszawa. PZWL.
- Lisowski M. 2004. Pomiar rezystywności i przenikalności elektrycznej dielektryków stałych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.
- Liu Y., Tang J., Mao Z. 2009a. Analysis of bread dielectric properties using mixture equations. *Journal of Food Engineering*. 93. 72-79.
- Liu Y., Tang J., Mao Z. 2009b. Analysis of bread loss factor using modified Debye equations. *Journal of Food Engineering*. 93. 453-459.
- Lizhi H., Toyoda K., and Ihara I. 2008. Dielectric properties of edible oils and fatty acids as a function of frequency, temperature, moisture and composition. *J. Food Eng.*, 88, 151-158.
- Lizhi H., Toyoda K., and Ihara I. 2010. Discrimination of olive oil adulterated with vegetable oils using dielectric spectroscopy. *J. Food Eng.*, 96, 167-171.
- Lebiedzińska A., Czaja J., Petrykowska K., Szefer P. 2012. Soki i nektary owocowe źródłem witaminy C, *BROMAT. CHEM. TOKSYKOL.* – XLV, 3, str. 390–396.
- Łuczycka D. 2009. Cechy elektryczne ziaren pszenicy. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

- Łuczycka D., Nowakowski P., Szewczyk A., Pruski K., Howis M. 2012. Electric properties in commodity– science evaluation of honey. *Acta Agroph.*, 19(4), 749–759.
- Łuczycka D., Czubaszek A., Fularczuk M., Pruski K. 2013. Dielectric properties of wheat flour mixed with oat meal. *International Agrophysics*. 27. 175-180.
- Nogala-Kałucka M., Pikul J., Siger A. 2008. Zastosowanie chromatografii cieczowej w badaniach autentyczności masła, „Żywność. Nauka. Technologia. Jakość”, nr 3, s. 47-56.
- Tynek M., Pawłowicz R. 2006. Przykłady zafałszowań fazy tłuszczowej w wybranych artykułach mleczarskich, „Tłuszcze Jadalne”, nr 1, s. 156-159.
- Ma T., Tian C., Luo J., Zhou R., Sun X., Ma J. 2013. Influence of technical processing units on polyphenols and antioxidant capacity of carrot (*Daucus carrot L.*) juice. *Food Chemistry*, 141 1637–1644.
- Markowski J., Płocharski W., Pytasz U., Rutkowski K. 2012. Owoce, warzywa, soki – ich kaloryczność i wartość odżywcza na tle zapotrzebowania na energię i składniki odżywcze. Cz. 1. Kaloryczność i mit o wpływie na otyłość. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 4, 22-29.
- Mollace, V., Sacco, I., Janda, E., Malara, C., Ventrice, D., et al. 2011. Hypolipemic and hypoglycaemic activity of bergamot polyphenols: From Animals models to human studies. *Fitoterapia*, 82, 309–316.
- Moon, S. H., Lee, J. H., Kim, K. T., Park, Y. S., Nah, S. Y., et al. 2013. Antimicrobial effect of 7-O-butylnaringenin, a novel flavonoid, and various natural flavonoids against *Helicobacter pylori* strains. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 10, 5459–5469.
- Nakonieczna A., Paszkowski B., Wilczek A., Szyłowska A., Skierucha W. 2016. Electrical impedance measurements for detecting artificial chemical additives in liquid food products *Food Control* 66, 116-129.
- Nelson S.O., Trabelsi S. 2009. Dielectric properties of agricultural products and applications. ASABE Annual Int. Meeting, June 21-24, Reno, NV, USA.
- Nelson S.O., Trabelsi S. 2012. Techniques for measuring the dielectric properties of agricultural products. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 46. 2. 93-107.
- Nelson S.O. 2015 *Dielectric Properties of Agricultural Materials and Their Applications*; Academic Press: London, UK.
- NorAini I., Hanirah H., Siew W.L., Yusoff M.S.A. 1998. Cold stability of red palm oleins, „*Journal of the American Oil Chemists’ Society*”, vol. 75.

- Nunes A.C., Bohigas X., and Tejada J., 2006. Dielectric study of milk for frequencies between 1 and 20 GHz. *J. Food Eng.*, 76, 250-255.
- Obiedzińska A., Waszkiewicz-Robak B. 2012. Oleje tłoczone na zimno jako żywność funkcjonalna, *ŻYWNOŚĆ. Nauka. Technologia. Jakość*, 1 (80), 27 – 44.
- Olk M., Dietrich H., Ludwig M., Will F. 2010. Impact of variety and vintage on the polyphenol composition of apple juices. *Mitteilungen Klosterneuburg* 60, 289-298.
- Ostasiewicz A., Piecyk M. 2009. Soki pomidorowe – charakterystyka i właściwości przeciwutleniające. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 2, 28-29.
- Oszmiański J. 2009. Nowe trendy w produkcji soków i nektarów jabłkowych. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 4, 12-15.
- Paszkowski B., Wilczek A., Szypłowska A., Nakonieczna A., Skierucha W. 2014. A low-frequency sensor for determination of honey electrical properties in varying temperature conditions. *Journal of Food Engineering*. 138. 17-22.
- Patil, B. S., Jayaprakasha, G. K., Murthy, K. N. C., and Vikram, A. 2005. Bioactive compounds: Historical perspectives, opportunities, and challenges. *J. Agric. Food Chem.*, 57, 8142–8160.
- Pikul J., Nogala-Kałużka M., Siger A. 2009. Charakterystyka tokochochromanoli w wybranych produktach mleczarskich z dodatkiem olejów roślinnych, „*Żywność Nauka Technologia Jakość*”, 4(65).
- PN-A-75951:1994.
- PN-A-75959:1997.
- Podsędek A., Sosnowska D., Anders B. 2003. Antioxidative capacity of tomato products *European Food Research and Technology*, 217:296–300.
- Prevc T., Cigic B., Vidrih R., Ulrih N.P., Šegatin N., 2013. Correlation of basic oil quality indices and electrical properties of model vegetable oil systems. *J. Agric. Food Chem.* 61 (47), 11355–11362.
- Rozporządzenie Komisji (WE) NR 1441/2007 z dnia 5 grudnia 2007 rozmnieniające rozporządzenie (WE) nr 2073/2005 w sprawie kryteriów mikrobiologicznych dotyczących środków spożywczych. (Dz. Urz. UE z dnia 7.12.2007, L 333, s.12).
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dn. 8 lutego 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań w zakresie jakości handlowej soków i nektarów owocowych. Dz. U. 2013, poz. 327.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 110/2008 z dnia 15 stycznia 2008 w sprawie definicji, opisu, prezentacji, etykietowania i ochrony oznaczeń

- geograficznych napojów spirytusowych oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 1576/89. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej: 39/16–39/54.
- S. Kowalczyk. 2010. Historia walki z fałszowaniem żywności: kodeks Hammurabiego, „Wiedza i Jakość”, nr 2, IV s.
- Sawicki W. 2009. Fałszowanie żywności od czasów starożytnych do dziś, „Przemysł Spożywczy”, t. 63.
- Saxena S., Gautam S., Sharma A. 2010. Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. *Food Chemistry*. 118. 391-397.
- Schlesier K., Fauhl-Hassek C., Forina M., Cotea V., Kocsi E., Schoula R., van Jaarsveld F., Witkowski R. 2009. Characterisation and determination of the geographical origin of wines. Part I: overview. *Eur. Food Res. Technol.* 230, 1-13.
- Simpkins W., Harrison M. 1995. The state of the art in authenticity testing. *Trends in Food Sc. Technol.* 1995, 6, 321–328.
- Skierucha W., Wilczek A. 2012a. Techniki spektroskopii dielektrycznej w badaniu jakości materiałów i produktów rolniczych. *LAB Laboratoria, Aparatura, Badania*. 17. 6-14.
- Skierucha W., Wilczek A., Szyplowska A. 2012b. Dielectric spectroscopy in agrophysics. *Int. Agrophys.* 26, 187–197.
- Smeriglio, A., Mandalari, G., Bisignano, C., Filocamo, A., Barreca, D., Bellocco, E., et al. 2016 Polyphenolic content and biological properties of Avola almond (*Prunus dulcis* Mill. D.A. Webb) skin and its industrial byproducts. *Ind. Crops Prod.*, 83, 283–293.
- Strojewska I. 2013. Spożycie owoców, warzyw i ich przetworów oraz soków na świecie, w Unii Europejskiej i w Polsce. Wydawnictwo IERiGŻ-PIB.
- Śmiechowska M. 2013. Autentyczność i identyfikowalność w aspekcie zapewnienia jakości i bezpieczeństwa towarów, Wydawnictwo Akademii Morskiej, 1-181.
- Tang C., Bando Y., Huang Y., Yue S., Gu C., Xu F., Golberg D. 2005. Fluorination and Electrical Conductivity of BN Nanotubes, *J. Am. Chem. Soc.* 127 (18), pp 6552–6553.
- Tellone E., Ficarra S., Russo A., Bellocco E., Barreca D., Lagana G., et al. 2012. Caffeine inhibits erythrocyte membrane derangement by antioxidant activity and by blocking caspase 3 activation. *Biochimie*, 94, 393–402.
- Toaldo I.M., Cruz F.A., de Lima Alves T., de Gois J.S., Borges D.L.G., Cunha H.P., da Silva D.L., Bordignon-Luiz M.T. 2015. Grape juices from the Southern Region of Brazil: Phenolic and elemental composition and effect on lipid peroxidation in healthy subjects. *Food Chemistry*. 173, 527-535.

Tarko T., Duda-Chodak A., Semik-Szczurak D., Błach A. 2016. Związki bioaktywne w napojach owocowych i warzywnych, Rola procesów technologicznych w kształtowaniu jakości żywności.

Trajer M., Dyngus M. 2013. Krajowa produkcja, spożycie oraz promocja owoców i warzyw. Biuletyn Informacyjny Agencji Rynku Rolnego, 3, 14-25.

Trojanowicz P. 2009. Pozycja, perspektywy rozwoju i kierunki zmian rynku zagęszczonych soków owocowych w Polsce, „Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny”, nr 12/2009

Turek K., Słupski J., Tabaszewska M., Gębczyński P., Skoczeń-Słupska R., Skoczylas Ł., Tomf A. 2016. Zawartość polifenoli w naturalnie mętnych sokach jabłkowych. IX Ogólnopolska Konferencja Naukowa Technologów Przetwórstwa Owoców i Warzyw „Owoce, Warzywa, Grzyby – Żywność i Technologia. Lublin, 10-20 maja 2016.

Turhan I., Tetik N., Karhan M., Gurel F., Reyhan Tavukcuoglu H., 2008. Quality of honeys influenced by thermal treatment. LWT – Food Science and Technology 41 (8), 1396–1399.

Ustawa z dnia 21 grudnia 2000r. o jakości handlowej artykułów rolno-spożywczych (Dz. U. z 2005 r. Nr 187, poz. 1577 z póź. zm).

Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. o Inspekcji Weterynaryjnej (tekst jednolity Dz. U. 2007, Nr 121, poz. 842 z późn. zm).

Viggiani L., Castiglione Morelli M.A. 2008. Characterization of wines by nuclear magnetic resonance: a work study on wines from the Basilicata region in Italy. J. Agric. Food Chem. 56, 8273-8279.

Wawer I. 2008. Witamina C: czy potrzebna jest suplementach? Lek w Polsce. 12/2008, 79-84.

Wenchuan Guo, Xinhua Zhu, Yi Liu, Hong Zhuang. 2010. Sugar and water contents of honey with dielectric property sensing; Journal of Food Engineering 97, 275-281.

WHO .Global Health Risks; WHO, 2009. Geneva, Switzerland.

WHO. Report of a Joint WHO/FAO, 2003. Expert Consultation. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO Technical Report Series Ser, 916.

Wroniak M., Maszewska M. 2011. Oliwa z oliwek w diecie śródziemnomorskiej. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 5 (78), 26-36.

Wruss J., Weldenberger G., Huemer S., Uygun P., Lanzerstorfen P., Müller U., Höglinger O., Weghuber J. 2015. Compositional characteristics of commercial beetroot

products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42, 46-55.

Zielinski A. A. F., Braga C. M., Demiate I. M., Beltrame F. L., Nogueira A., Wosiacki G. 2014. Development and optimization of a HPLC-RI method for the determination of major sugars in apple juice and evaluation of the effect of the ripening stage *Food Science and Technology*, 34(1): 38-43.

Zhu X., Guo W., Wu X. 2012. Frequency - and temperature-dependent dielectric properties of fruit juices associated with pasteurization by dielectric heating. *Journal of Food Engineering*, Volume 109, Issue 2, Pages 258-266.

Żywica R., Pierzynowska-Korniak G., Wojcik J. 2005. Application of food products electrical model parameters for evaluation of apple puree dilution. *J. Food Eng.* 67, 413–418.

Żywica R., Banach J.K., Kielczewska K. 2012. An attempt of applying the electrical properties for the evaluation of milk fat content of raw milk. *J. Food Eng.* 111,420–424.

Żywica R., Banach J. K. 2015. Simple linear correlation between concentration and electrical properties of apple juice *Journal of Food Engineering* 158, 8–12.

Spis tabel

Tabela 1. Najczęściej fałszowane produkty spożywcze.

Tabela 2. Określenie poszczególnych cech soków wg PN-A-75951:1994; PN-A-75959:1997.

Tabela 3. Określenie zawartości ekstraktu oraz kwasowości ogólnej wg PN-A-75951:1994; PN-A-75959:1997.

Tabela 4. Zawartość witaminy C w badanych świeżych sokach.

Tabela 5. Zawartość polifenoli oraz właściwości antyoksydacyjne soków.

Tabela 6. Zawartość cukrów w badanych sokach.

Tabela 7. Możliwość wykorzystania parametrów elektrycznych soku jabłkowego do wykrywania poszczególnych dodatków (znak "-" oznacza brak możliwości wykorzystania danego parametru do odróżnienia soku czystego od soku z dodatkiem, wartości liczbowe oznaczają minimalny dodatek danej substancji pozwalający na jego wykrycie).

Tabela 8. Możliwość wykorzystania parametrów elektrycznych soku marchwiowego do wykrywania poszczególnych dodatków (znak "-" oznacza brak możliwości wykorzystania danego parametru do odróżnienia soku czystego od soku z dodatkiem, wartości liczbowe oznaczają minimalny dodatek danej substancji pozwalający na jego wykrycie).

Tabela 9. Możliwość wykorzystania parametrów elektrycznych soku pomidorowego do wykrywania poszczególnych dodatków (znak "-" oznacza brak możliwości wykorzystania danego parametru do odróżnienia soku czystego od soku z dodatkiem, wartości liczbowe oznaczają minimalny dodatek danej substancji pozwalający na jego wykrycie).

Spis rysunków

Rys. 1. Zależność częstotliwościowa mechanizmów polaryzacji dielektrycznej i odpowiednie zakresy częstotliwości pola elektrycznego dla roztwór soli i wody, źródło (Agilent, 2006).

Rys. 2. Kondensator próżniowy wypełniony dielektrykiem podłączony do źródła napięcia stałego, źródło (Lisowski 2004).

Rys. 3. Podstawowe elementy obwodów zastępczych, źródło: <http://lniedzicki.ch.pw.edu.pl/eis-pl.pdf>.

Rys. 4. Impedancja Warburga oraz element stało fazowy CPE (Constant Phase Element), źródło: <http://lniedzicki.ch.pw.edu.pl/eis-pl.pdf>.

Rys. 5. Elektryczne modele zastępcze. a) Zastępczy model elektryczny owoców cytrusowych, źródło: Juansa i in. 2012, b) Elektryczny model zastępczy dla roztworów wodnych cukrów, źródło: Paszkowski i in. 2013, c) Elektryczny model zastępczy dla miodów nektarowych, źródło: Scandurra i in. 2013.

Rys. 6. Współosiowa sonda otwarta wykorzystana przez Garcia, źródło: Garcia i in. 2004.

Rys. 7. Przykładowy schemat przeprowadzonych badań dla soku owocowego, źródło: opracowanie własne.

Rys. 8. Przykładowy schemat przeprowadzonych badań dla soku warzywnego, źródło: opracowanie własne.

Rys. 9. Schemat stanowiska badawczego, źródło: opracowanie własne.

Rys. 10. Rysunek techniczny celki pomiarowej: 1 – przestrzeń pomiędzy elektrodami, 2 - elektrody, 3 - przewody łączeniowe elektrody pomiarowe z głowicą.

Rys. 11. Zależność części rzeczywistej impedancji od częstotliwości dla soków z jabłek Champion i Ligol.

Rys. 12. Zależność części urojonej impedancji od częstotliwości dla soków z jabłek Champion i Ligol.

Rys. 13. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od częstotliwości dla soków z jabłek Champion i Ligol

Rys. 14. Zależność przenikalności elektrycznej od częstotliwości dla soków z jabłek Champion i Ligol.

Rys. 15. Zależność części rzeczywistej impedancji od częstotliwości dla soków z marchwi Napoli i Bangor.

Rys. 16. Zależność części urojonej impedancji od częstotliwości dla soków z marchwi Napoli i Bangor.

Rys.17. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od częstotliwości dla soków z marchwi Napoli i Bangor.

Rys. 18. Zależność przenikalności elektrycznej od częstotliwości dla soków z marchwi Napoli i Bangor.

Rys. 19. Zależność części rzeczywistej impedancji od częstotliwości dla soków z pomidorów Lima i Gargamel.

Rys. 20. Zależność części urojonej impedancji od częstotliwości dla soków z pomidorów Lima i Gargamel.

Rys.21. Zależność współczynnika strat dielektrycznych od częstotliwości dla z pomidorów Lima i Gargamel.

Rys. 22. Zależność przenikalności elektrycznej od częstotliwości dla soków z pomidorów Lima i Gargamel.

Rys. 23a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.

Rys. 23b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.

Rys. 24a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

Rys. 24b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.

Rys. 25a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

Rys. 25b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.

Rys. 26a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 26b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.

Rys. 27a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 27b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.

Rys. 28a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Champion z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.

Rys. 28b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Champion.

Rys. 29a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.

Rys. 29b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

Rys. 30a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

Rys. 30b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

Rys. 31a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

Rys. 31b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

Rys. 32a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 32b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

Rys. 33a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 33b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 2,6 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

Rys. 34a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.

Rys. 34b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 3,2 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

Rys. 35a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z jabłek odmiany Ligol z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.

Rys. 35b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 2,6 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z jabłek odmiany Ligol.

Rys. 36a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem wody w różnych stężeniach.

Rys. 36b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

Rys. 37a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.

Rys. 37b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

Rys. 38a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach

Rys. 38b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor

Rys. 39a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

Rys. 39b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

Rys. 40a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 40b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

Rys. 41a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 41b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

Rys. 42a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.

Rys. 42b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

Rys. 43a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem soli w różnych stężeniach.

Rys. 43b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

Rys. 44a. Zależność od częstotliwości przenikalności elektrycznej soku z marchwi odmiany Bangor z dodatkiem soli w różnych stężeniach.

Rys. 44b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Bangor.

Rys. 45a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem wody w różnych stężeniach.

Rys. 45b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 46a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem wody w różnych stężeniach.

Rys. 46b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 47a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.

Rys. 47b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 48a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.

Rys. 48b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 49a. Zależność od częstotliwości przenikalności elektrycznej soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem witaminy C w różnych stężeniach.

Rys. 49b. Zależność przenikalności elektrycznej mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia witaminy C jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 50a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

Rys. 50b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 51a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

Rys. 51b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 52a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 52b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 53a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 53b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 54a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.

Rys. 54b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 55a. Zależność od częstotliwości współczynnika strat dielektrycznych soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.

Rys. 55b. Zależność współczynnika strat dielektrycznych mierzonego w częstotliwości 11 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 56a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z marchwi odmiany Napoli z dodatkiem soli w różnych stężeniach.

Rys. 56b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 11 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z marchwi odmiany Napoli.

Rys. 57a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkiem wody w różnych stężeniach.

Rys. 57b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.

Rys. 58a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

Rys. 58b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.

Rys. 59a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 59b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.

Rys. 60a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.

Rys. 60b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.

Rys. 61a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Gargamel z dodatkiem soli w różnych stężeniach.

Rys. 61b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Gargamel.

Rys. 62a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem wody w różnych stężeniach.

Rys. 62b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia wody jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima.

Rys. 63a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem glukozy w różnych stężeniach.

Rys. 63b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia glukozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima.

Rys. 64a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem fruktozy w różnych stężeniach.

Rys. 64b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia fruktozy jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima.

Rys. 65a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem syropu glukozowo-fruktozowego w różnych stężeniach.

Rys. 65b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia syropu glukozowo-fruktozowego (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima.

Rys. 66a. Zależność od częstotliwości części rzeczywistej impedancji soku z pomidorów odmiany Lima z dodatkiem soli w różnych stężeniach.

Rys. 66b. Zależność części rzeczywistej impedancji mierzonej w częstotliwości 1,6 kHz od stężenia soli jako dodatku (wraz z linią trendu) dla soku z pomidorów odmiany Lima.