POLITECHNIKA POZNAŃSKA
Wydział Maszyn Roboczych i Transportu
Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych

mgr inż. Natalia Idaszewska

WPŁYW ODDZIAŁYWAŃ MECHANICZNYCH NA ZMIANY FIZYKOCHEMICZNE WYBRANYCH OWOCÓW

Praca doktorska

Promotor:
dr hab. inż. Krzysztof Bieńczak, prof. nadzw.

Poznań, 2016

Niniejszą pracę dedykuję
mojemu Ojcu

STRESZCZENIE

WPŁYW ODDZIAŁYWAŃ MECHANICZNYCH NA ZMIANY FIZYKOCHEMICZNE WYBRANYCH OWOCÓW

Transport owoców i warzyw jest trudnym zadaniem, ponieważ produkty te stanowią tkankę żywą, w której nieprzerwanie zachodzą procesy życiowe, które początkowo skutkują rozwinięciem się pożądanych przez konsumenta cech jakościowych, lecz w późniejszym etapie doprowadzają do psucia się surowców. Na zmiany jakości owoców i warzyw wpływ mają takie czynniki jak: temperatura, wilgotność czy skład gazowy atmosfery, w której są przechowywane. Podczas transportu dodatkowym czynnikiem są oddziaływania mechaniczne w postaci drgań. Mogą one doprowadzić do uszkodzeń mechanicznych przewożonych owoców i warzyw, co skutkuje obniżeniem ich jakości, a w skrajnych przypadkach zepsuciem. W celu zachowania możliwie najwyższej jakości mimo długotrwałego transportowania owoców i warzyw, przewozi się je często w stanie niedojrzałym, poddając wymuszonemu dojrzewaniu tuż przed ich sprzedażą.

Celem niniejszej pracy była analiza wpływu oddziaływań mechanicznych w postaci drgań na parametry fizykochemiczne owoców: borówki amerykańskiej, winogrona białego oraz pomidora, związane w procesem ich dojrzewania. Oznaczanymi parametrami były: poziom pH, zawartość ekstraktu, cukrów ogółem, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardość.

W pierwszej kolejności dokonano pomiaru drgań występujących podczas rzeczywistego transportu drogowego żywności i wyznaczono energię dostarczaną do transportowanych produktów. Następnie skonstruowano stanowisko, które umożliwiało symulację drgań i oznaczano zmiany parametrów fizykochemicznych owoców poddanych drganiom o wyznaczonej uprzednio energii.

Rezultaty przeprowadzonych badań pozwoliły na wyznaczenie poziomów energii dostarczonej w postaci drgań do surowców, która powoduje istotne zmiany oznaczanych parametrów fizykochemicznych sugerujących przyspieszenie dojrzewania owoców oraz poziomów energii, które skutkują negatywnymi zmianami w badanych surowcach.

SUMMARY

THE EFFECT OF THE MECHANICAL VIBRATIONS ON THE PHYSICOCHEMICAL CHANGES OF SELECTED FRUITS

Transport of fruit and vegetables is a difficult task because these products are a living tissue, which continuously processes of life, which initially result in the development of the desired quality characteristics of the consumer but at a later stage lead to their spoilage. The changes in the quality of fruit and vegetables is influenced by factors such as temperature, humidity and gas composition of the atmosphere in which they are stored. During transport, an additional factor is the impact in the form of mechanical vibrations. They can lead to mechanical damages in transported fruit and vegetables resulting in a reduction in their quality and in extreme cases, spoilage. In order to maintain the highest possible quality despite the long transport of fruits and vegetables, they are transported in immature stage and they are matured just before the sale.

The aim of this study was to analyze the effect of mechanical vibrations on the physical and chemical parameters of blueberries, grapes and tomato fruits, connected with their maturation process. Tested parameters where: pH, total soluble solids, total sugars, reducing sugars, ascorbic acid and firmness.

The first, measured the vibrations occurring during the real road transport of food and estimated energy supplied to the transported products. Then the vibration simulator was constructed and then measured changes of the physicochemical parameters of the fruit under the influence of selected levels of energy.

The results of the research allowed to determine the levels of energy of vibration which are supply to the fruits, which causes significant changes of physicochemical parameters suggesting fruit ripening and energy levels, which results in negative changes in the studied fruits.

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE 7

2. PROBLEMY ZWIĄZANE Z TRANSPORTEM SUROWCÓW ROŚLINNYCH 9

2.1. WARTOŚĆ ŻYWIENIOWA I SENSORYCZNA OWOCÓW I WARZYW 9
2.2. WIELKOŚĆ PRODUKCJI, SPOŻYCIA ORAZ TRANSPORTU OWOCÓW I WARZYW W POLSCE I NA ŚWIECIE 10
2.3. TRANSPORT OWOCÓW I WARZYW 12
2.4. WPŁYW WARUNKÓW TRANSPORTOWANIA NA OWOCE I WARZYWA 13
2.4.1. Procesy zachodzące w warzywach i owocach 13
2.4.2. Czynniki wpływające na zmiany w owocach i warzywach 27
2.5. DRGANIA I ICH WPŁYW NA TKANKI ŻYWE 32
2.5.1. Ogólna charakterystyka drgań 32
2.5.2. Wpływ drgań na transportowane owoce i warzywa 36

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMATYKI BADAWCZEJ 39

3.1. PRZESŁANKI NAUKOWO-BADAWCZE 39
3.2. CELE I ZADANIA BADAWCZE 41

4. METODYKA BADAŃ 43

4.1. MATERIAŁ BADAWCZY 43
4.2. PRZYGOTOWANIE MATERIAŁU DO BADAŃ 43
4.3. UKŁAD DOŚWIADCZEŃ 44
4.4. PARAMETRY OCENY ZMIAN FIZYKOCHEMICZNYCH 45
4.4.1. Zawartość ekstraktu ogólnego 46
4.4.2. Poziom pH 46
4.4.3. Zawartość kwasu askorbinowego przy pomocy metody miareczkowej 47
4.4.4. Zawartość kwasu askorbinowego przy pomocy metody spektrofotometrycznej 47
4.4.5. Cukry redukujące oraz cukry ogółem 48
4.4.6. Twardość 48
4.4.7. Analiza wizualna szybkości psucia się 49
4.4.8. Analiza statystyczna 49
4.5. OCENA OBCIĄŻEŃ MECHANICZNYCH 50
4.5.1. Aparatura pomiarowa 50
4.5.2. Warunki i sposób pomiarów obciążeń mechanicznych podczas rzeczywistego transportu 51
4.5.3. Wyniki pomiarów obciążeń mechanicznych podczas rzeczywistego transportu 51
4.5.4. Warunki i sposób pomiarów obciążeńm mechanicznych w warunkach doświadczalnych 52

4.5.5. Sposób analizy wyników *54*

5. WYNIKI BADAŃ **58**

5.1. CHARAKTERYSTYKA MECHANICZNA STANOWISKA BADAWCZEGO 58

5.2. WPŁYW ODDZIAŁYWANIA MECHANICZNEGO NA WYBRANE CECHY FIZYKOCHEMICZNE POMIDORÓW 59

5.2.1. Wpływ częstotliwości, czasu i energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J na wybrane cechy pomidorów *60*

5.2.2. Wpływ czasu i częstotliwości drgań na zmiany wizualne pomidorów *76*

5.3. WPŁYW ODDZIAŁYWANIA MECHANICZNEGO NA WYBRANE CECHY FIZYKOCHEMICZNE POMIDORÓW, WINOGRON I BORÓWEK 80

5.3.1. Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na wybrane cechy pomidorów, winogron i borówek *80*

6. DYSKUSJA **95**

7. WNIOSKI **100**

LITERATURA **101**

ZAŁĄCZNIKI **107**

1. WPROWADZENIE

Owoce i warzywa są jednymi z najpopularniejszych produktów spożywczych. Wzrastająca świadomość konsumencka oraz migracje ludności z różnych rejonów świata powodują większe zainteresowanie egzotycznymi odmianami, co skutkuje potrzebą sprowadzania owoców i warzyw z dalekich rejonów świata. Eksport oraz import owoców i warzyw są również ważnym aspektem polityki żywnościowej danego kraju. Transport owoców i warzyw jest trudnym zadaniem, ponieważ produkty te stanowią tkankę żywą i zachodzą w nich nieprzerwanie procesy życiowe, które skutkują rozwinięciem się pożądanych przez konsumenta cech sensorycznych, ale w późniejszym etapie prowadzą do zepsucia produktów, co z kolei generuje duże straty.

Podczas transportu owoce i warzywa muszą mieć zapewnione odpowiednie warunki klimatyczne, które mogą spowolnić zachodzące procesy, chroniąc je tym samym przed zepsuciem. Warunki te zbliżone są do warunków w jakich przechowuje się owoce i warzywa i związane są głownie z kontrolą takich parametrów jak temperatura, wilgotność a nawet kontrola składu chemicznego atmosfery. Podczas transportu występują dodatkowo oddziaływania mechaniczne na produkt w postaci drgań. Mogą one doprowadzić do uszkodzeń mechanicznych przewożonych owoców i warzyw, co skutkuje obniżeniem ich jakości, ale również zdrowotności, a w skrajnych przypadkach może powodować procesy gnilne czy rozwój pleśni. W celu zachowania możliwie najwyższej jakości mimo długotrwałego transportowania owoców i warzyw, przewozi się je często w stanie niedojrzałym, poddając działaniu modyfikowanej atmosfery, która przyspiesza ich dojrzewanie na końcowym etapie dystrybucji produktu.

W wielu pracach analizowano wpływ oddziaływań mechanicznych na owoce i warzywa oceniając skutki w postaci zepsucia, jednak nieznany jest wpływ tych oddziaływań na przyspieszenie dojrzewania produktów. Celem niniejszej pracy jest analiza wpływu oddziaływań mechanicznych na parametry fizykochemiczne wybranych owoców związanych w procesem ich dojrzewania.

Praca składa się z siedmiu rozdziałów. W rozdziale 2 dokonano wprowadzenia do zagadnień związanych z transportem produktów żywnościowych i wynikających z tego oddziaływań mechanicznych, zmianami jakie zachodzą podczas dojrzewania owoców

i warzyw oraz parametrów jakie na nie wpływają. Ostatecznie dokonano analizy problematyki związanej z wpływem oddziaływań mechanicznych na owoce i warzywa poruszanej przez innych autorów.

W rozdziale 3 przedstawiono problematykę badawczą oraz sformułowano cel ogólny pracy jak i cele szczegółowe. Opisano również zadania do wykonania w ramach pracy.

W rozdziale 4 opisano metody badań, a w rozdziale 5 przedstawiono wyniki własnych badań empirycznych. Ostatnie rozdziały stanowią podsumowanie wyników, rozdział 6 to dyskusja wyników, a w rozdziale 7 przedstawiono wnioski z pracy.

2. PROBLEMY ZWIĄZANE Z TRANSPORTEM SUROWCÓW ROŚLINNYCH

2.1. Wartość żywieniowa i sensoryczna owoców i warzyw

Owoce i warzywa pełnią ważną rolę w żywieniu człowieka. Są bogatym źródłem wielu witamin, składników mineralnych, błonnika oraz antyoksydantów. Wysokie spożycie owoców i warzyw stanowi istotny czynnik w prewencji wielu chorób, w tym m.in.: chorób serca [11, 17], chorób nowotworowych [62], chorób przewodu pokarmowego jak również chorób metabolicznych [12]. Ma to duże znaczenie wobec rozwijających się obecnie chorób cywilizacyjnych, których występowanie związane jest z nieprawidłowym żywieniem, stresem czy brakiem aktywności fizycznej i które jednocześnie są główną przyczyną śmierci. Czynnik żywieniowy jest jednym z najważniejszych w przypadku występowania tego rodzaju chorób, a obecnie szacuje się, że nieprawidłowe żywienie jest przyczyną ok 30% chorób nowotworowych [28]. Spożywanie owoców i warzyw ma również znaczenie dla kształtowania się równowagi sodowo-potasowej w organizmie człowieka.

Owoce i warzywa składają się głownie z wody (ponad 90%) oraz niewielkich ilości białek i tłuszczów. Wartość energetyczna tych produktów związana jest z zawartością węglowodanów występujących pod postacią glukozy, fruktozy lub sacharozy jak również skrobi. Oprócz tego produkty zawierają celulozę w postaci błonnika, składnika ważnego dla prawidłowej perystaltyki jelit [46].

Owoce i warzywa charakteryzują się dużą wartością sensoryczną. Właściwości smakowo-zapachowe związane są z występowaniem kwasów organicznych oraz olejków eterycznych. Do kwasów organicznych należą m in. kwas: cytrynowy, jabłkowy, winowy, benzoesowy, szczawiowy, fumarowy czy salicylowy. Występowanie i zawartość poszczególnych związków organicznych zależy od rodzaju i gatunku owocu lub warzywa jak również stopnia ich dojrzałości. Kształtowanie się zawartości tych związków ma zatem istotny wpływ nie tylko na ich właściwości prozdrowotne, ale tez przydatność konsumencką.

Największą wartością odżywczą charakteryzują się dojrzałe owoce i warzywa spożywane w stanie świeżym, jednak ze względu na ich sezonowe występowanie jak i brak dostępu

do odmian egzotycznych, nie występujących na danych obszarze naturalnie, chętnie spożywa się również przetwory owocowo- warzywne.

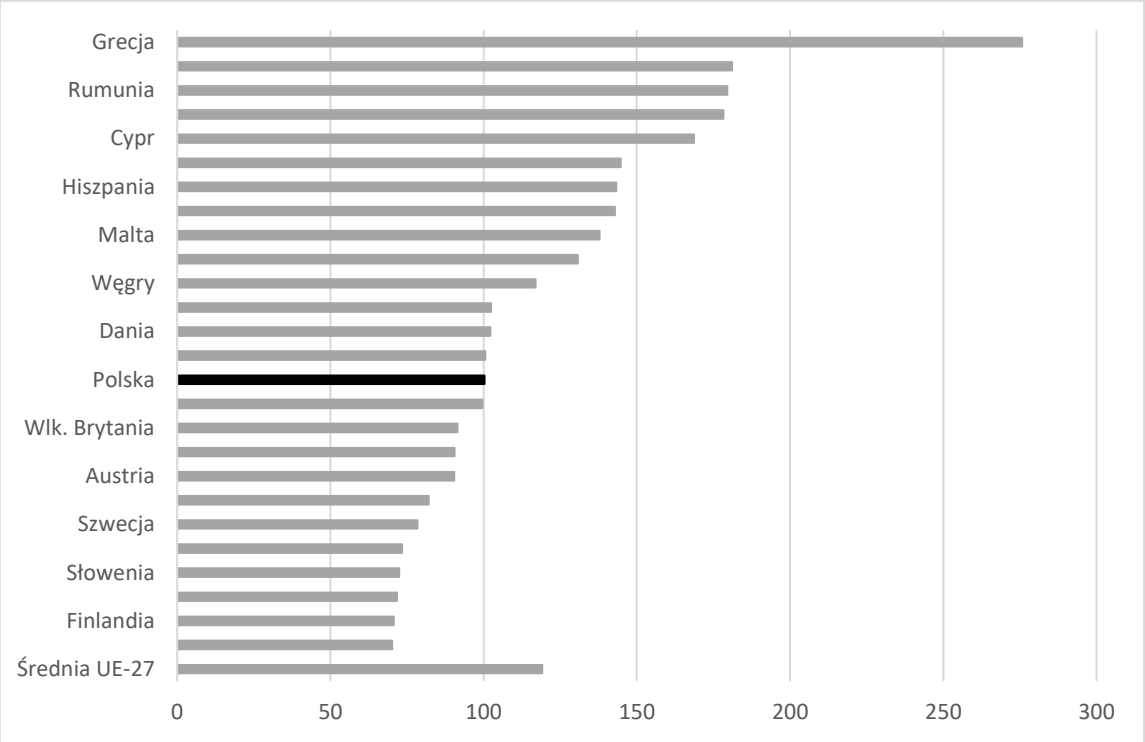
Zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia dotyczące spożywania warzyw i owoców w ilości minimum 400 g dziennie wydaje się być w pełni realizowane w Polsce, gdzie średnie spożycie owoców i warzyw wynosi 577 g na osobę [6,23].

2.2. Wielkość produkcji, spożycia oraz transportu owoców i warzyw w Polsce i na świecie

Ze względu na wysoką wartość odżywczą jak również sensoryczną, owoce i warzywa są chętnie spożywanymi produktami na całym świecie. Wielkość produkcji jak i spożycia zależy od wielu czynników m in: uwarunkowań geograficznych czy specyfiki kulturowej. Produkcja owoców i warzyw w danym rejonie ma istotne znaczenie m in. dla jego gospodarki. Globalna produkcja owoców i warzyw wykazuje powolną, choć systematyczną tendencję wzrostową. W 2008 roku łączna produkcja świeżych warzyw na świecie wyniosła 893,4 mln ton przy całkowitej powierzchni upraw wynoszącej 52,44 mln ha. Rok wcześniej produkcja ta wynosiła odpowiednio 889, 7 mln ton zebranych z 52,04 mln ha. W 2013 roku największe zbiory warzyw miały miejsce w Azji (ponad 50%), następnie w Europie (11,1%). W tym samym roku Europa uplasowała się na trzecim miejscu pod względem wielkości produkcji owoców (13,9%) po Azji i Afryce. Produkcja warzyw w Polsce w 2013 wynosiła ponad 5,2 mln ton, a owoców – ponad 4,2 mln ton. Wartość produkcji warzyw w Polsce w 2008 roku wyniosła ponad 5,2 mld zł, co stanowiło ok 6,4% globalnej produkcji rolniczej oraz około 11,1% globalnej produkcji roślinnej [19]. W 2012 roku Polska zajmowała trzecie miejsce wśród krajów europejskich, po Hiszpanii i Włoszech z produkcją owoców wynoszącą 3,8 mln ton. Z kolei w globalnej produkcji warzyw w Europie, Polska zajmuje 4 miejsce, po Włoszech, Hiszpanii i Francji.

W roku 2011 spożycie owoców na świecie wynosiło prawie 514 mln ton, co daje ok 75 kg/osobę/rok. Spożycie warzyw na świecie w tym samym roku wynosiło ok 930 mln ton, co daje 135 kg/osobę/rok. W samej Europie występuje duże zróżnicowanie gatunków i odmian owoców i warzyw stąd ich roczne spożycie w 2011 roku wynosiło odpowiednio: 67 mln ton oraz 88 mln ton dla owoców i warzyw. Spożycie owoców w Polsce w 2011 wyniosło ok 2 mln ton, tj 54 kg/osobę/rok oraz warzyw w ilości prawie 5 mln ton co daje

129 kg/osobę/rok [27]. Rysunek 1 pokazuje spożycie warzyw i ich przetworów w krajach UE-27 w 2003 roku w kg na jednego mieszkańca rocznie.



Rys.1. Spożycie warzyw i ich przetworów w krajach UE-27 w 2003 roku w kg na jednego mieszkańca rocznie.[19]

W latach 2003-2013 spożycie owoców w Polsce wykazywało tendencję wzrostową (w roku 2003 - 1,8 mln ton), co sygnalizuje większą świadomość żywieniową Polaków ale też dostęp do owoców egzotycznych. Potwierdza to spadek spożycia jabłek wynoszący średniorocznie 0,77 kg tj 3,29% oraz tendencja wzrostowa w spożyciu owoców południowych (bananów i cytrusów). Udział jabłek w strukturze spożycia owoców świeżych zmniejszył się o 11,7% natomiast owoców południowych wzrósł o 7,61 [34]. Zatem zainteresowanie Polaków spożywaniem produktów egzotycznych wymusza konieczność sprowadzania ich z dalszych rejonów występowania.

Eksport owoców w Polsce w 2011 roku wyniósł 10 mln ton, a warzyw 32 mln. Spośród owoców w Polsce produkuje się najwięcej jabłek, wiśni oraz owoców jagodowych. Polska jest również czołowym producentem czarnej porzeczki oraz borówki amerykańskiej, której eksport wynosi ponad 80 % całej produkcji.

Eksport warzyw z kolei w roku 2012 wyniósł 674 tys. ton. Polska eksportuje najwięcej pomidorów oraz ziemniaków. Lecz również w ujęciu światowym należy podkreślić

dominację Europy jako głównego dostawcy warzyw. Z Europy eksportuje się 45,4% warzyw, co stawia ten kontynent na pierwszym miejscu pod względem ilości eksportowanych warzyw. Podobnie w przypadku importu, Europa zajmuje pierwsze miejsce, importując 55,2% warzyw. Największym eksporterem owoców jest Ameryka, zaraz za nią 31,8% eksportowanych owoców przypada na Europę. Również pod względem importu owoców Europa jest na pierwszym miejscu importując 56,1% owoców [27].

Te dane ukazują intensywność procesów przewożenia żywności jak również podkreślają znaczenie transportu owoców i warzyw na całym świecie.

2.3. Transport owoców i warzyw

Transport produktów jakimi są owoce i warzywa wymusza konieczność obniżenia temperatury w trakcie przewozu w celu spowolnienia procesów życiowych tych produktów, które prowadzą w efekcie do strat. Dlatego transport chłodniczy stanowi ważne ogniwo całego łańcucha żywnościowego. Systematycznie wzrasta zapotrzebowanie na izotermiczne i chłodnicze środki transportu żywności na skutek utrzymującego się na wysokim poziomie udziału żywności mrożonej, ale również ze względu na wzrastający popyt na żywność mało przetworzoną, zachowującą w dużym stopniu wartości odżywcze i sensoryczne właściwe dla tych surowców. Wymagania dotyczące zachowania możliwie najwyższej jakości podczas transportu owoców i warzyw są takie same jak wymagania dotyczące przechowywania tych produktów, jednak ze względu na ograniczenie wymiarów i masy środków do transportu oraz ich obsługę i konserwację podczas drogi, zadanie to jest znacznie trudniejsze w realizacji.

W transporcie chłodniczym wyróżnia się dwa rodzaje przewozu:

a) transport daleki, z rejonów produkcji do rejonów spożycia, drogą morską, lądową a czasem lotniczą;

b) transport bliski, dostawczy, z chłodni składowych rozdzielczych w rejonach spożycia do sieci sklepów detalicznych, zakładów zbiorowego żywienia itp., odbywający się wyłącznie samochodami chłodniczymi o średnim i małym tonażu [70].

Wybór rodzaju transportu do przewozu na dalekich dystansach zależy od wielu czynników organizacyjnych jak również względów ekonomicznych. Wydaje się, że do przewozu produktów łatwo psujących się jakimi są owoce i warzywa zdecydowanie najczęściej wykorzystuje się środki transportu drogowego. Ilość żywności przewożonej

na świecie transportem drogowym sięga 162 mln ton rocznie. Szacuje się, że połowa wymaga transportu w kontrolowanych temperaturach [29].

2.4. Wpływ warunków transportowania na owoce i warzywa

Jak wspomniano wcześniej, produkcja owoców i warzyw ma charakter sezonowy i zrejonizowany, co wymusza przewożenie ich z rejonów produkcji i przechowywania do rejonów konsumpcji. Transport stanowi integralną część łańcucha logistycznego. Podobnie jak w przypadku przechowywania, spełnione muszą być wymogi dotyczące warunków w jakich przewozi się owoce i warzywa a wpływ czynników zewnętrznych, szczególnie tych, które w istotny sposób wpływają na pogorszenie jakości tych produktów powinien być zminimalizowany lub wyeliminowany jeśli to możliwe. Owoce i warzywa są szczególnym przypadkiem ładunku transportowego. Są produktami nietrwałymi, reagującymi na zmienne czynniki zewnętrzne dość szybkim pogorszeniem jakości lub nawet zepsuciem. Wiedza dotycząca procesów, które zachodzą w owocach i warzywach oraz znajomość skutków oddziaływania czynników zewnętrznych ma duże znaczenie dla zmniejszenia ilości ewentualnych strat poniesionych podczas transportowania tych produktów.

2.4.1. Procesy zachodzące w warzywach i owocach

Owoce i warzywa stanowią tkankę żywą, w której przez cały cykl życiowy zachodzą procesy, których konsekwencją jest ich rozwój a w efekcie zepsucie. Zbiór owoców i warzyw nie przerywa procesów życiowych i zachodzą one dalej zarówno podczas przechowywania jak i transportu. Zachodzące procesy są niezbędne w celu rozwinięcia cech, które decydują o ich przydatności do spożycia. Produkty te oferowane konsumentom, podobnie jak inne produkty żywnościowe, powinny charakteryzować się wysoką jakością i przede wszystkim być bezpieczne dla konsumentów. Istnieje pojęcie żywności o gwarantowanej jakości dotyczące produktów, które w całym łańcuchu żywnościowym poddane zostały systemom zapewnienia jakości, gwarantującym spełnienie ustalonych wymogów jakościowych. Wysoka jakość w przypadku owoców i warzyw ma duże znaczenie, ponieważ spożywanie tych produktów jest ważnym aspektem procesu promocji zdrowia w zakresie dietetyki, gdzie zwraca się uwagę na wysoką jakość produktów oraz ich

bezpieczeństwo. W literaturze wyróżnia się trzy obszary jakość żywności: atrakcyjność sensoryczną, zdrowotność oraz dyspozycyjność. Przeprowadzone badania dowodzą, że konsumenci różnych krajów utożsamiają z pojęciem jakości różne cechy. W Szwecji zwraca się uwagę na: higienę produkcji, świeżość, walory odżywcze, smak i naturalność. W Grecji konsumenci zwracają uwagę na atrakcyjny wygląd, smak, walory odżywcze, bezpieczeństwo zdrowotne oraz ochronę środowiska podczas produkcji. W Polsce najwyżej ceni się: smak, wpływ na zdrowie, wygląd zewnętrzny i wartość odżywczą. Konsumenci są również gotowi zapłacić wyższą cenę za produkt, jeśli jest on w stanie sprostać stawianym przez nich wymaganiom. Coraz większa wiedza i świadomość konsumentów w dziedzinie żywienia sprawia, że zwracają oni większa uwagę na jakość produktów. Z tego względu wydaje się konieczne zapewnienie możliwie najwyższej jakości podczas każdego etapu dystrybucji. W przypadku owoców i warzyw jest to trudne zadanie ze względu na zachodzące w sposób nieprzerwany procesy życiowe, które z jednej strony są konieczne do tego aby spełnić oczekiwania stawiane przez konsumentów, a z drugiej strony doprowadzają do pogorszenia cech sensorycznych, a na końcu nieprzydatności do spożycia na skutek zepsucia [15].

W owocach i warzywach wyróżnić można takie procesy jak: dojrzewanie, oddychanie, transpiracja i wszystkie reakcje chemiczne, które wiążą się z wymienionymi procesami, a które pozwalają na ukształtowanie się pożądanej jakości handlowej tych produktów. Konsekwencją tych procesów w ujęciu biologicznym jest zmiana składu chemicznego i właściwości fizycznych. Wymienione procesy zachodzą jednocześnie i są ze sobą ściśle powiązane.

Oddychanie

Oddychanie jest jednym z podstawowych procesów życiowych owoców i warzyw. Proces oddychania polega na spalaniu przy udziale tlenu związków organicznych, głównie cukrów, nagromadzonych w procesie fotosyntezy. Produktem reakcji oddychania jest woda, dwutlenek węgla oraz energia w postaci ciepła, które powoduje podwyższenie temperatury oddychającego produktu [21].

Oddychanie tlenowe jest zasadniczym typem oddychania, które zachodzi w normalnych warunkach we wszystkich komórkach roślin wyższych.

Stosunek ilości wydzielonego dwutlenku węgla do ilości pobranego tlenu nazywa się ilorazem oddechowym. W normalnych warunkach jest zbliżony do 1. Zatem oczywisty wydaje się fakt, że im wolniej zachodzi proces oddychania (im mniej tlenu roślina pobiera)

tym wolniejszy jest proces dojrzewania. Z kolei im intensywniejsze jest oddychanie tym zmiany towarzyszące dojrzewaniu będą szybsze. Pomiar intensywności oddychania opiera się zwykle na oznaczaniu ilości wydzielanego dwutlenku węgla, ilości zużytego tlenu lub ilości utlenionego substratu. Intensywność oddychania jest w normalnych warunkach proporcjonalna do potrzeb energetycznych komórki i jest ona nieustannie dostosowywana do aktualnych potrzeb za pomocą skomplikowanych systemów samoregulujących.

Procesy oddechowe przebiegają w mitochondriach rozmieszczonych w cytoplazmie komórek, więc tkanki o większej zawartości cytoplazmy i mitochondriów wykazują większą intensywność oddychania. Tkanki dojrzale zawierają zwykle mniej cytoplazmy, wskutek czego intensywność oddychania tych tkanek jest mniejsza. Tkanki organów starzejących się (tj dojrzewających owoców) posiadają jeszcze mniej cytoplazmy oraz niewielkie potrzeby energetyczne i w związku z tym oddychają wolniej. W końcowym okresie starzenia się roślin może wystąpić tzw. stadium klimakteryczne czego oznaką jest nagły wzrost oddychania. Jest ono oznaką zaburzeń w funkcjonowaniu mechanizmów regulujących i co za tym idzie w przemianie materii [37].

Tempo oddychania jest indywidualną cechą każdej rośliny i różni się w zależności od rodzaju i gatunku owoców lub warzyw. Tabela 1 przedstawia ogólny podział owoców i warzyw na klasy w zależności od tempa oddychania. I tak suszone owoce i warzywa należą do roślin oddychających wolno, których wartość opisująca tempo oddychania (mg wydzielonego dwutlenku węgla na kg w ciągu godziny) jest mniejsza od 5 mg/kg*h. Z kolei warzywa takie jak szparagi, szpinak czy kukurydza charakteryzują się bardzo szybkim tempem oddychania - ponad 60 mg/kg*h.

Tabela 1

Podział owoców i warzyw w zależności od tempa oddychania [37]

Klasa	**Tempo oddychania w temp 5ºC (mg CO_2/kg*h)**	**Produkty**
Bardzo niska	<5	Suszone owoce i warzywa, orzechy
Niska	5-10	Jabłko, burak, seler, żurawina, czosnek, winogrono, melon, cebula, papaja, ziemniak (dojrzały), słodki ziemniak, arbuz
Średnia	10-20	Morela, banan, jagoda, kapusta, marchew, wiśnia, ogórek, figa, agrest. Sałata, nektarynka, oliwka, brzoskwinia, gruszka, pieprz, śliwka, ziemniak (niedojrzały), rzodkiewka, dynia, pomidor

Tabela 1 (c.d.)

Podział owoców i warzyw w zależności od tempa oddychania [37]

Wysoka	20-40	Jeżyna, kalafior, por, sałata (liść), fasola, malina, truskawka
Bardzo wysoka	40-60	Karczoch, kiełki fasoli, brokuł, brukselka, zielona cebula, jarmuż, rukiew wodna
Ekstremalnie wysoka	>60	Szparagi, grzyby, pietruszka, groszek, szpinak, kukurydza

Na intensywność oddychania mają wpływ też czynniki zewnętrzne takie jak: temperatura, stężenie tlenu, stężenie dwutlenku węgla, woda, światło, urazy mechaniczne, obecność stymulatorów i inhibitorów oddychania [41].

Oddychanie jest procesem występującym jednocześnie z transpiracją. Proces oddychania, powodując wydzielanie się ciepła prowadzi do zwiększenia ciśnienia pary wodnej tuż pod powierzchnią produktu, co z kolei prowadzi do intensyfikacji procesu transpiracji.

Transpiracja

Transpiracja jest procesem utraty wody przez owoce i warzywa. Transpiracja obejmuje transport wilgoci przez skórkę owoców i warzyw, odparowanie wilgoci z powierzchni produktu oraz konwekcyjny przepływ wilgoci do otoczenia. Utrata wilgoci przez owoce i warzywa jest napędzana różnicą ciśnienia pary wodnej pomiędzy powierzchnią produktu, a otoczeniem. Odparowanie, które zachodzi na powierzchni produktu jest procesem endotermicznym, obniża temperaturę na powierzchni, a tym samym obniża ciśnienie pary na powierzchni, co z kolei zmniejsza intensywność transpiracji. Z kolei oddychanie owoców i warzyw może skutkować podwyższeniem temperatury produktu, zwiększając w ten sposób ciśnienie pary wodnej na powierzchni, a tym samym zwiększając transpirację. Ponadto, tempo oddychania jest funkcją temperatury produktu [22]. Na szybkość transpiracji wpływają również: struktura powierzchni, przepuszczalność skórki produktu i przepływ powietrza [67]. Tak więc, można zauważyć, że w owocach i warzywach, występują złożone zjawiska cieplne i związane z przenoszeniem masy, które muszą być brane pod uwagę przy ocenie tempa transpiracji tych produktów.

Jednym z istotnych parametrów opisujących proces transpiracji jest współczynnik transpiracji, który definiowany jest jako ilość wody (w kg lub litrach wody) potrzebnej do wyprodukowania jednostkowej masy rosnącej rośliny (w kg biomasy) [42].

Na intensywność transpiracji wpływ ma przede wszystkim temperatura powietrza i jego wilgotność. W tabeli 2 przedstawiono ubytek masy spowodowany zachodzącą transpiracją przy różnych wilgotnościach powietrza dla wybranych owoców i warzyw.

Tab.2. Ubytek masy na skutek procesu transpiracji w warzywach i owocach przechowywanych w różnych warunkach temperatury i wilgotności [50]

	Temperatura przechowywania	Procent ubytku masy na dzień			
	°F	95% RH	90% RH	85% RH	80% RH
Jabłko	32	0,011	0,022	0,033	0,044
Brukselka	32	1,61	3,72	4,84	6,42
Kapusta	32	0,058	0,116	0,175	0,233
Marchew	32	0,315	0,63	0,945	1,26
Seler	32	0,46	0,92	1,38	1,84
Winogrona	32	0,036	0,064	0,096	0,128
Por	32	0,21	0,42	0,62	0,82
Sałata	32	1,93	3,86	5,79	7,73
Pasternak	32	0,5	1	1,5	2
Brzoskwinie	32	0,15	0,3	0,45	0,6
Morele	32	0,018	0,036	0,054	0,072
Pomidory	32	0,06	0,119	0,18	0,24
*% ubytku masy w ciągu 24 godzin					

Niekorzystnym skutkiem procesu transpiracji jest ubytek masy owoców i warzyw, który może dochodzić nawet do 10% ich masy początkowej [50]. Ważny jest również fakt, że wraz z wodą, w której rozpuszczone są substancje odżywcze, w wyniku transpiracji dochodzić może do ubytku tych substancji, co jest niekorzystne z punku żywieniowego [8].

Dojrzewanie

Dojrzewanie jest procesem rozwoju roślin obejmującego etap jej wzrostu, rozwoju aż po starzenie się i obumieranie. W języku angielskim proces dojrzewania posiada więcej określeń i obejmuje kilka etapów. Wyróżnia się etap dojrzewania z ang. - *maturation* czyli uzyskiwania pełnego rozwoju tkanek owoców i warzyw. Podczas tego etapu owoc otrzymuje regularne dostawy pożywienia z rośliny. Po tym etapie następuje okres dojrzewania owocu poza tkanką macierzystą (z ang.- *ripening*). W tym czasie zerwany owoc lub warzywo rozwija się w dalszym ciągu jednak korzysta z własnych rezerw odżywczych. Jednocześnie zachodzi wiele reakcji biochemicznych, w efekcie których rozwijają się charakterystyczne cechy produktu związane z jego smakiem, zapachem i doprowadzające do osiągnięcia odpowiedniej jakości konsumenckiej. Moment zbioru jest niezwykle istotny ale czynniki zewnętrzne otaczające zerwany owoc mają decydujący wpływ na dalszy rozwój

rośliny. Zapewnienie odpowiednich warunków umożliwia uzyskanie przez owoc lub warzywo pełnej dojrzałości konsumpcyjnej. Z kolei nie zapewnienie tych warunków doprowadza do obumarcia rośliny.

Wyróżnia się dojrzałość różnego rodzaju:

a) dojrzałość zbiorcza – stan rozwoju owoców charakteryzujący się najmniejszą intensywnością oddychania i całkowitym ich wykształceniem, możliwością oderwania szypułek od pędu owoconośnego. Najczęściej dojrzałość zbiorcza ma miejsce wcześniej niż dojrzałość konsumpcyjna lub przetwórcza;

b) dojrzałość fizjologiczna – stan pełnego rozwoju, wykształcenia wszystkich cech, po którym następuje starzenie rośliny;

c) dojrzałość konsumpcyjna- stan fizjologicznego rozwoju owoców, w którym są one najsmaczniejsze, przyjmują najbardziej atrakcyjny wygląd i zapach.

Termin zbioru zależy od gatunku owoców lub warzyw. Termin zbioru kiełkujących roślin przypada na poczatek rozwoju. Z kolei w przypadku np. sałaty najodpowiedniejszy termin zbioru przypada na czas pełnego rozwoju warzywa, ale przed okresem fizjologicznej dojrzałości. W przypadku pomidorów termin zbioru przypada na czas pełnej dojrzałości fizjologicznej, a nawet pocztek fazy starzenia.

Dla owoców i warzyw w pełni dojrzałych i rozwiniętych istnieją dwie sprzeczne sytuacje. Z jednej strony właściwości takie jak słodkość czy smak, pożadany przez konsumentów są zdecydowanie najlepsze dla owoców i warzyw w pełni dojrzałych. Z drugiej strony trwałość tego produkru w tym okresie zaczyna był coraz mniejsza i mogą pojawić się pierwsze oznaki psucia. Taka sytuacja sugeruje, że owoce i warzywa przeznaczone do transportu lub dłuższego przechowywania powinny być zbierane wcześniej niż te, które przeznaczone są do natychmiastowego spożycia [79].

Zmiany właściwości fizykochemicznych owoców i warzyw na skutek ich dojrzewania

Dojrzałość owoców i warzyw przejawia się zmianami nie tylko w składzie chemicznym, ale również we właściwościach fizycznych, Do właściwości fizycznych opisujących dojrzałość produktów należą: kolor, kształt, rozmiar, masa, twardość. Podczas dojrzewania zachodzi wiele reakcji chemicznych i zmian w składzie chemicznym. Wyróżnić tu można: zawartość ekstraktu, zawartość suchej masy, zawartość cukrów, zawartość i rodzaj kwasów

organicznych. Poniżej opisano najpowszechniejsze właściwości związane z dojrzałością owoców i warzyw.

Twardość

Owoce i warzywa mogą zmieniać swoją strukturę podczas wzrostu, a zwłaszcza na etapie dojrzewania kiedy stają się bardziej miękkie. Spadek twardości związany jest z aktywacją enzymów takich jak: poligalaktouronaza i celulaza. Te enzymy aktywują się kiedy owoce są dojrzałe. Pektyny i celuloza ścian komórkowych ulegają hydrolizie, co powoduje zmiękczenie ścian komórkowych [9]. Te zmiany struktury w warunkach braku dostępności specjalistycznego sprzętu mogą być ocenione poprzez dotyk. W chwili obecnej w warunkach laboratoryjnych istnieje duzo wyrafinowanych urządzeń do pomiaru twardości owoców i warzyw. Do najpowszechniejszych metod zaleicza się użycie penetrometru, którego trzpień zanurzony zostaje w miąższu owocu, a następnie odczytuje się siłe potrzebną do przebicia skórki lub zagłębienia trzpienia na określoną głębokość miąższu.

Zawartość ekstraktu

W analityce żywnościowej przez ekstrakt rozumie się sumę substancji rozpuszczonych w wodzie, nielotnych z parą wodną lub suchą substancję rozpuszczoną w wodzie. W skład ekstraktu wchodzą: cukry, barwniki, nielotne kwasy organiczne, garbniki, substancje mineralne oraz rozpuszczalne substancje azotowe, nie wchodzą natomiast związki lotne, takie jak alkohol, substancje aromatyczne, dwutlenek siarki i lotne kwasy. Pojęcie ekstraktu obejmuje ekstrakt rzeczywisty, bezcukrowy i pozorny. Ekstrakt rzeczywisty to suma składników rozpuszczonych w wodzie, mierzona po oddestylowaniu związków lotnych i uzupełnieniu próbki wodą do pierwotnej objętości. Ekstrakt bezcukrowy to różnica między zawartością ekstraktu rzeczywistego a sumą cukrów redukujących i sacharozy w próbce. Ekstrakt pozorny (pozorna zawartość ekstraktu) to ekstrakt roztworu oznaczony bez usunięcia z próbki związków lotnych, głównie etanolu. Obecność w próbce alkoholu (i innych substancji lotnych) powoduje błędy odczytu wskutek rozrzedzania środowiska i zmiany współczynnika refrakcji badanego roztworu [7].

Wraz z postępem procesu dojrzewania zawartość ekstraktu w owocach i warzywach zwiększa się, co związane jest ze zwiększającą się zawartością cukrów [30]. Występują również różnice w zawartości ekstraktu w zależności od rodzaju dojrzałości owoców. W przeprowadzonych przez Walkowiak Tomczak badaniach, zawartość ekstraktu

w śliwkach w stanie dojrzałości konsumpcyjnej była większa niż w owocach w stadium dojrzałości zbiorczej [77].

Zawartość cukrów

Węglowodany (sacharydy, cukrowce) są związkami organicznymi zbudowanymi z węgla, wodoru i tlenu. Skład chemiczny większości tych związków można wyrazić ogólnym wzorem $C_n(H_2O)_m$, w którym stosunek liczby atomów wodoru do tlenu jest taki sam jak w wodzie. Biorąc pod uwagę budowę chemiczną, wyróżnia się cukry proste (monosacharydy) oraz cukry złożone, które w zależności od wielkości cząsteczki dzieli się na oligosacharydy (w tym disacharydy) i wielocukrowce (polisacharydy). Węglowodany są podstawowym składnikiem odżywczym i głównym materiałem zapasowym oraz wzmacniającym komórki i tkanki roślinne.

W owocach i warzywach występuje głównie cukier prosty jakim jest fruktoza, sacharoza oraz w niektórych skrobia [31].

W trakcie procesów dojrzewania sacharoza ulega hydrolizie do fruktozy oraz glukozy.

Również skrobia podczas dojrzewania ulega hydrolizie**.** Hydroliza skrobi prowadzi do reakcji chemicznej (depolimeryzacji) na skutek czego zostaje utworzona D-glukoza oraz powstaje szeroka grupa produktów, w których zawarta jest więcej niż jedną cząsteczka glukozy, są to disacharydy takie jak np. maltoza czy dekstryny itp. Również hemiceluloza ulega hydrolizie. Na skutek hydrolizy, hemiceluloza ulega konwersji do ksylozy, mannozy, galaktozy, arabinozy [9]. W wyniku tych reakcji dojrzałe owoce są słodsze od niedojrzałych [62].

Przemiany w węglowodanach nie zachodzą równocześnie. Można wyróżnić trzy fazy przemian w cukrach podczas dojrzewania (dotyczy owoców i warzyw zawierających skrobię):

a) faza I – następuje wtedy gwałtowne zmniejszenie zawartości glukozy i fruktozy oraz niewielki wzrost zawartości rafinozy. Wraz z akumulacją skrobi następuje przyrost suchej substancji;

b) faza II – zostaje zahamowany proces gromadzenia skrobi i suchej substancji, natomiast rozpoczyna się wzrost zawartości sacharozy;

c) faza III – następuje wtedy stopniowa hydroliza skrobi oraz istotny wzrost zawartości glukozy, fruktozy i sacharozy [53].

Zawartośc kwasów organicznych

W owocach i warzywach występują głównie kwasy: jabłkowy, cytrynowy, winowy i w mniejszych ilościach kwas bursztynowy i szczawiowy. Najwyższą zawartością kwasów charakteryzują się owoce i warzywa niedojrzałe. W szczawiu, szpinaku i rabarbarze 50% kwasowości pochodzi od kwasu szczawiowego. Niektóre owoce jagodowe (borówki i żurawina) zawierają kwas benzoesowy, aronia i jarzębina - kwas sorbowy. Występując w postaci wolnej mają one właściwości konserwujące, hamują bowiem rozwój pleśni i wielu gatunków bakterii. Stosunek kwasowości do cukrów w dużym stopniu decyduje o smaku owoców. Kwasy są czynnikami smaku kwaśnego, orzeźwiającego w owocach. Podczas dojrzewania zawartość kwasów organicznych maleje stąd w dojrzałych owocach dominuje słodki smak natomiast kwaśny przestaje być odczuwalny [47]. Spadek zawartości kwasów podczas dojrzewania związany jest ze wzrostem aktywności enzymów takich jak: dehydrogenaza bursztynianowa, dehydrogenaza izocytrynianowa oraz spadkiem aktywności syntazy cytrynianowej [44].

Zmiany fizykochemiczne zachodzące podczas dojrzewania oraz starzenia się wybranych owoców

Winogrona

W przypadku wzrostu owoców winogrona, wyróżnia się trzy etapy dojrzewania. Pierwszy etap związany jest z przyrostem liczby komórek nasion oraz owocni. Podczas tego etapu nasiono osiąga swój pełny rozmiar. Drugi etap charakteryzuje się pewnymi zmianami w wielkości owocu, zarodek nasienia rozrasta się przy jednoczesnym twardnieniu łupiny. Etap trzeci wiąże się ze zjawiskiem silnej akumulacji cukrów, owoc staje się miękki i przyrasta ilość antocyjanów [39].

Glukoza oraz fruktoza stanowią ok 99% lub więcej węglowodanów w soku winogronowym oraz od 12 do 27% w świeżej masie dojrzałych owoców stanowiących znaczną część ekstraktu [80]. W zielonych winogronach we wczesnych stanach dojrzałości glukoza stanowi 85% całkowitej zawartości cukrów i dominuje nad fruktozą. W dojrzałych winogronach stosunek zawartości glukozy do fruktozy jest równy natomiast w przejrzewających owocach zawartość fruktozy dominuje [14,57,61,80]. Również pozostałe cukry pojawiają się w małych ilościach w winogronach: sacharoza (mniej niż 0,1% w dojrzałych winogronach), rafinoza, stachioza, melibioza, maltoza oraz galaktoza. Cukry

zaczynają intensywnie gromadzić się w owocach pod koniec procesu dojrzewania wraz z rozpoczęciem mięknięcia owoców. Większość cukrów syntezowana jest w liściach, a następnie transportowana poprzez łyko do owoców, głownie w postaci sacharozy. W owocach sacharoza hydrolizowana jest do glukozy i fruktozy [33].

Kwasy organiczne występujące w owocach winogron to głównie: kwas winowy oraz kwas jabłkowy, stanowiące ok 90% całkowitej kwasowości. Pozostałe kwasy takie jak cytrynowy, bursztynowy, fumarynowy, octowy, glikolowy, mlekowy występują w niewielkich ilościach. Kwas askorbinowy jest jednym z prekursorów kwasy winowego w winogronach. Badania prowadzone przez Saito i Kasai potwierdzają, że kwas L-askorbinowy pośredniczy w biosyntezie kwasu L-winowego [65]. Proces oddychania jest z kolei jedyną drogą degradacji kwasu winowego.

Borówka

Glukoza oraz fruktoza są dominującymi cukrami we wszystkich stanach wzrostu i dojrzewania owoców borówki. Podczas dojrzewania fruktoza jest cukrem dominującym [69,81]. Niektórzy autorzy podają, że owoce takie jak jagody nie zawierają sacharozy, natomiast inni sugerują jej zawartość sięgającą 10% całkowitej zawartości cukrów w owocach [36]. Poziom glukozy i fruktozy wzrasta wraz z dojrzewaniem owoców, co przejawia się wzrostem ogólnej zawartości ekstraktu.

Dominującym kwasem organicznym, występującym w owocach borówki jest kwas cytrynowy i niewielka ilość kwasu jabłkowego [52]. Inni autorzy wykazują również zawartość innych kwasów takich jak: chinowy, chlorogenowy (kwas fenolowy) [48]. Ogólna zawartość kwasów maleje podczas dojrzewania owoców borówki, jednak głównie zauważalny jest spadek kwasu cytrynowego (30-40% różnica pomiędzy dojrzałymi a przejrzałymi owocami) bez zmian w zawartości pozostałych kwasów [43]. Skład cukrów oraz kwasów w borówce o różnych stopniach dojrzałości przedstawia tabela 3 i 4.

Tabela 3

Skład cukrów [% suchej masy] w Vaccinium arctostaphylos i V. myrtillus w trzch różnych stanach dojrzałości [4]

Cukier	V. arctostaphylos		
	Niedojrzałe	Średnio dojrzałe	Dojrzałe
Fruktoza	12,8 ± 0,12a	20,61 ± 1,67c	25,32 ± 1,52d
Glukoza	9,24 ± 0,24a	18,50 ± 1,20c	26,20 ± 0,96d
Sacharoza	0,03 ± 0,01a	0,63 ± 0,12b	1,02 ± 0,12c
Inozytol	0,04 ± 0,001a	0,31 ± 0,02b	0,52 ± 0,1c
Glukoza/Fruktoza	0,72 ± 0,02a	0,90 ± 0,02b	1,04 ± 0,03d

Tabela 3 (c.d.)

Skład cukrów [% suchej masy] w Vaccinium arctostaphylos i V. myrtillus w trzch różnych stanach dojrzałości [4]

Ogólna zawartość cukrów	37,30 ± 0,91a	47,35 ± 0,78b	52,23 ± 1,24c
V. myrtillus			
Fruktoza	18,10 ± 1,1b	26,61 ± 0,48d	32,99 ± 1,08e
Glukoza	15,24 ± 0,81b	25,73 ± 1,22d	32,90 ± 0,60e
Sacharoza	-	0,73 ± 0,06b	1,81 ± 0,27d
Inozytol	0,40 ± 0,02bc	0,70 ± 0,10d	0,90 ± 0,11e
Glukoza/Fruktoza	0,85 ± 0,01b	0,97 ± 0,06c	1,02 ± 0,03cd
Ogólna zawartość cukrów	35,12 ± 1,48a	51,16 ± 2c	63,92 ± 0,60d

Tabela 4

*Skład kwasowy [mg*g^{-1} suchej masy] w Vaccinium arctostaphylos i V. myrtillus w trzch różnych stanach dojrzałości* [4]

Kwasy	V. arctostaphylos		
	Niedojrzałe	Średnio dojrzałe	Dojrzałe
Jabłkowy	0,79 ± 0,06 ab	1,52 ± 0,35 c	3,46 ± 0,48 d
Cytrynowy	11,98 ± 0,42 e	8,34 ± 0,27 c	4,91 ± 1,88 b
Chinowy	21,83 ± 1,25 d	17,18 ± 1,12 c	13,99 ± 0,55 b
Ogólna zawartość kwasów	32,60 ± 0,76 e	27,10 ± 0,42 c	22,40 ± 0,07 b
	V. myrtillus		
Jabłkowy	0,55 ± 1,13 a	1,07 ± 0,15 b	1,94 ± 0,12 c
Cytrynowy	9,29 ± 0,48 d	5,85 ± 0,42 b	3,96 ± 1,89 a
Chinowy	22,73 ± 0,28 d	15,17 ± 0,44 b	6,09 ± 0,43 a
Ogólna zawartość kwasów	32,6 ± 0,11 d	22,10 ± 0,29 b	12,00 ± 0,61 a

W całym procesie wzrostu owoców borówki wyróżnia się kilka stopni jego dojrzałości:

a) niedojrzały zielony – cały owoc jest zielony, małego rozmiaru; w przypadku oderwania owocu na tym etapie i przechowywanie go w określonych warunkach możliwy jest rozwój pigmentów antocyjanowych;

b) dojrzały zielony – owoce koloru zielonego z wyraźnymi znakami zaniku chlorofilu poprzez pojawienie się kremowych miejsc w okolicy kielicha; zwykle owoce są większe niż zielone niedojrzałe; zerwanie ich w tym czasie i przechowywanie w odpowiednich warunkach może skutkować rozwinięciem się koloru różowego, a potem nawet czerwonego;

c) zielono-różowe – owoce w większości kremowego koloru z niewielką ilością miejsc w kolorze różowym zwłaszcza wkoło kielicha; zerwane są w stanie całkowicie dojrzeć;

d) różowo- czerwone – owoce różowego koloru z niewielka ilością zielonych przestrzeni lub ich brakiem; kolor czerwony widoczny przy kielichu;

e) czerwono-niebieskie – owoce czerwone z niewielka ilością przestrzeni w kolorze niebieskim zwłaszcza przy kielichu; brak koloru zielonego jak i różowego;

f) niebieskie – cały owoc w kolorze niebieskim.

Wzrostowi owoców towarzyszą zmiany w składzie chemicznym. Zawartość ekstraktu wzrasta trzykrotnie podczas przejścia ze stanu niedojrzałego zielonego do stanu kiedy owoce są koloru niebieskiego. Poziom pH owoców również wzrasta wraz z dojrzewaniem owoców, jednak największe różnice możliwe do zaobserwowania są w ostatnich fazach dojrzewania [32].

Wyróżnić można kilka etapów dojrzewania owoców borówki:

- wzrost – etap ten zawiera w sobie dwa etapy związane z dojrzewaniem i nazywane z ang: *pre-maturation* oraz *maturation*
  - *Pre-maturation* - etap ten obejmuje czas wzrostu aż do drugiej fazy wzrostu; podczas tego etapu proces oddychania jest wolniejszy, zmiany pH oraz ekstraktu są niewielkie;
  - *Maturation* – etap ten trwa do końca fazy trzeciej wzrostu; zauważalny jest silny wzrost zawartości ekstraktu oraz pH;
- *Ripening*- podczas tego etapu następuje spowolnienie procesu oddychania, wzrasta natomiast pH oraz zawartość ekstraktu;
- starzenie się – podczas tego etapu pH cały czas wzrasta jednak zarówno zawartość ekstraktu jak i kwasów zaczyna maleć [32].

W tabeli 5 przedstawiono zmiany zawartości ekstraktu, pH oraz kwasowości owoców borówki w różnych stopniach dojrzałości.

Tabela 5

Zmiany zawartości ekstraktu, pH oraz kwasowości owoców borówki w różnych stopniach dojrzałości [32]

Stopień dojrzałości owoców	Ekstrakt [%]		pH		Kwasowość miareczkowa	
	1966	1967	1966	1967	1966	1967
Niedojrzałe zielone	4,40 f[1]	3,08 f	2,869 e	2,984 d	1,20 b	1,27 a
Dojrzałe zielone	6,22 e	4,26 e	2,865 e	3,006 d	1,44 a	1,38 a
Zielono-różowe	7,69 d	5,63 d	2,937 d	3,017 d	1,20 b	1,20 a
Różowo-czerwone	9,61 c	6,97 c	3,026 c	3,069 c	1,10 c	0,93 b
Czerwono-niebieskie	11,58 b	8,80 b	3,267 b	3,139 b	0,77 d	0,70 c
Niebieskie	13,90 a	10,93 a	3,716 a	3,630 a	0,37 e	0,34 d

[1] wartości w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p=0,05

Pomidory

Podczas dojrzewania owoców pomidora zmienia się jego skład chemiczny ale też właściwości fizyczne jak np. twardość. Na twardość owoców wpływ ma stopień dojrzałości

pomidora. Największa twardością wykazują się owoce niedojrzałe natomiast najmniejszą- w pełni dojrzałe. Spadek twardości owoców w stanie dojrzałym może być związany z degradacją polisacharydów [74].

Wartość pH owoców pomidora wzrasta wraz ze stopniem dojrzałości i związana jest z zawartością kwasów. Anthon i in wykazali, że pH równe 4,4 jest maksymalnym, dopuszczalnym dla bezpieczeństwa a optymalna wartość to 4,2 [1]. Inni autorzy wykazują, że wartość pH wyższa niż 4,4 może przyczynić się do rozwoju termofilnych patogenów. Natomiast w zależności od dojrzałości, wartość pH waha się pomiędzy 4,23 dla zielonych pomidorów, a 4,63 dla pomidorów czerwonych, dojrzałych [56].

Zawartość ekstraktu w pomidorach w zależności od ich stopnia dojrzałości waha się pomiędzy 4,47 w zielonych pomidorach, a 6,57 ^{o}Brix w dojrzałych, czerwonych owocach [10, 74]. Na zawartość ekstraktu największy wpływ ma zawartość glukozy i fruktozy stanowiących ok 60% ekstraktu z niewielkim dodatkiem sacharozy, ketoheptozy i rafinozy. Zawartość ekstraktu jest zależna od momentu zerwania owoców. W tabeli 6 przedstawiono zmiany twardości, pH, oraz ekstraktu w pomidorach w trzech stanach dojrzałości: zielonych, średnio dojrzałych oraz całkowicie dojrzałych.

Tabela 6

Fizykochemiczne właściwości owoców pomidora w różnych stopniach dojrzałości [74]

Wartości w każdej kolumnie oznaczone innymi literami różnią się statystycznie istotnie dla $p<0,05$

	Zawartość soku (ml/kg)	Twardość (kg/cm^2)	pH	Kwasowość miareczkowa (%)	Ekstrakt (^{o}Brix)
Niedojrzałe	31,66 a	3,20 a	4,23 a	3,98 a	4,47 a
Średnio dojrzałe	39,16 a	2,67 b	4,32 b	2,36 b	5,13 b
Dojrzałe	38,66 b	2,20 c	4,63 c	2,11 c	6,57 c

W tabeli 7 przedstawiono zmiany zawartości cukrów ogółem, redukujących oraz nieredukujących w pomidorach w trzech stanach dojrzałości: zielonych, średnio dojrzałych oraz całkowicie dojrzałych.

Tabela 7

Zmiany zawartości cukrów ogółem oraz cukrów redukujących w pomidorach w trzech stanach dojrzałości [74]

Wartości w każdej kolumnie oznaczone innymi literami różnią się statystycznie istotnie dla $p<0,05$

	Ogólna zwartość cukrów (%)	Cukry redukujące (%)	Cukry nieredukujące (%)
Niedojrzałe	6,40 a	2,23 c	4,17 a
Średnio dojrzałe	8,97 b	5,30 b	3,67 b
Dojrzałe	9,00 c	6,33 a	2,67 c

Pomidory dojrzałe charakteryzują się większą zawartością soku niż niedojrzałe. Wraz postępem procesu dojrzewania zmniejsza się twardość owoców pomidora, wzrasta pH soku, co wiąże się jednoczesnym spadkiem kwasowości miareczkowej. Natomiast zawartość ekstraktu wzrasta.

Zawartość cukrów ogółem w pomidorach waha się pomiędzy 6,40 % w zielonych pomidorach a 9,00 % w dojrzałych, czerwonych pomidorach. Ilość cukrów ogółem zwiększa się na skutek konwersji skrobi do cukrów. Z kolei zawartość cukrów redukujących mieści się w przedziale od 2,23 dla zielonych owoców do 6,33% dla czerwonych, dojrzałych owoców. Zatem podobnie jak w przypadku ogólnej zawartości cukrów, zawartość cukrów redukujących w pomidorach wzrasta wraz ze stopniem dojrzałości [74].

W tabeli 8 przedstawiono skład chemicznych pomidorów w pięciu różnych stanach dojrzałości wykazany przez autorów.

Tabela 8

Skład chemiczny pomidorów w pięciu różnyhc stanach dojrzałości [16,82]

Skład	Stopień dojrzałości				
	Zielone	Zielono-różowe	Różowe	Czerwone	Czerwone dojrzałe
Sucha masa (%)	6,40	6,20	5,81	5,80	6,20
Kwasowość miareczkowa (%)	0,285	0,310	0,295	0,270	0,285
Kwas askorbinowy (mg%)	14,5	17,0	21,0	23,0	22,0
Cukry redukujące (%)	2,40	2,90	3,10	3,45	3,65
Skrobia (%)	0,61	0,14	0,136	0,18	0,07

Zawartość skrobi w owocach pomidora zależy od ich stopnia dojrzałości, odmiany i warunków wzrostu lub przechowywania i waha się pomiędzy 1-1,2% w niedojrzałych owocach do 0,1-0,15% w dojrzałych, czerwonych owocach, Skrobia gromadzi się w owocach, kiedy te są zielone, a potem gwałtownie spada. Najniższą zawartością skrobi charakteryzują się owoce w pełni dojrzałe [16,82].

Pomidory są dobrym źródłem witaminy C (kwasu askorbinowego) i zawierają ok 25mg/100g świeżej masy, ale jej ilość zależna jest od odmiany. Istnieją w literaturze pewne sprzeczności dotyczące zmian zawartości kwasu askorbinowego w pomidorach podczas ich dojrzewania [54]. Część autorów wykazuje, że zawartość kwasu askorbinowego wzrasta wraz ze stopniem dojrzałości natomiast inni autorzy sugerują jej spadek [51,63]. Pomidory, które dojrzewały szybciej wykazały większą zawartość witaminy C niż te, których tempo dojrzewania było wolniejsze [13].

Kwas cytrynowy oraz jabłkowy to podstawowe kwasy organiczne które wpływają na ostateczny smak owoców pomidora. Występują tez inne kwasy takie jak: octowy, mrówkowy, mlekowy itp. [35]. Na etapie wybarwienia owoców zawartość kwasów znacznie przyrasta, a potem zaczyna gwałtownie spadać. Najwyższą zawartością charakteryzują się owoce różowe [16,34,64].

Kwasowość pomidorów ma duże znaczenie ze względów sensorycznych oraz bezpieczeństwa, dlatego że masłowe, termofilne i gnilne anaerobowe organizmy nie mogą rozwijać się gdy pH spada poniżej 4,3. Gdy pH jest wyższe niż 5, formy przetrwalnikowe są trudne do zniszczenia [66].

2.4.2. Czynniki wpływające na zmiany w owocach i warzywach

Wyróżnia się wiele czynników wpływających na stan owoców i warzyw podczas ich przechowywania oraz transportu. Czynniki te poprzez bezpośredni wpływ na przyspieszenie dojrzewania mogą w efekcie doprowadzić do psucia się owoców i warzyw. Można je podzielić na czynniki zewnętrzne oraz wewnętrzne. Do czynników zewnętrznych należą m in: temperatura, wilgotność, skład gazowy atmosfery, dopływ światła. Podczas transportu dodatkowym, czynnikiem są drgania, które mają charakter przypadkowy i pochodzą z dwóch źródeł: systemu napędowego pojazdu, przy jego zróżnicowanych obciążeniach oraz poruszania się pojazdu po nierównych nawierzchniach [55]. Do wewnętrznych czynników należy wzajemne odziaływanie na siebie owoców i warzyw polegające na wydzielaniu związków przyśpieszających dojrzewanie produktów położonych sąsiednio. Poniżej omówiono szczegółowy wpływ poszczególnych czynników na stan owoców i warzyw.

Wpływ temperatury na owoce i warzywa

Reakcje chemiczne powodujące psucie żywności są związane z przemianami związków chemicznych w niej zawartych. Jednym z czynników znacznie ograniczającym te przemiany jest temperatura. Obniżenie temperatury zdecydowanie spowalnia przebieg reakcji chemicznych oraz ogranicza rozwój patogennej mikroflory stąd zachowanie niskich temperatur przy przewozie jest konieczne do zabezpieczenia produktów spożywczych. Jednak korzystny wpływ niskiej temperatury nie jest typowy dla wszystkich grup owoców i warzyw. Tropikalne owoce i warzywa mogą ulec zepsuciu na skutek stosowania zbyt

niskich temperatur czego przejawem są: ciemnienie tkanek, wysuszenie lub utrata smaku. Zmiany te pogłębiają się wraz z wydłużeniem czasu przechowywania w niekorzystnych warunkach [3]. Wobec tego należy przypuszczać, że najbardziej bezpieczną temperaturą panującą w komorze, w której transportuje się produkt będzie temperatura najniższa z temperatur optymalnych, wyznaczonych dla przechowywania poszczególnych owoców i warzyw.

Na ich podstawie dokonano podziału na 3 grupy:

- temperatury niskie w przedziale 0-2^{o}C
- temperatury średnie wynoszące ok. 7^{o}C
- temperatury wysokie w przedziale 13-18^{o}C

Transportowanie produktów w temperaturach niższych niż zalecane, oprócz pogorszenia ich jakości, nasuwa wątpliwości, co do opłacalności ich przewozu na skutek stosowania niepotrzebnego chłodzenia.

Przechowywanie niektórych owoców i warzyw w temperaturach niskich może skutkować powstaniem uszkodzeń tych produktów, np. dla zielonych pomidorów przechowywanych w temperaturze 0 - 4,4^{o}C w czasie dłuższym niż 3-5 dni. Dla tych produktów wskazana temperatura waha się pomiędzy 8 a 21^{o}C. W badaniach przeprowadzonych przez Rosa w niedojrzałych pomidorach przechowywanych w temperaturze 25^{o}C zawartość ekstraktu oraz kwasów spadła podczas gdy zawartość cukrów wzrosła po to, aby gwałtownie zacząć spadać w ostatniej fazie badań. W temperaturze 19^{o}C zmiany te zachodziły znacznie łagodniej. Zauważono, że w przypadku przechowywania pomidorów w temperaturze między 4 a 12^{o}C zawartość ekstraktu oraz kwasów organicznych ulegała zmianom, natomiast zawartość cukrów zaczęła przyrastać [64].

Wpływ wilgotności na owoce i warzywa

Zapewnienie odpowiedniej wilgotności powietrza wewnątrz komory, w której transportowane są warzywa i owoce jest kolejnym czynnikiem hamującym przemiany chemiczne wewnątrz produktu. Temperatura oraz wilgotność powietrza są wskaźnikami, od których zależy intensywność zachodzenia procesów takich jak transpiracja [3].

Odparowanie wody z tkanek roślinnych jest jedną z głównych przyczyn znacznego pogorszenia się jakości owoców i warzyw po zbiorze. Utrata wody powoduje nie tylko straty ilościowe (w masie produktu) ale również pogorszenie wyglądu produktu, jego struktury

(zmiękczenie, utrata kruchości, utrata soczystości) oraz obniżenie wartości odżywczej [30, 49]. Większość świeżych owoców i warzyw zawiera od 85% do 90% wody. Aby przedłużyć ich trwałość i ograniczyć ubytek masy oraz pozostałe zmiany, tempo utraty wody powinno być możliwie najniższe [12]. Zdecydowana większość owoców czy warzyw wymaga zastosowania w przechowalnictwie i transporcie wysokiej wilgotności powietrza (ok. 95%), co zabezpiecza te produkty przed utratą wilgoci oraz więdnięciem.

Opierając się na poziomach wilgotności wyznaczonych dla poszczególnych owoców i warzyw dokonano podziału na 2 grupy: 85-95%, 90-98%.

Suche warzywa takie jak: cebula, czosnek, imbir, dynia i kabaczek (odmiana letnia) wymagają skrajnych poziomów wilgotności mieszczących się w granicach 50-70%, co zabezpiecza je przed gniciem.

Większość warzyw i owoców transportowanych w niskich temperaturach jest wrażliwa na utratę wilgoci i powinna być przewożona przy zachowaniu wilgotności powyżej 90% aby zabezpieczyć je przed ubytkiem wody. Pozostałe warzywa i owoce wymagają zachowania wilgotności na poziomie wynoszącym 85-95% [37].

W tabeli 9 przedstawiono podział owoców i warzyw na 3 grupy biorąc pod uwagę konieczność kontroli podczas transportu obu czynników jednocześnie.

Tabela 9

Podział owoców i warzyw ze względu na zalecaną temperaturę i wilgotność podczas przewozu [7, 26]

	Grupa 1	**Grupa 2**	**Grupa 3**
	0-2 ºC/90-98%	**7 ºC/85-95%**	**13-18 ºC/85-95%**
Warzywa	Amarantus Anyż Boćwina Brokuł Brukiew Brukselka Burak Cebula, zielona Chrzan Cieciorka Cykoria Czosnek Endywia Eskarola Groszek, słodki Grzyby Kalafior Kapusta, pekińska Kapusta, włoska Karczoch Kukurydza Marchew	Bakłażan Bazylia Fasolka Fasolka szparagowa Kabaczek (odmiana letnia) Ogórek Pieprz	Cebula Dynia Imbir Kabaczek (zimowa odmiana) Pomidor, dojrzały Pomidor, dojrzały, zielony Ziemniak, późna odmiana Ziemniak, słodki Ziemniak, wczesna odmiana

Tabela 9 (c.d.)

Podział owoców i warzyw ze względu na zalecaną temperaturę i wilgotność podczas przewozu [7, 26]

	Mięta Pasternak Pietruszka, natka Por Rabarbar Rzepa Rzeżucha Rzodkiew Sałata Seler Szparagi Szpinak Zioła (z wyj. bazylii)		
Owoce	Agrest Awokado, dojrzałe Borówka amerykańska Brzoskwinia Figi Granat Gruszka Jabłko Jeżyna Kiwi Kokos Liczi Malina Morela Nektarynka Pigwa Porzeczka Śliwka Truskawka Winogrono Wiśnia	Ananas Arbuz Awokado, niedojrzałe Cytryna Grejfrut Limonka Mandarynka Oliwki Pomarańcza Żurawina	Banan Mango Melon Papaja

Należy zauważyć, że nie można bezpośrednio sterować wilgotnością w samym procesie transportowania, pomimo możliwości jej pomiaru. Wilgotność ustala się w sposób samorzutny w zależności od rozwiązania układu chłodniczego wewnątrz komory.

Wpływ składu gazowego atmosfery na owoce i warzywa

Zastosowanie kontrolowanej atmosfery w wielu przypadkach obniża intensywność oddychania owoców i warzyw [45]. Wysokie stężenie dwutlenku węgla i niskie tlenu może powodować u niektórych odmian wzrost intensywności oddychania. Przypuszcza się, że taką różnorodność zachowań w zależności od warunków powodują interakcje określonego stężenia gazów w atmosferze z temperaturą, uszkodzenia tkanek spowodowane zbyt wysokim stężeniem dwutlenku węgla powodujące intensyfikację oddychania. Jednak

wybrane owoce i warzywa przechowywane w optymalnych, dobranych w zależności od gatunku rośliny stężeniach gazów wykazują znaczny wzrost trwałości. Efekty zastosowania kontrolowanej atmosfery zależą od czynników takich jak: gatunek i odmiana rośliny, stężenie poszczególnych gazów, temperatura atmosfery, stopień dojrzałości produktów, warunki uprawy przed zbiorem, poziom etylenu wewnątrz kontenera, przygotowania przed magazynowaniem. Skutki obniżenia poziomu tlenu w atmosferze są następujące:

- obniżenie intensywności oddychania,
- redukcja utleniania substratów,
- opóźnienie dojrzewania,
- wydłużenie czasu przechowywania,
- opóźnienie rozkładu chlorofilu,
- redukcja stopnia produkcji etylenu.

Korzyści wynikające z zastosowania podwyższonego poziomu dwutlenku węgla to:

- opóźnienie inicjacji dojrzewania,
- inhibicja niektórych enzymatycznych reakcji,
- obniżenie produkcji niektórych substancji lotnych,
- zmiana metabolizmu niektórych kwasów organicznych,
- inhibicja rozkładu chlorofilu,
- zmiany w zawartości cukrów,
- wzrost efektu kiełkowania.

Współdziałanie kontrolowanej atmosfery i temperatury ma charakter złożony. Badania przeprowadzane na poszczególnych owocach i warzywach dowodzą, że optymalny skład atmosfery jest ściśle zależny od rodzaju rośliny i należy go ustalać dla każdego owocu i warzywa indywidualnie [75]. W tabeli 10 przedstawiono wpływ przechowywania w CA (Controlled Atmosphere, ang) na poziom zepsucia pomidorów zabranych na etapie niepełnej dojrzałości.

Tabela 10

Wpływ przechowywania w kontrolowanej atmosferze na poziom zepsucia pomidorów zebranych na etapie niepełnej dojrzałości [75]

Warunki przechowywania	Po przechowywaniu przez 6 tygodni w 13°C [%]	Dodatkowy tydzień w temperaturze 15-21°C [%]	Dodatkowe 2 tygodnie w temperaturze 15-21°C [%]
Powietrze	65,6	93,3	98,6
0% CO_2 + 3% O_2	2,2	4,4	16,7
3% CO_2 + 3% O_2	3,3	5,6	12,2
5% CO_2 + 3% O_2	5,0	9,4	13,9

Zmiana składu atmosfery istotnie ograniczyła psucie produktów natomiast jednocześnie zauważalna jest różnica pomiędzy poziomami tlenu, dwutlenku węgla i procentem zepsutych pomidorów, co oznacza, że poszczególne gatunki owoców i warzyw wymagają odrębnych warunków atmosferycznych.

2.5. Drgania i ich wpływ na tkanki żywe

2.5.1. Ogólna charakterystyka drgań

Ruchem drgającym lub inaczej drganiami nazywa się proces, w którym jakakolwiek wielkość fizyczna charakteryzująca ten proces doznaje kolejno wzrostu i zmniejszenia swej wartości w funkcji innej wielkości, którą jest zwykle czas. Zatem poprzez drgania mechaniczne rozumie się zmianę położenia masy (lub kilku mas) w stosunku do przyjętego układu odniesienia zachodzącego w czasie.

Wibracje to drgania zachodzące w układach mechanicznych, mające szkodliwy wpływ na człowieka, konstrukcje, maszyny itp.

Drgania mechaniczne charakteryzują wielkości takie jak: okres, amplituda, częstość kołowa.

Okres drgań T to czas trwania jednego cyklu drgań.

Okres mierzony jest w sekundach, a jego odwrotność to tzw. częstotliwość drgań w cyklach na sekundę:

$$f = \frac{1}{T} \tag{1.1}$$

gdzie: f – częstotliwość drgań [Hz],
T – okres drgań [s].

W literaturze europejskiej jednostkę cykl na sekundę nazywa się hercem [Hz].

Z kolei częstość kołową drgań wyraża się wzorem:

$$\omega = 2\pi f \tag{1.2}$$

gdzie: ω – częstość kołowa [rad/s],
f – częstotliwość drgań [Hz] [87].

Ruch drgający może składać się z jednej składowej o określonej częstotliwości, co ma miejsce np. w ruchu harmonicznym prostym. Przebieg takiego ruchu opisany jest funkcją:

$$x = x_0 \sin \omega t \tag{1.3}$$

gdzie: x – przemieszczenie [m],
x_0 – amplituda drgań [m],
ω – częstość kołowa [rad/s],
t – czas [s].

Prędkość w ruchu harmonicznym można wyznaczyć różniczkując powyższe równanie względem czasu:

$$\frac{dx}{dt} = x_0 \omega \cos \omega t \tag{1,4}$$

gdzie: x – przemieszczenie [m],
x_0 – amplituda drgania [m],
ω – częstość kołowa [rad/s],
t – czas [s].

Postępując podobnie, można wyznaczyć przyspieszenie:

$$\frac{dx}{dt} = -x_0 \omega^2 \sin \omega t \tag{1.5}$$

gdzie: x – przemieszczenie [m],
x_0 – amplituda drgania [m],
ω – częstość kołowa [rad/s],
t – czas [s]

Bezwzględną wartość x_o nazywa się amplitudą drgań. [24]

W celu analizy sygnału wibroakustycznego wyznacza się szereg charakterystyk oraz wielkości opisujących sygnał diagnostyczny. Można wyznaczyć charakterystyki:

– w dziedzinie czasu (korelacja własna i wzajemna),

– w dziedzinie amplitud (miary punktowe, rozkład gęstości prawdopodobieństwa amplitud),

– w dziedzinie częstotliwości (widmo amplitudowe, widmo gęstości mocy).

Do miar punktowych wymiarowych należą: amplituda średnia, skuteczna oraz szczytowa.

Wartość średnia danego sygnału w jednakowym stopniu uwzględnia każdą wartość amplitudy chwilowej sygnału drgań i zdefiniowana jest wyrażeniem:

$$x_{śr} = \frac{1}{T}\int_0^T |x| dt \tag{1.6}$$

gdzie: T – okres drgań [s].

Średnia wartość skuteczna x_{RMS} (z ang. Root Meane Square) najlepiej charakteryzuje drgania ponieważ uwzględnia zarówno historię czasową przebiegu oraz informację o wartości amplitudy [18]. Wielkość ta opisana jest wzorem:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T x^2(t) dt} \tag{1.7}$$

gdzie: T – okres drgań [s].

Dla przebiegów sinusoidalnych stosowane jest czasami pojęcie wartości szczytowej, opisanej wzorem [71]:

$$x_{szczyt} = \left[\frac{1}{T}\int_0^T |x(t)|^{\infty} dt\right]^{\infty} \tag{1.8}$$

gdzie: T – okres drgań [s].

Pomiędzy wartością średnia, skuteczną oraz wartością szczytową zachodzi związek:

$$x_{RMS} = F_t x_{śr} = \frac{1}{F_c} x_{szczyt} \tag{1.9}$$

gdzie: F_t – współczynnik kształtu,
F_c – współczynnik szczytu.

Dla przebiegów sinusoidalnych:

$$x_{RMS} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} x_{śr} = \frac{1}{\sqrt{2}} x_{szczyt} \tag{1.10}$$

A więc [24]:

$$F_t = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1{,}11 \tag{1.11}$$

$$F_c = \sqrt{2} = 1{,}41 \tag{1.12}$$

Charakterystyki częstotliwościowe przedstawiają amplitudę lub fazę sygnału w funkcji częstotliwości. Przebieg amplitudy w funkcji częstotliwości nazywa się widmem amplitudowym lub spektrum częstotliwości, które opisuje równanie:

$$A(K) = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \tag{1.13}$$

gdzie: $A(K)$ – widmo amplitudowe,
K – rząd harmonicznej (k=1,2,3…),
a_k, b_k – współczynniki rozwinięcia funkcji w szereg Fouriera.

Wyznaczyć można również widmo mocy wg zależności (1.12) oraz widmo gęstości mocy opisane zależnością (1.13):

$$P(K) = (A(K))^2 \tag{1.14}$$

$$G(K) = \frac{P(K)}{\Delta f} \tag{1.15}$$

gdzie: $A(k)$ – widmo aplitudowe,

$P(k)$ – widmo mocy,

$G(k)$ – widmo gęstości mocy,

Δf – szerokość pasma analizy,

K – rząd hamormiczniej (k=1,2,3…),

a_k, b_k – współczynniki rozwinięcia funkcji w szereg Fouriera.

W celu uzyskania infomacji diagnostycznej o badanym obiekcie można zastosować proste motody analizy (wyznaczenie miar punktowych) jak również metody zaawansowane z punktu widzenia przetwarzania sygnałów np. analizę czasowo-widmową [71].

2.5.2. Wpływ drgań na transportowane owoce i warzywa

W przypadku określania wpływu drgań na przewożone warzywa i owoce istotnym problemem jest lokalizacja badanego ładunku wewnątrz nadwozia. Charakter drgań jest zależny od miejsca ich występowania oraz ogólnego załadunku nadwozia.

Na wartość drgań wpływ ma również środek transportu oraz stan nawierzchni zatem trasa, jaką porusza się pojazd.

Ishikava i in dokonali pomiaru drgań wpływających na owoce wiśni zapakowanych i przewożonych:

– pojazdem drogowym na odległości ok 400 km w Japonii;

– samolotem z Japonii na Tajwan tj ok 3 godziny lotu;

– pojazdem drogowym na odległości ok 50 km na Tajwanie.

W przypadku transportu drogowego w Japonii najwyższą wartość PSD (gęstość widoma mocy) odnotowano dla częstotliwości 15 Hz. Dla transportu lotniczego wartość ta wynosiła 80 Hz, natomiast dla transportu drogowego w Tajwanie najwyższą wartość PSD odnotowano dla częstotliwości 2-3 Hz, a pozostałe szczyty pojawiały się lecz malały wraz ze wzrostem częstotliwości [30].

Shahbazi in badali wpływ symulowanych drgań na uszkodzenia owoców arbuza. W ramach wykonanych badań określony został udział poszczególnych przedziałów częstotliwości w zależności od umiejscowienia ładunku w nadwoziu. Najwyższy udział

procentowy miały drgania o częstotliwości mieszczącej się w przedziale 5-10 Hz w przedniej części pojazdu. W przypadku częstotliwości 10-15 Hz największy procentowy udział miały drgania w środkowej części pojazdu, dla 15-20 Hz oraz 20-25 Hz w przedniej części a dla wyższych niż 25Hz największy udział miały drgania w środkowej i tylnej części pojazdu [68].

Ponieważ występowanie drgań przyczynia się powstania uszkodzeń w owocach i warzywach, wielu autorów badało wpływ określonych częstotliwości występujących w różnych miejscach położenia ładunku na zniszczenie poddanego drganiom produktu.

Tabatabaekoloor i in. poddali drganiom, generowanym przez symulator drgań owoce kiwi a następnie mierzyli głębokość stłuczeń oraz ilość zepsutych owoców.

W pierwszym etapie badań określono wpływ drgań o częstotliwości 7,5 Hz oraz 13 Hz oraz przyśpieszeniu równym 0,3 oraz 0,7 g na głębokość stłuczenia owoców. Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że liczba niestłuczonych owoców maleje wraz ze wzrostem przyspieszenia drgań z 0,3 do 0,7g. Zatem wpływ większych przyspieszeń drgań jest negatywny. Nie ma istotnej różnicy pomiędzy wpływem drgań o częstotliwości 7,5 oraz 13 Hz dla przyspieszenia drgań równego 0,3g. Natomiast występuje istotna różnica w przypadku przyspieszeń równych 0,7g. Oznacza to, że wraz ze wzrostem przyspieszeń drgań wzrasta liczba uszkodzonych owoców. Z kolei w ramach drugiego etapu badań określano interakcje pomiędzy częstotliwością drgań, położeniem (wysokością w warstwie) oraz rozmiarem uszkodzonych owoców. Przy częstotliwości drgań równej 7,5 Hz jedyna różnica w ilości zepsutych owoców była zauważalna pomiędzy położeniem w warstwie na wysokości 11 i 34 cm natomiast w przypadku częstotliwości 13 Hz różnice dotyczyły każdego położenia, każdej warstwy. Zatem liczba zepsutych owoców wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości drgań oraz wysokością warstwy. Najbardziej uszkodzone były owoce położone najwyżej [72].

Ilość zepsutych owoców oraz zmiany parametrów związanych z jakością owoców takich jak: barwa, twardość, zawartość pektyn i celulozy pod wpływem drgań generowanych podczas transportu badał Zhou i in.[83]. Owoce gruszki pakowane w plastykowe pojemniki ułożone zostały w przedniej oraz tylnej części nadwozia i transportowane na dystansie równym 500 km. Temperatura przez cały czas trwania próby wynosiła 23^{o}C, a owoce zostały poddane drganiom, a następnie były przechowywane przez: 1, 9, 18, 27 oraz 36 dni. Po tym czasie wykonano analizy chemiczne. W doświadczeniach oznaczano również próbę kontrolną, zawierającą owoce gruszki nie poddane drganiom lecz przechowywane. W celu określenia drgań wpływających na owoce gruszki, przetworniki do pomiaru drgań

umieszczono w dwóch miejscach: na podłożu w tylnej oraz przedniej części pojazdu. Badania prowadzono na pięciu rodzajach dróg. Powtarzające się częstotliwości podczas transportu w zależności od rodzaju drogi zawierają się w przedziale 2,5-4 Hz oraz 15-40 Hz. Uzyskane wyniki wskazują na największe uszkodzenia wśród owoców transportowanych w górnej skrzyni położonej w przedniej części pojazdu. Wraz z czasem przechowywania twardość owoców gruszki malała, jednak największa twardością po tym czasie charakteryzowały się owoce z próby kontrolnej, nie poddanej drganiom. Największym spadkiem twardości charakteryzowały się owoce transportowane w tylnej części pojazdu.

Podobne wyniki uzyskano dla pozostałych parametrów badanych.

Zmiany parametrów związanych z jakością owoców truskawki pod wpływem drgań badali Kojima i in. [40]. W owocach poddanych drganiom oznaczano zmiany takich parametrów jak: kwas askorbinowy oraz zawartość cukrów. Badania przeprowadzono dwuetapowo, mierząc w pierwszej kolejności częstotliwości drgań w różnych miejscach nadwozia. Badania zasadnicze wpływu drgań na owoce truskawki wykonano na symulatorze naśladującym drgania zarejestrowane uprzednio w warunkach rzeczywistych. Badania wykonano również dla innych rodzajów dróg. Częstotliwości powtarzające się niezależnie od rodzaju drogi mieściły się w zakresie 0-50 Hz. Owoce podzielono na dwie partie: przechowywane przez 12 h oraz poddane drganiom przez 12 h na symulatorze drgań. Z badań tych wynika, iż zawartość cukrów w owocach przed poddaniem ich drganiom była najwyższa. Owoce przechowywane charakteryzowały się niższą zawartością cukrów, a najniższą zawartość miały owoce poddane drganiom. Podobnie w przypadku kwasu askorbinowego.

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMATYKI BADAWCZEJ

3.1. Przesłanki naukowo-badawcze

Transport owoców i warzyw w stanie niepełnej dojrzałości konsumpcyjnej jest zjawiskiem dość częstym wynikającym z konieczności długiego transportu na dalekich dystansach, przewożenia egzotycznych odmian owoców w dalekich obszarów do miejsc ich spożycia. Taka praktyka ma na celu zapobiec zmianom zachodzącym w owocach i warzywach w kierunku niekorzystnym, związanym z pogorszeniem jakości, a nawet zepsuciem, co generuje straty finansowe związane z samym etapem przewożenia owoców i warzyw. Transport owoców i warzyw w stanie niedojrzałym w pewnym stopniu zapobiega tym niekorzystnym skutkom. Warzywa i owoce, które trafiają do rejonu konsumpcji często poddane są wymuszonemu przyśpieszeniu dojrzewania na skutek poddania ich działaniu etylenu, co umożliwia osiągnięcie przez nich pełnego stopnia dojrzałości już po kilku godzinach. Taka praktyka może jednak niekorzystnie wpływać na pewne cechy sensoryczne i tym samym obniżać jakość konsumencką produktów.

Owoce i warzywa stanowią trudny przypadek ładunku do przewożenia ponieważ są tkanką żywą, w której w sposób ciągły zachodzą procesy życiowe. Zahamowanie tych przemian jest niemożliwe, natomiast możliwe jest spowolnienie ich przebiegu. Jest to główny cel przechowywania owoców i warzyw stąd konieczna jest stała kontrola parametrów wpływających na te zmiany. Parametry te dotyczą otoczenia, w którym znajdują się owoce i warzywa i są to m in: temperatura, wilgotność oraz skład gazowy otoczenia. Podczas przechowywania kontroluje się te parametry i utrzymuje na pewnym poziomie, optymalnym dla danego produktu. Dzięki temu możliwe jest wydłużenie czasu przechowywania lub przedłużenie trwałości oraz zachowanie najwyższej jakości przechowywanych owoców i warzyw. Transport owoców i warzyw jest mobilną formą przechowywania. Kontrola tych parametrów ma również tutaj istotne znaczenie, co wynika z faktu, że produkty te transportowane są również na duże odległości, a rodzaj transportu ulega zmianom i w przypadku przewożenia owoców i warzyw z odległych miejsc jest to często transport mieszany np. transport drogą morską a następnie drogowy. Jednak najczęstszym rodzajem transportu jest transport drogowy, gdyż nawet przewożenie owoców

i warzyw drogą morską lub kolejową ostatecznie wymaga zastosowania transportu drogowego, który daje możliwość dostarczenia owoców i warzyw bezpośrednio do magazynów czy innych miejsc dystrybucji. Podczas transportu drogowego owoce i warzywa składowane są najczęściej w nadwoziu chłodniczym, wewnątrz którego kontroluje się temperaturę oraz wilgotność. Coraz częściej stosuje się również nadwozia przystosowane do transportu w kontrolowanych atmosferach, wewnątrz których steruje się składem gazowym. Taka forma transportu jest jednak kosztowna w związku z czym należy dobrze poznać wpływ pozostałych czynników, które mają znaczenie dla jakości i trwałości przewożonego ładunku.

Ponieważ podczas transportu owoców i warzyw należy zachować te same warunki, co podczas przechowywania, konieczna jest kontrola tych samych parametrów, które wpływają na przechowywane owoce i warzywa. Jednak podczas transportu występuje kolejny czynnik jakim są drgania, które mają charakter przypadkowy. Występowanie drgań niewątpliwie przyczynia się do powstania uszkodzeń w przewożonych produktach. Drgania, poprzez wywoływanie stałych uderzeń oraz ocierania się o siebie sąsiednio położonych owoców i warzyw doprowadzają do pojawienia się obtłuczeń na powierzchni owoców i warzyw, a nawet wypływu soków. To z kolei powoduje zepsucie przewożonego ładunku na skutek gnicia. Również ujemnie wpływają na jakość owoców i warzyw, które tracąc swój pierwotny kształt nie nadają się do bezpośredniej sprzedaży, a często nawet do dalszego przerobu.

Znane są częstotliwości drgań, które mogą generować takie straty, a tym samym miejsca w nadwoziu, w których takie drgania występują. Zatem oszacowanie wpływu drgań na zepsucie przewożonych owoców i warzyw jest możliwe i często poruszane w literaturze światowej. Liczne badania ukazują negatywny wpływ drgań na transportowane owoce i warzywa, na których w efekcie pojawiają się uszkodzenia w postaci wgnieceń, otarć i miejsc gdzie rozpoczyna się proces gnilny. Istnieje jednak niedobór informacji na temat wpływu drgań na niedojrzałe owoce i warzywa, które często w takim właśnie stanie są transportowane. Dane w literaturze dotyczą najczęściej strat ilościowych wśród dojrzałych produktów, oszacowanych po procesie transportowania. Natomiast informacje dotyczące wpływu drgań na przemiany fizykochemiczne związane z dojrzewaniem są niewystarczające. Z kolei, jeżeli drgania przyczyniają się do zepsucia produktów podczas transportowania, można przypuszczać, że ich wpływ na przemiany w transportowanych produktach jest równie istotny jak wpływ pozostałych czynników (temperatura, wilgotność). Wiedza dotycząca wpływu konkretnych częstotliwości drgań na szybkość dojrzewania

owoców i warzyw może mieć istotne znaczenie w określeniu terminu zbioru tych produktów zależnie od miejsca ich dystrybucji. To z kolei mogłoby przyczynić się do obniżenia strat podczas transportu owoców i warzyw.

Wykonana w pracy analiza stanu wiedzy na temat wpływ drgań na owoce jak i powyższe rozważania pozwalają na wysunięcie następujących stwierdzeń:

- Dotychczas w literaturze światowej nie podjęto tematu wpływu drgań na owoce i warzywa w stanie niedojrzałym, a ewentualne badania dotyczą głownie wpływu drgań na zmiany właściwości fizykochemicznych owoców i warzyw, które wykazywały pełną dojrzałość konsumpcyjną.
- Budowa odpowiedniego stanowiska do generowania drgań o różnych poziomach energii dostarczanej do produktu wydaje się zapewnić wysoką wiarygodność wyników badań wpływu drgań na owoce i warzywa.
- Konieczne wydaje się określenie poziomu drgań, które powodują zmiany fizykochemiczne w owocach i warzywach sugerujące przyśpieszenie ich dojrzewania i porównanie wyników z owocami, w których proces ten zachodzi w warunkach podobnych lecz bez dodatkowego czynnika jakim są drgania.

Omówione problemy pozwalają na sformułowanie następującej tezy:

Oddziaływania mechaniczne wpływają na wyróżniki charakteryzujące stan biologiczny nie w pełni dojrzałych owoców i warzyw.

3.2. Cele i zadania badawcze

Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy można stwierdzić, że istnieją problemy naukowe związane z zależnością szybkości dojrzewania owoców od drgań o różnych poziomach częstotliwości. Zatem analiza wyników przeprowadzonych badań pozwoliła na sformułowanie celu ogólnego oraz celów szczegółowych problemu podjętego w niniejszej pracy o następującej treści:

Cel ogólny:

Określenie wpływu oddziaływań mechanicznych na zmiany parametrów fizykochemicznych, wybranych owoców, związanych z procesem dojrzewania.

Cele szczegółowe:

1. *Analiza energii drgań występujących podczas transportu drogowego nadwoziem chłodniczym w warunkach rzeczywistych, przeznaczonym do transportu żywności*
2. *Odwzorowanie energii drgań występujących w warunkach rzeczywistych na symulatorze drgań*
3. *Określenie zmian wybranych parametrów fizykochemicznych owoców poddanych drganiom na stanowisku badawczym*

Badania przeprowadzono na owocach borówki amerykańskiej, winogrona białego oraz pomidora. Uzasadnienie wyboru materiału badawczego przedstawiono w rozdziale dotyczącym badań eksperymentalnych wpływu drgań na wybrane owoce.

W ramach realizacji pracy w celu osiągnięcia celów szczegółowych oraz celu ogólnego, niezbędne do wykonania zadania są następujące:

1. Pomiar drgań występujących podczas rzeczywistego transportu drogowego żywności i wyznaczenie energii dostarczanej do transportowanych produktów.
2. Konstrukcja stanowiska do generowania drgań o różnej częstotliwości.
3. Oznaczenie zmian parametrów fizykochemicznych owoców pod wpływem wybranych częstotliwości drgań w różnym czasie.
4. Analiza zmian parametrów fizykochemicznych owoców na skutek dostarczonej energii pochodzącej z drgań.

Powyższe zadania realizowano w sposób chronologiczny.

4. METODYKA BADAŃ

4.1. Materiał badawczy

Owocami użytymi do badań były: borówka amerykańska, winogrono białe oraz owoc pomidora.

Wszystkie surowce wykorzystane do badań pochodziły z upraw regionalnych, a pozyskane były w stanie niepełnej dojrzałości konsumpcyjnej:

- borówka amerykańska odmiany Bluecrop, o owocach bladozielonych i twardych;
- winogrono białe, odmiany Ontario, o owocach twardych i grubej skórce;
- pomidory odmiany Hardy, zapalone, wykazujące zmianę zabarwienia na żółtą i różową na ok 1/3 powierzchni.

4.2. Przygotowanie materiału do badań

Owoce pakowane były następująco:

- borówka amerykańska w pojemnikach z tworzywa sztucznego o wymiarach 145x130x85 mm po 6 sztuk w każdej skrzyni o wymiarach 400x300x150 mm. W każdym pojemniku znajdowało się po 500 g borówek więc obciążenie całej skrzyni wynosiło 3 kg;
- winogrono białe w perforowanych workach, owoce w kiściach, po 500 g w każdym worku. Na skrzynię o wymiarach 400x300x150 mm, przypadało 6 worków, co daje łączne obciążenie skrzyni równe 3 kg;
- pomidory w skrzyniach o wymiarach 400x300x150 mm, po 3 kg (tj 20 sztuk) w każdej, ułożone luźno.

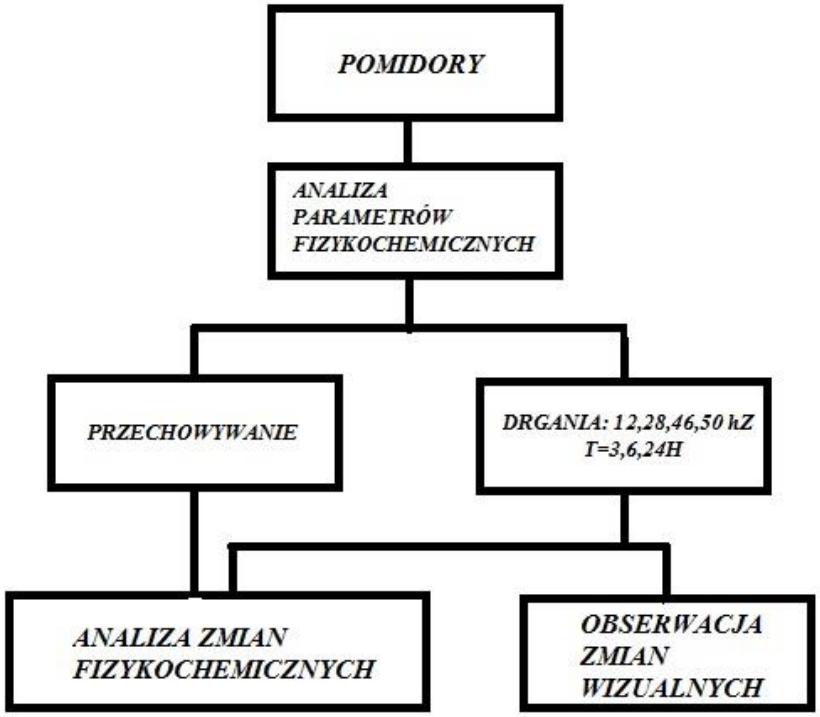
Tak przygotowany surowiec poddany był oddziaływaniom mechanicznym na stanowisku badawczym.

4.3. Układ doświadczeń

Badania eksperymentalne zrealizowano w dwóch etapach. W każdym etapie utrzymywano stałą temperaturę zależną od rodzaju badanego surowca:

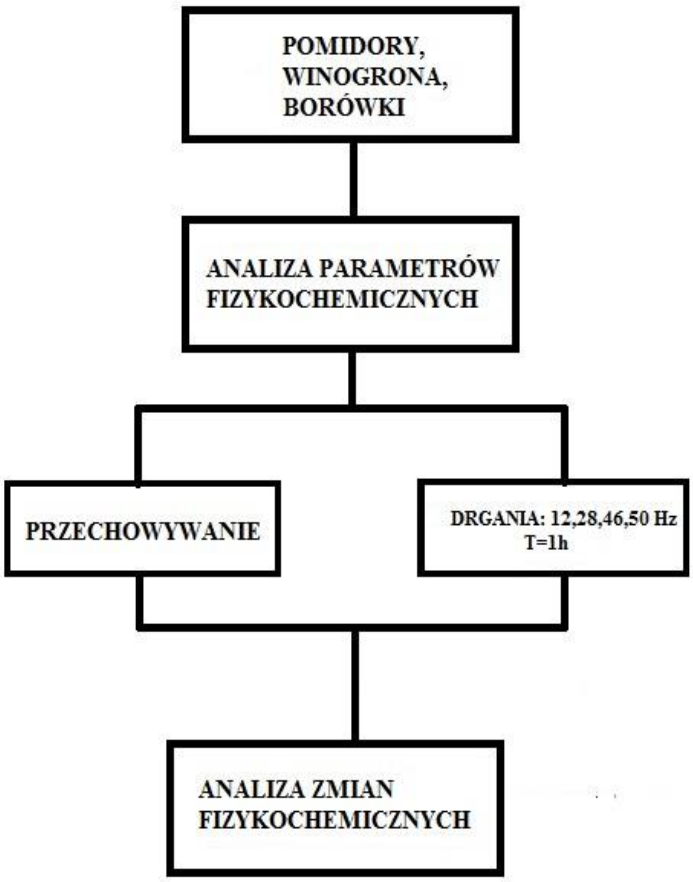
- dla owoców winogrona i borówki – 5-8^{o}C
- dla pomidorów – 13-15^{o}C

W pierwszym etapie badań owoce pomidora poddano drganiom o częstotliwościach:12, 28, 46 i 50 Hz przez 3, 6 i 24 godziny. Owoce umieszczono w pojedynczej skrzyni, która ustawiona została na stanowisku badawczym. Układ wykonanych doświadczeń został przedstawiony na rysunku 2.



Rys.2. Schemat pierwszego etapu wykonanych badań.

W drugim etapie doświadczeń drganiom poddano pomidory, winogrona i borówki. Zastosowano te same częstotliwości: 12, 28, 46 oraz 50 Hz i na podstawie doświadczeń z etapu pierwszego, ograniczono czas oddziaływań do 1 godziny. Układ wykonanych doświadczeń został przedstawiony na rys. 3.



Rys.3. Schemat drugiego etapu wykonanych badań.

Przeprowadzono analizę zmian fizykochemicznych owoców (wg metodologii podanej w punkcie 4.4):

- bezpośrednio po zbiorze;
- nie poddanych drganiom i przechowywanych przez 7 dni;
- poddanych drganiom i przechowywanych przez 7 dni.

4.4. Parametry oceny zmian fizykochemicznych

Wszystkie owoce zostały poddane analizom laboratoryjnym w celu określenia zmian fizykochemicznych, jakie w nich zaszły pod wpływem drgań. W owocach oznaczano: zawartość ekstraktu ogólnego, pH, zawartość kwasu askorbinowego, zawartość cukrów ogółem oraz cukrów redukujących jak również w przypadku pomidorów jędrność.

4.4.1. Zawartość ekstraktu ogólnego

Zmiany zawartości ekstraktu oznaczano zgodnie z PN-90/A-75101/02 [58] za pomocą refraktometru Abbego poprzez wyciśnięcie 2-3 kropel soku z owocu na pryzmat refraktometru i odczytanie ze skali procentowej zawartości ekstraktu. Ponieważ temperatura badanych owoców była niższa niż 20^{o}C, skorygowano odczyt w refraktometru poprzez odjęcie 0,0651 na każdy 1^{o}C.

W przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu jednej godziny, oznaczanie ekstraktu wykonano po 2 razy dla każdego pomidora, co razem daje 40 oznaczeń dla całej partii badanych pomidorów.

W przypadku owoców winogrona wybrano po 5 przypadkowych owoców z każdego worka, wykonano oznaczenie ekstraktu dwukrotnie dla każdego owocu, co daje łącznie 60 pomiarów. W przypadku borówek wybrano po ok 10 sztuk przypadkowych owoców z każdego pojemnika i z nich pobrano sok. Łączenie wykonano 60 oznaczeń dla borówki.

Z kolei dla pomidorów poddanych drganiom przez okres 24 godzin, oznaczenie ekstraktu wykonano po 3 razy dla jednego pomidora, co łącznie daje 6 oznaczeń dla każdej próby.

4.4.2. Poziom pH

Zmiany pH mierzone były przy użyciu pehametru C-411 firmy Elmetron przez zanurzenie elektrody w soku wyciśniętym z owoców. W przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu jednej godziny, oznaczanie pH wykonano po 2 razy dla każdego pomidora co razem daje 40 oznaczeń dla całej partii badanych pomidorów. W przypadku owoców winogrona wybrano po 5 przypadkowych owoców z każdego worka, wykonano oznaczenie pH dwukrotnie dla każdego owocu, co daje łącznie 60 pomiarów. W przypadku borówek wybrano po ok 10 sztuk przypadkowych owoców z każdego pojemnika i z nich pobrano sok. Łącznie wykonano 60 oznaczeń dla borówki. Z kolei dla pomidorów poddanych drganiom przez okres 24 godzin, oznaczenie pH wykonano po 3 razy dla jednego pomidora, co łącznie daje 6 oznaczeń dla każdej próby. Oznaczenia przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 1132-1999 [60].

4.4.3. Zawartość kwasu askorbinowego przy pomocy metody miareczkowej

Zawartość kwasu askorbinowego oznaczano metodą miareczkową Tillmansa przy użyciu 2,6- dichloroindofenolu. Metoda polega na ekstrakcji kwasu askorbinowego kwasem szczawiowym i utlenieniu w środowisku kwaśnym kwasu askorbinowego do dehydroaskorbinowego za pomocą barwnika 2,6-dichlorofenoloindofenolu. Roztwór kwasu askorbinowego miareczkuje się tymże barwnikiem aż do momentu zmiany zabarwienia na jasno różowy. Sok borówki amerykańskiej charakteryzuje się zbliżonym zabarwieniem stąd niemożliwe byłoby uchwycenie momentu zmiany barwy miareczkowanego roztworu. Zatem oznaczenie to wykonano tylko dla winogron oraz pomidorów.

Do przygotowania prób należało odważyć ok 10 g rozdrobnionego produktu.

W przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu jednej godziny, oznaczanie kwasu askorbinowego wykonano po 2 razy dla każdego pomidora, co razem daje 40 oznaczeń dla całej partii badanych pomidorów.

W przypadku owoców winogrona wybrano po 70g przypadkowych owoców z każdego worka, co daje łącznie 42 pomiary.

Z kolei dla pomidorów poddanych drganiom przez okres 24 godzin, oznaczenie kwasu askorbinowego wykonano po 3 razy dla jednego pomidora co łącznie daje 6 oznaczeń dla każdej próby. Oznaczenia przeprowadzono zgodnie w normą PN-A-04019 [59].

4.4.4. Zawartość kwasu askorbinowego przy pomocy metody spektrofotometrycznej

Dla owoców borówki amerykańskiej nie było możliwe przeprowadzenie oznaczenia metodą miareczkową, a zatem zastosowano metodę spektrofotometryczną. Metoda ta polega na ekstrakcji kwasu askorbinowego z próbki badanej z zastosowaniem kwasu szczawiowego oraz utlenieniu kwasu askorbinowego w środowisku kwaśnym do kwasu dehydroksyaskorbinowego za pomocą 2,6-dichlorofenoloindofenolu, następnie ekstrakcji nadmiaru barwnika za pomocą ksylenu. Nadmiar barwnika oznaczano spektrofotometrycznie przy długości fali λ= 500 nm. Do przygotowania prób należało odważyć ok 10 g rozdrobnionego produktu. Do badań wybrano po 70g przypadkowych owoców borówki z każdego z 6 opakowań, co daje łącznie 42 pomiary.

Oznaczenie przeprowadzono zgodnie z normą PN-A-04019 [59].

4.4.5. Cukry redukujące oraz cukry ogółem

Zawartość cukrów redukujących oznaczano według testu G-26 przy użyciu dinitrofenolu, który w zasadowym środowisku oraz wysokiej temperaturze redukowany jest do barwnego produktu. Stężenie tego produktu oznacza się mierząc absorbancję przy długości fali λ= 600 nm. Z kolei oznaczenie cukrów ogółem wymaga uprzedniej hydrolizy sacharozy do monosacharydów. Do przygotowania prób odważono ok 10 g rozdrobnionego produktu, z którego przygotowano ekstrakt, a przesącz pobierano do oznaczeń zarówno cukrów ogółem jak i redukujących.

W przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu jednej godziny, oznaczanie cukrów wykonano po 2 razy dla każdego pomidora co razem daje 40 oznaczeń zarówno cukrów ogółem jak i cukrów redukujących dla całej partii badanych pomidorów.

W przypadku owoców winogrona wybrano po 70g przypadkowych owoców z każdego worka, co daje łącznie 42 pomiary.

Z kolei dla pomidorów poddanych drganiom przez okres 24 godzin, oznaczenie cukrów wykonano po 3 razy dla jednego pomidora co łącznie daje 6 oznaczeń dla każdej próby. Oznaczenia przeprowadzono zgodnie metodyką opracowaną przez Talburt i Smith [73].

4.4.6. Twardość

Twardość oznaczano tylko dla owoców pomidora. Twardość wyrażoną jako siła potrzebna do zagłębienia trzpienia o średnicy 11 mm, mierzono przy użyciu ręcznego jędrnościomierza FT-011. Trzpień wbijano pod kątem 90^o do powierzchni owocu aż do całkowitego zanurzenia trzpienia. Wynik odczytano ze skali w kg, a następnie przeliczono na N:

$$G = g \cdot 9{,}81 \tag{1.16}$$

gdzie: G – twardość owocu [N],

g – wynik odczytany ze skali [kg].

Oznaczenie twardości pomidorów wykonano po 3 razy dla jednego pomidora, co łącznie daje 6 oznaczeń dla każdej próby.

4.4.7. Analiza wizualna szybkości psucia się

Analizę przeprowadzono tylko dla pomidorów, które zostały poddane drganiom przez 24 godziny. W celu określenia wpływu drgań na szybkość psucia się podczas przechowywania uprzednio poddanych drganiom pomidorów odłożono po 3 sztuki pomidorów z każdej pobranej próby i obserwowano zmiany wizualne po 14 dniach przechowywania w temperaturze 13-15^{o}C.

4.4.8. Analiza statystyczna

Do ogólnej charakterystyki badanych cech fizykochemicznych zastosowano metody statystyki opisowej zawarte w programie Statistica 12. Dla oznaczonych wartości obliczono wartość średnią i odchylenie standardowe.

W celu określenia istotności statystycznej wpływu energii drgań na badane cechy fizykochemiczne pomidorów przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA. W tym celu zweryfikowano założenia o normalności rozkładu zmiennych oraz jednorodności wariancji, sprawdzonej testem Levene'a. Istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi weryfikowano testem Tukeya na poziomie istotności $p = 0,05$.

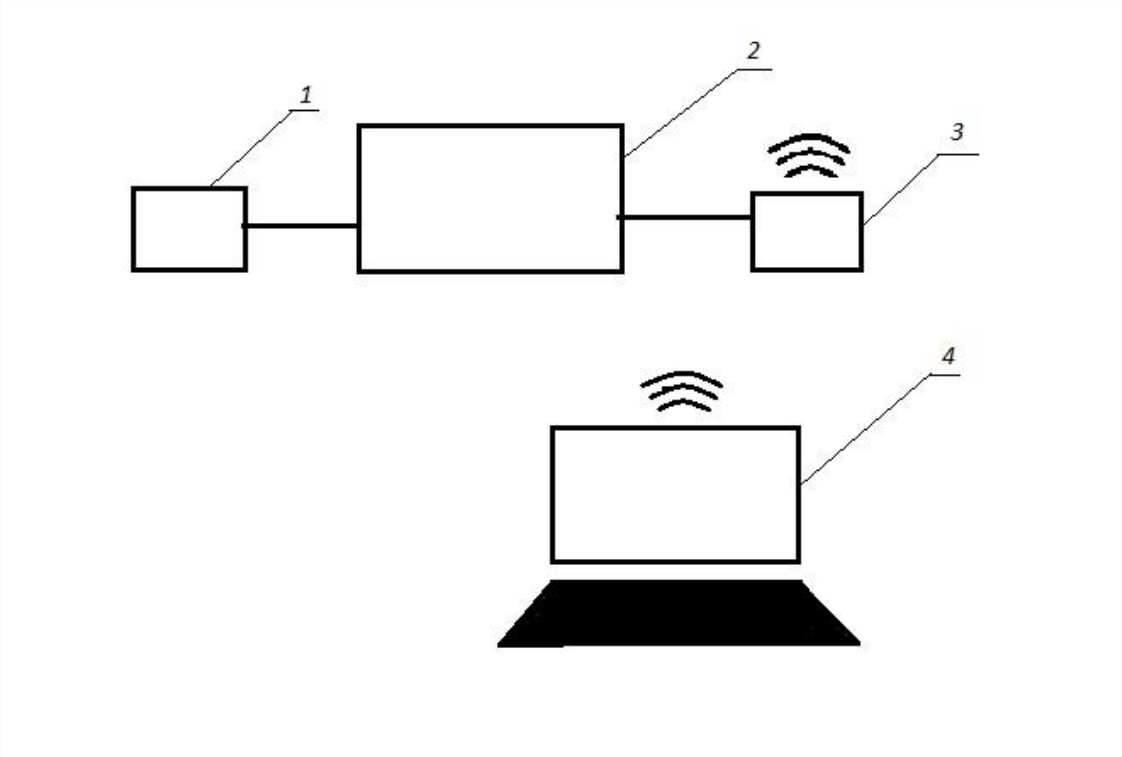
W celu ustalenia statystycznie istotnego równania wyrażającego wpływ energii drgań na badane cechy fizykochemiczne pomidorów zastosowano metodę regresji liniowej lub wielomianowej, o wyborze której decydowała wartość współczynnika determinacji R^2 będącego miarą jakości dopasowania modelu.

Dla określenia podobieństwa wpływu energii drgań na cechy fizykochemiczne wszystkich badanych surowców zastosowano metodę regresji liniowej, a następnie porównano parametry regresji badanych cech fizykochemicznych. Aby ujednolicić badane zmienne dla wszystkich surowców przeprowadzono standaryzację poszczególnych zmiennych, której celem było doprowadzenie zmiennych do porównywalności poprzez pozbawienie mian uzyskanych wyników i ujednolicenie ich rzędów wielkości.

4.5. Ocena obciążeń mechanicznych

4.5.1. Aparatura pomiarowa

Do pomiaru częstotliwości oraz amplitud drgań występujących podczas transportu drogowego zastosowano układ pomiarowy, którego schemat przedstawiono na rysunku 4



Rys.4. Schemat stanowiska do pomiaru drgań: 1 – trójosiowy przetwornik drgań, typ 4322, 2 – rejestrator drgań LAN-XI Notar, 3 – router, 4 – komputer przenośny wraz z programem Pulse.

Układ pomiarowy składał się trójosiowego przetwornika drgań typ 4322, połączonego z rejestratorem drgań LAN-XI Notar, zasilanym bateryjnie z możliwością zapisu danych na karcie pamięci oraz routerem wi-fi. Uruchomienie rejestratora możliwe było za pomocą komputera zdalnie poprzez sieć bezprzewodową wi-fi. Komputer posiadał oprogramowanie do akwizycji danych, systemem PULSE. Użyto przetwornika, rejestratora danych oraz programu komputerowego marki Brüel&Kjær. Szczegółowe dane dotyczące przetwornika oraz rejestratora umieszczono w załącznikach do pracy.

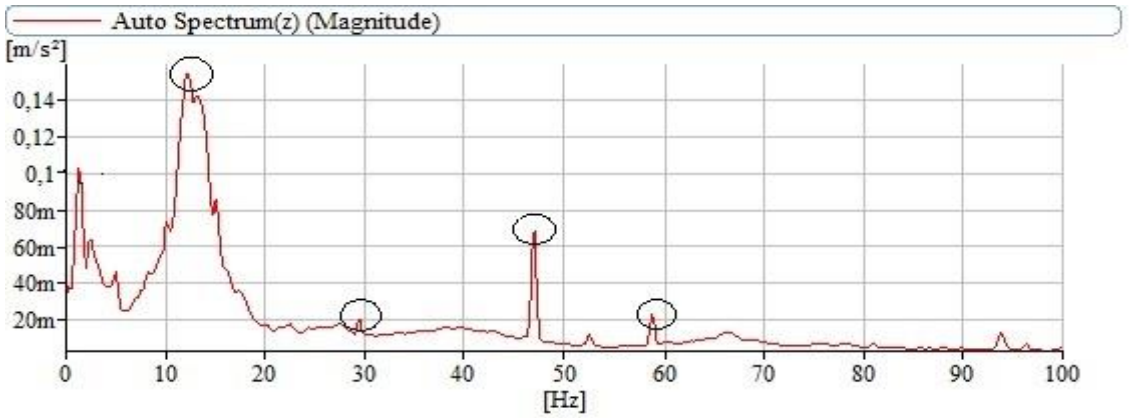
4.5.2. Warunki i sposób pomiarów obciążeń mechanicznych podczas rzeczywistego transportu

W ramach badań wstępnych dokonano pomiaru rzeczywistych drgań podczas przewozu pieczarek naczepą chłodniczą marki Lambert na trasie Polska - Niemcy, wynoszącej ok 500 km. Naczepa wypełniona była euro paletami z ustawionymi skrzyniami wypełnionymi pieczarkami po 3 kg w każdej skrzyni. Pieczarki pakowane były luzem. W nadwoziu panowała temperatura chłodnicza ok 5^{o}C.

Czujnik drgań zainstalowano w przedniej części naczepy na dnie najwyżej umieszczonej skrzyni. Po wypełnieniu naczepy ładunkiem uruchomiono rejestrator drgań w celu rozpoczęcia zapisu. Zapis realizowany był przez kolejne 7 godzin, wyznaczonych przez czas pracy baterii rejestratora. Program komputerowy do zapisu drgań ustawiono tak, aby zapis podzielony został na 7 godzinnych odcinków, dzięki czemu uzyskano 7 różnych widm pozwalających na wykluczenie tych godzin zapisu, w trakcie których pojazd poddany był załadunkowi i nie wyruszył z miejsca załadunku lub stał na trasie. Zapis podzielony na odcinki pozwolił tez na zabezpieczenie danych, które mogły ulec utracie na skutek nagłego przerwania zapisu spowodowanego rozładowaniem baterii rejestratora. Dane zapisane zostały na karcie pamięci, umieszczonej w rejestratorze, a ich odczyt możliwy był po powrocie środka transportu do miejsca rozpoczęcia pomiarów.

4.5.3. Wyniki pomiarów obciążeń mechanicznych podczas rzeczywistego transportu

Zrealizowano siedem godzinnych zapisów. Na rysunku 5 przedstawiono jedno z siedmiu widm drgań zarejestrowanych podczas transportu pieczarek.



Rys.5. Widmo drgań zarejestrowane podczas transportu w warunkach rzeczywistych.

Widma przedstawiają zależność między częstotliwościami drgań a amplitudami przyspieszeń. Analiza widm drgań pozwala stwierdzić występowanie czterech charakterystycznych, dominujących częstotliwości: 12 Hz, 28 Hz, 46 Hz oraz 58 Hz.

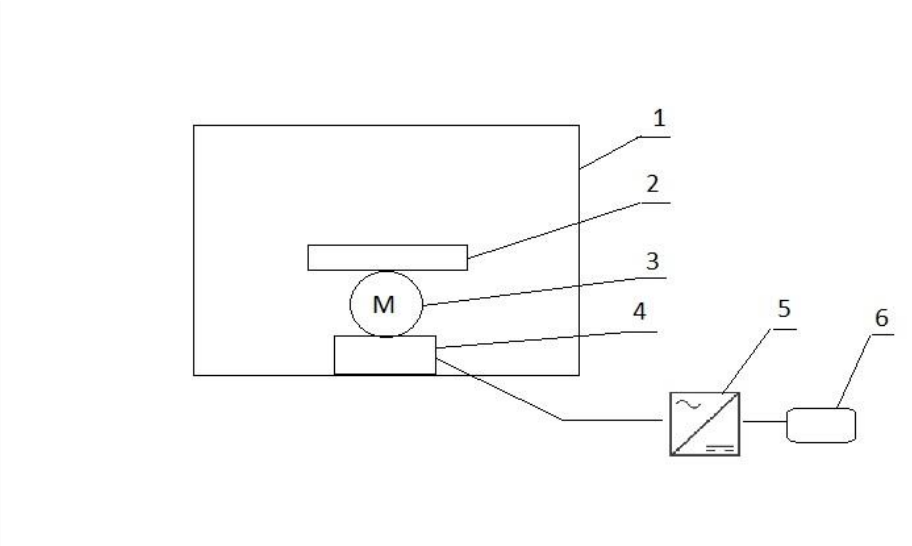
Z kolei z wykonanych obliczeń dotyczących ilości energii jednostkowej dostarczonej w ciągu 1 godziny transportu do produktu na podstawie powyższego widma, energia ta wynosi ok 7,1 J/kg.

4.5.4. Warunki i sposób pomiarów obciążeńm mechanicznych w warunkach doświadczalnych

Badania eksperymentalne prowadzono na stanowisku badawczym składającym się z symulatora drgań umieszczonego w stacjonarnym nadwoziu samochodowym z możliwością regulacji temperatury. Symulator drgań umożliwił zmianę częstotliwości w zakresie od 5 Hz do 50 Hz. Do badań zastosowano częstotliwości: 12, 28, 46 oraz 50 Hz, które wyznaczono w oparciu o badania wstępne. Badania te obejmowały analizę widmową drgań występujących podczas rzeczywistego transportu.

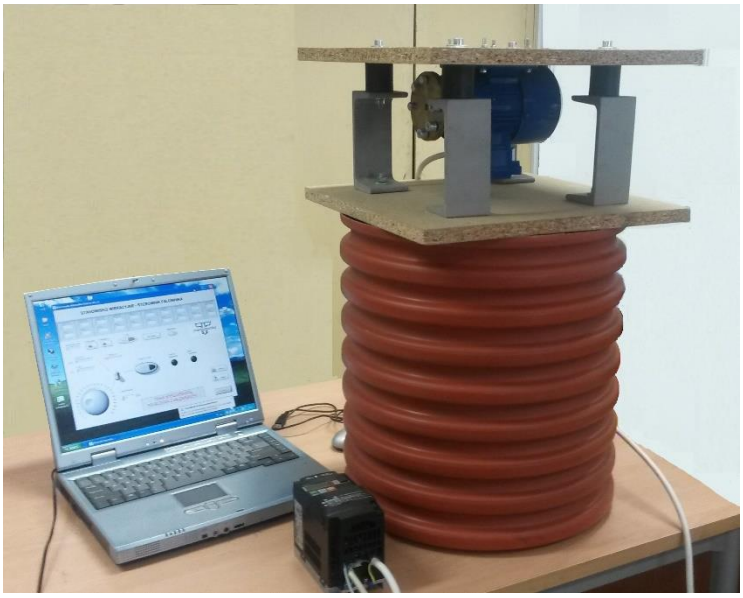
Symulator drgań składał się z dwóch zasadniczych elementów: instalacji wymuszającej drgania - silnika sterowanego falownikiem, elementów elastycznego zawieszenia i wibroizolacji oraz zintegrowanego układu sterowania parametrami pracy stanowiska. Kontrola pracy stanowiska oraz bieżący nadzór nad poprawnością wysterowanych poszczególnych elementów wykonawczych realizowany był przez monitoring wielkości mechanicznych (przyspieszeń drgań) w pętli sprzężenia zwrotnego kontrolowanej przez komputer klasy PC.

Ogólny schemat stanowiska przedstawia rys.6.



Rys.6. Schemat stanowiska badawczego do symulacji drgań: 1 – stacjonarne nadwozie z regulowaną temperaturą, 2 - skrzynia lub pojemnik na surowce wraz z elementami mocującymi, 3 – silnik 0,09kW; 2800 obr/min; 230/400V; 0,58/0,33A; IMB3, 4 - elementy zawieszenia i wibroizolacji, 5 – falownik Omron MX2-AB 002-E (SJ200-002NFEF2), 6 - komputer z oprogramowaniem.

Rys.7. przedstawia część stanowiska badawczego do symulacji drgań wraz z oprogramowaniem do sterowania.



Rys.7. Zdjęcie części stanowiska badawczego.

Oprogramowanie komputerowe przygotowane przez firmę Mechatronika Wyposażenie Dydaktyczne sp.z.o.o., przeznaczone zostało do sterowania falownikiem firmy Omron MX2. Falownik ten połączony został ze stanowiskiem badawczym przeznaczonym

do odwzorowania warunków narażenia na drgania transportowanych produktów. Oprogramowanie służyło ustaleniu wielkości częstotliwości drgań oraz zaplanowaniu określonych częstotliwości drgań na określony czas pracy falownika, co umożliwiało utrzymanie podczas przeprowadzonych prób nastawionych częstotliwości drgań przenoszonych na pojemnik z próbą. W badaniach stosowano typowy pojemnik o wymiarach 400x300x150 mm, wykonany z tworzywa sztucznego. W każdej przeprowadzonej próbie wypełniano pojemnik masą 3 kg badanego produktu. W przypadku gdy doświadczenie wymagało pobierania prób w trakcie drgań, masę pojemnika uzupełniano do 3 kg.

Widok okna programu do regulacji częstotliwości drgań przedstawiono na rys.8.



Rys.8. Widok okna oprogramowania dla stałej określonej częstotliwości drgań.

4.5.5. Sposób analizy wyników

W wyniku zapisu drgań podczas jazdy oraz w warunkach laboratoryjnych uzyskano widma drgań, które przedstawiają zależność amplitud przyspieszeń od częstotliwości drgań. W celu obliczenia energii dostarczonej do ładunku w pierwszej kolejności należy wyznaczyć amplitudy przemieszczeń. Przeliczenie amplitud przyśpieszeń na amplitudy przemieszczeń zrealizowano korzystając ze wzoru:.

$$A = \frac{a}{\omega^2} = \frac{a}{4\pi^2 f^2} \tag{1.17}$$

gdzie: A – amplituda przemieszczenia [m],
a – amplituda przyspieszenia [m/s^2],
ω – częstość kątowa [rad/s],
f - częstotliwość drgań [Hz].

Obliczono energię dostarczoną do owoców w celu umożliwienia porównania zmian które zaszły w poddanych drganiom owocach w różnym czasie..

Energię dostarczoną do produktu poddanego drganiom wyznaczono zgodnie z założeniami zasady zachowania energii, która definiuje energię całkowitą jako sumę energii kinetycznej oraz potencjalnej, opisanej wzorem:

$$E_c = E_k + E_p \tag{1.18}$$

gdzie: E_c – energia całkowita [J],
E_k – energia kinetyczna [J],
E_p – energia potencjalna [J].

Traktując stanowisko badawcze jako przykład konstrukcji generującej drgania harmoniczne, energia potencjalna wyrażona jest wzorem:

$$E_p(t) = \frac{1}{2} k x^2(t) = \frac{1}{2} k A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \tag{1.19}$$

gdzie: Ep –energia potencjalna [J],
k – stała sprężystości
A – amplituda przemieszczenia [m],
ω – częstość kątowa [rad/s],
t – czas [s],
φ – faza drgań

Z kolei energia kinetyczna opisana jest wzorem:

$$E_k(t) = \frac{1}{2} m V^2(t) = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \sin^2(\omega t + \varphi) \tag{1.20}$$

gdzie: E_k – energia kinetyczna [J]

m – masa [kg]

V – prędkość [m/s]

A – amplituda przemieszczenia [m]

ω – częstość kołowa [rad/s]

t – czas [s]

φ – faza drgań

Jeżeli częstość kołową wyrazi się równaniem:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{1.21}$$

gdzie: ω – częstość kołowa [rad/s]

k – stała sprężystości

m – masa [kg]

to po podstawieniu pod wyrażenie (1.20) wzór na energię kinetyczną przyjmie postać:

$$E_k(t) = \frac{1}{2} k A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) \tag{1.22}$$

gdzie: E_k –energia kinetyczna [J],

k – stała sprężystości

A – amplituda przemieszczenia [m]

ω – częstość kołowa [rad/s]

t – czas [s]

φ – faza drgań

Zatem wzór na całkowitą energię mechaniczną oscylatora liniowego, będący sumą wyrażeń (1.19) i (1.22), przyjmie postać:

$$E_c = E_p(t) + E_k(t) = \frac{1}{2}kA^2[\cos^2(\omega t + \varphi) + \sin^2(\omega t + \varphi)] = \frac{1}{2}kA^2 \qquad (1.23)$$

gdzie: E_c – energia całkowita [J],
E_p – energia potencjalna [J].
E_k –energia kinetyczna [J],
k – stała sprężystości
A – amplituda przemieszczenia [m]
ω – częstość kołowa [rad/s]
t – czas [s]
φ – faza drgań

Natomiast prędkość kołową wyrażono wzorem:

$$\omega = 2\pi f \qquad (1.24)$$

gdzie: ω – częstość kołowa [rad/s]
f − częstotliwość drgań [Hz].

Korzystając z powyższych wyrażeń oraz znajomości wartości masy (obciążenia skrzyni), częstotliwości oraz amplitud, obliczono energię całkowitą, a następnie obliczono energię jednostkową przypadającą na 1 kg produktu, którą uznano jako wartość energii dostarczonej do produktu:

$$E_{jedn} = \frac{E_c}{m} \qquad (1.25)$$

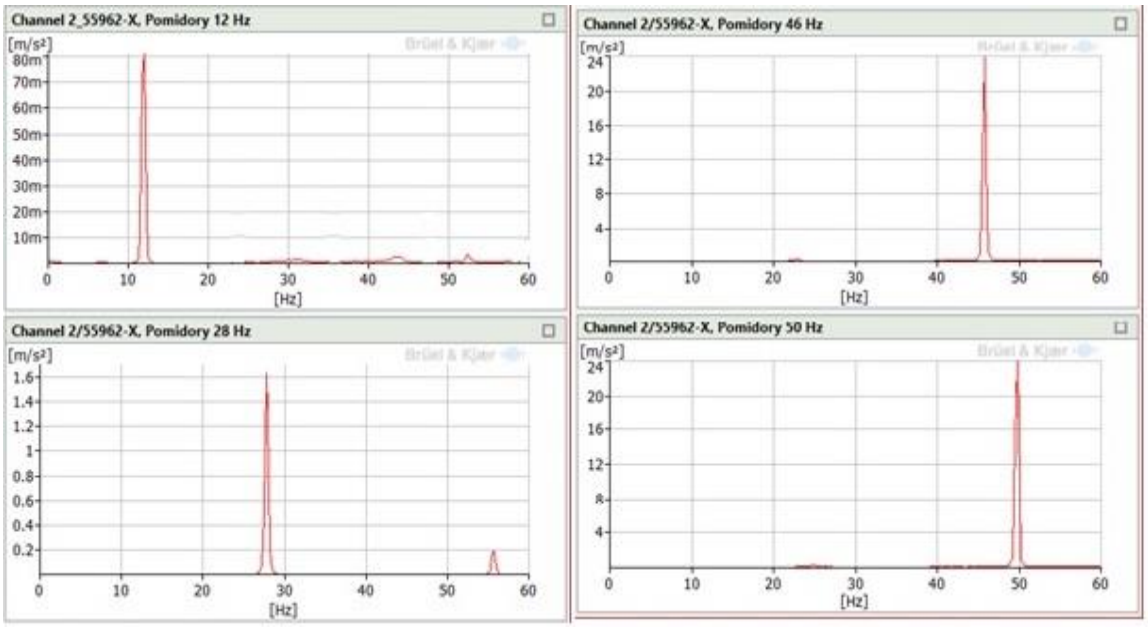
gdzie: E_{jedn} – energia jednostkowa [J/kg]
E_c – energia całkowita [J],
m − masa produktów/obciążenie skrzyni [kg]

5. WYNIKI BADAŃ

5.1. Charakterystyka mechaniczna stanowiska badawczego

W celu wyznaczenia oddziaływań mechanicznych na stan badanych owoców dokonano pomiaru amplitud przyspieszeń na stanowisku badawczym. Do pomiarów użyto aparatury pomiarowej opisanej w punkcie 4.5.1. Sposób przeprowadzenia pomiarów opisano w punkcie 4.5.2. Wyznaczono energię całkowitą i jednostkową dostarczoną do produktów wg metodyki podanej w pkt 4.5.5.

Na rysunku 9 przedstawiono amplitudę przyspieszeń na stanowisku badawczym dla czterech częstotliwości. Częstotliwości te wyznaczono w oparciu o badania wstępne - widma drgań dla transportu rzeczywistego (pkt 4.4.2.1).



Rys.9. Widma sygnałów drgań zmierzone na stanowisku badawczym

W tabeli.11 przedstawiono energię całkowitą oraz jednostkową dostarczoną do produktów w zależności od częstotliwości, amplitud przyspieszenia i przemieszczenia oraz czasu drgań. Najniższa energia obejmowała częstotliwość drgań równą 12 Hz, amplitudę 1,41E-5 m oraz 1 godzinę trwania drgań. Energia wzrastała wraz z wydłużeniem

czasu trwania drgań. Najwyższą energię odnotowano dla częstotliwości 46 Hz, amplitudy przemieszczenia równej 2,88E-4 m oraz czasu trwania drgań równemu 24 godzinom.

Tabela 11

Wartości energii całkowitej oraz jednostkowej dostarczonej do produktu w zależności od częstotliwości, amplitudy przyspieszenia, amplitudy przemieszczenia i czasu drgań

Częstotliwość drgań [Hz]	Amplituda przyśpieszeń drgań [m/s2]	Amplituda przemieszczeń drgań [m]	Czas drgań [h]	Energia dostarczona do produktu [J]	Energia jednostkowa dostarczona do produktu [J/kg]
12	0,08	1,41E-5	1*	0,0068	0,002
			3	0,0183	0,006
			6	0,0365	0,012
			24	0,1461	0,049
28	1,6	5,17E-5	1*	0,4470	0,149
			3	1,3413	0,447
			6	2,6826	0,894
			24	10,7302	3,577
46	24	2,88E-4	1*	37,2718	12,424
			3	112,0	37,272
			6	224,0	74,544
			24	895,0	298,175
50	24	2,43E-4	1*	31,5469	10,516
			3	94,6	31,547
			6	189,0	63,094
			24	757,0	252,375

* czas, który obejmował tylko owoce w drugiej części badań

5.2. Wpływ oddziaływania mechanicznego na wybrane cechy fizykochemiczne pomidorów

Na stanowisku badawczym opisanym w punkcie 4.5.4. określono wpływ oddziaływania mechanicznego na wybrane cechy fizykochemiczne pomidorów.

Materiał badawczy oraz jego przygotowanie do prób opisano w punktach 4.1 oraz 4.2.

Dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze, po 7 dniach przechowywania oraz po każdym cyklu oddziaływań mechanicznych, wykonano oznaczenia fizykochemiczne opisane w punkcie 4.4.

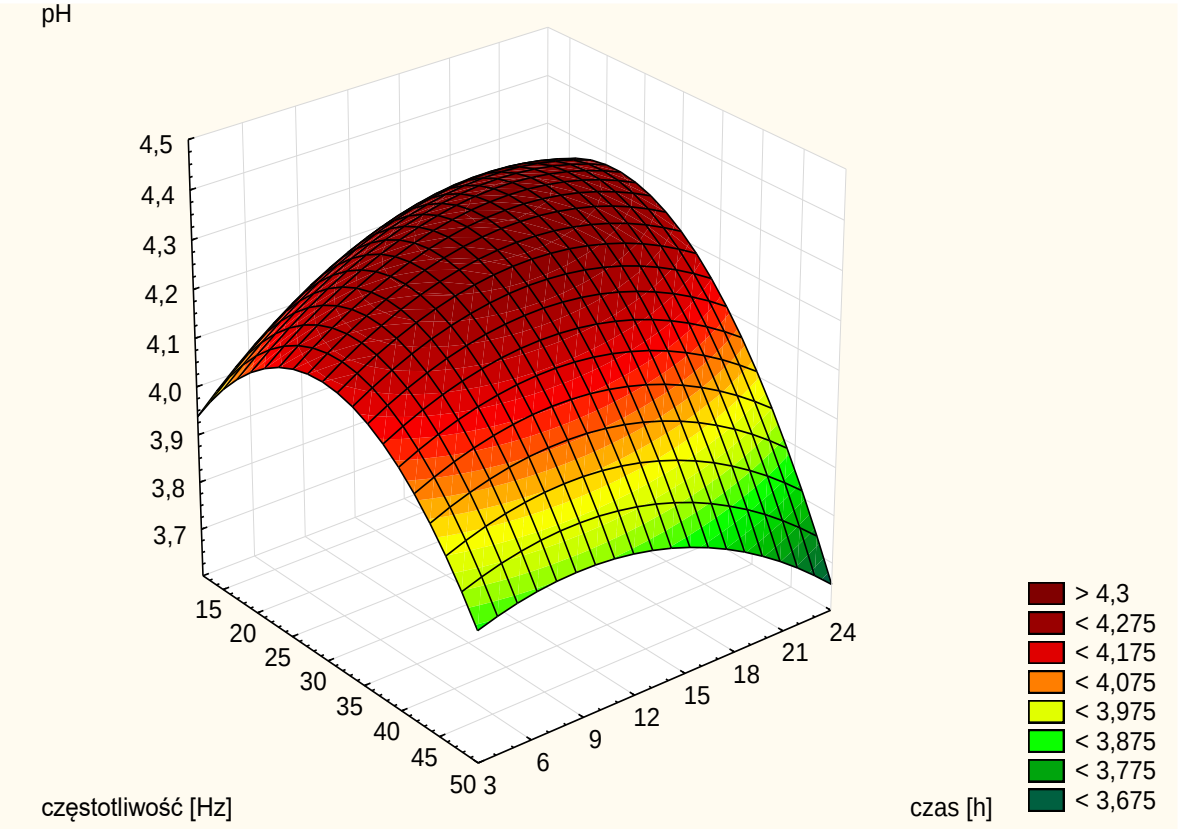
5.2.1. Wpływ częstotliwości, czasu i energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J na wybrane cechy pomidorów

Warunki przeprowadzonych doświadczeń podano w punkcie 4.3..

Stanowisko badawcze umożliwiało regulację częstotliwości drgań, co skutkowało także zmianą ich amplitudy. Wprowadzenie zmiennego czasu drgań powodowało zmienność ilości dostarczonej do surowca energii. W analizie skutków mechanicznych oddziaływań na właściwości fizykochemiczne badanych surowców uwzględniono wpływ częstotliwości i czasu drgań oraz sumaryczny efekt tych oddziaływań jako energię jednostkową. Energię jednostkową obliczono wg metody podanej w pkt 4.5.5.

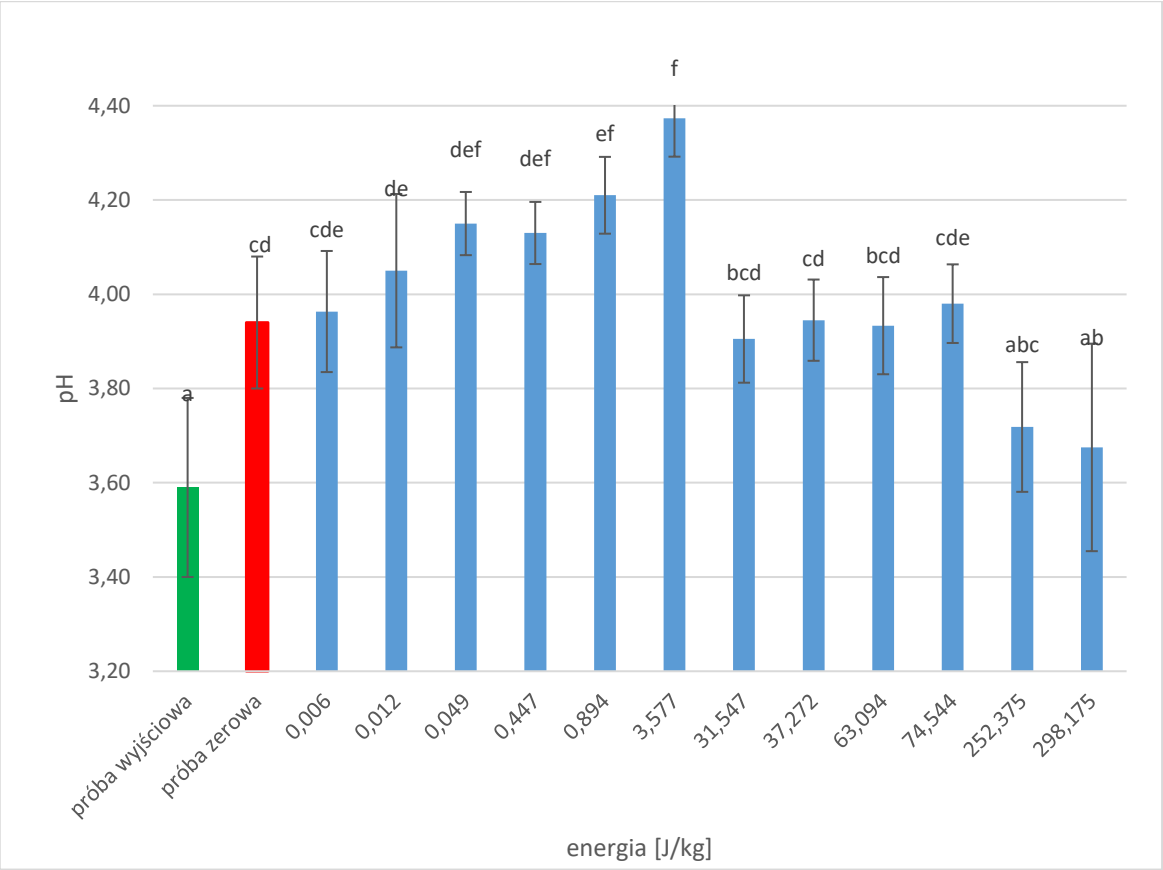
Wpływ częstotliwości, czasu i energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na pH pomidorów

Na rysunku 10 przedstawiono wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na pH pomidorów poddanych drganiom. Maksymalny poziom pH uzyskano dla czasu drgań wynoszącego 24 godziny oraz częstotliwości drgań wynoszącej 25-35 Hz.



Rys.10. Wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na pH pomidorów.

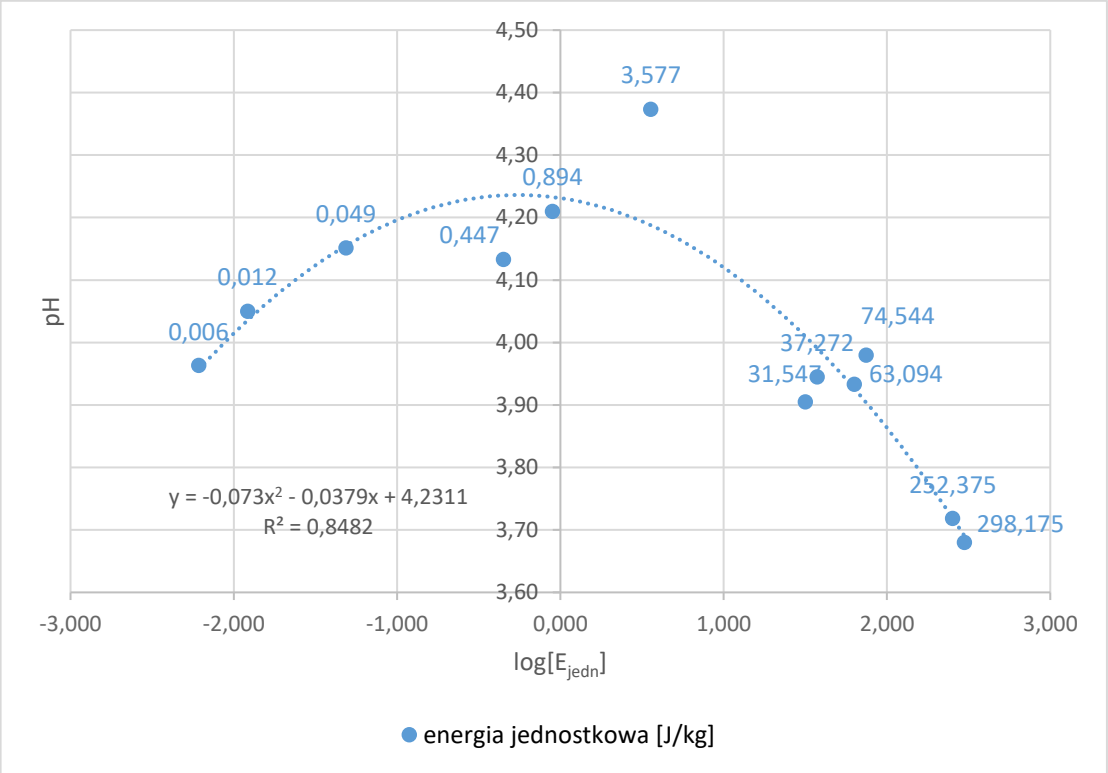
Na rys. 11. przedstawiono istotność statystyczną wpływu energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na zmianę pH pomidorów ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy dwunastu różnych poziomach dostarczonej energii.



Rys.11. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań na pH pomidorów.
Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny wzrost poziomu pH od 3,59 dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 3,94 dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 3,577 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost pH wobec pomidorów nie poddanych drganiom od wartości 3,94 do 4,37. Zwiększenie dostarczonej energii skutkowało istotnym zmniejszeniem pH. W przypadku maksymalnej energii wynoszącej 298,175 J/kg, wartość pH pomidorów była statystycznie istotnie mniejsza w stosunku do pomidorów nie poddanych drganiom (próba zerowa) i była porównywalna z poziomem pH dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa).

Na rys.12. przedstawiono zmiany pH pomidorów poddanych drganiom pod wpływem dostarczonej energii.



Rys.12. Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na pH pomidorów.

Wzrost poziomu dostarczonej energii jednostkowej spowodował zmianę poziomu pH pomidorów wg krzywej drugiego stopnia zgodnie z równaniem:

$$pH = 0{,}073\{\log[E_{jedn}]\}^2 - 0{,}0379\log[E_{jedn}] + 4{,}2311 \qquad (1.26)$$

gdzie: pH – poziom pH pomidorów poddanych drganiom o energii 0,006 do 298 J/kg;
$log[E_{jedn}]$ – logarytm dziesiętny z energii jednostkowej.

Maksymalne zmiany poziomu pH wystąpiły dla pomidorów, do których dostarczono energię od ok. 0,04 J/kg do ok. 3,6 J/kg, co odpowiada drganiom o częstotliwości 28 Hz trwających od 3 do 24 godzin.

W tabeli 12 przedstawiono charakterystykę statystyczną równania regresji wielomianowej opisującego wpływ energii jednostkowej na zmianę pH pomidorów poddanych drganiom

Tabela 12

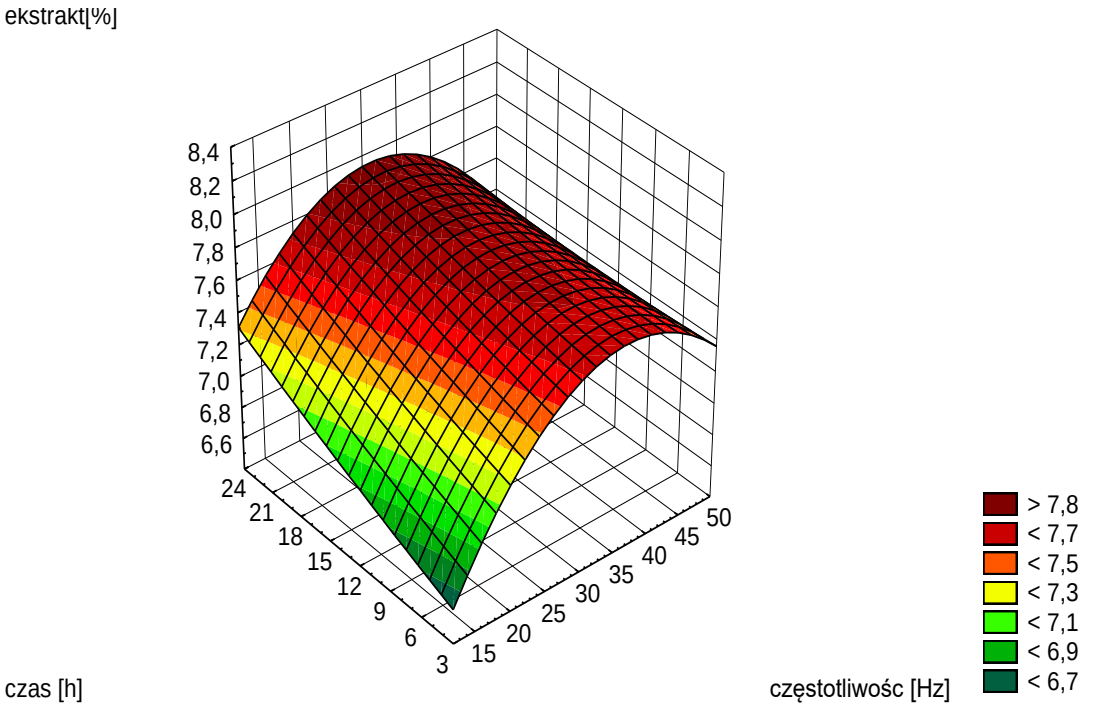
Charakterystyka równania regresji wielomianowej dla pH pomidorów poddanych drganiom

Wskaźniki	Parametry regresji wielomianowej R^2=0,848 F=25,144 p<0,0002					
	pH	Błąd stdandardowy pH	β	Błąd stdandardowy β	$t_{obl.}$	Wartość p
Wyraz wolny	4,231054	0,042404			99,780501	0,000000
Energia	-0,037867	0,015913	-0,321471	0,135099	-2,379532	0,041259
Energia^2	0,073041	0,012667	0,779028	0,135098	-5,766371	0,000271

Na zmianę pH pomidorów poddanych drganiom w 85% wpływ miała wartość dostarczonej energii (R^2=0,848) natomiast w 15% wpływ miały inne czynniki. Zależność ta była statystycznie istotna ($F_{obl.}$=25,144; $F_{obl} > F_{0,05}$), istotne są także współczynniki regresji (t_{obl}.energii = -2,38 oraz t_{obl}.energia^2 = -5,77; $t_{obl} > t_{0,05}$).

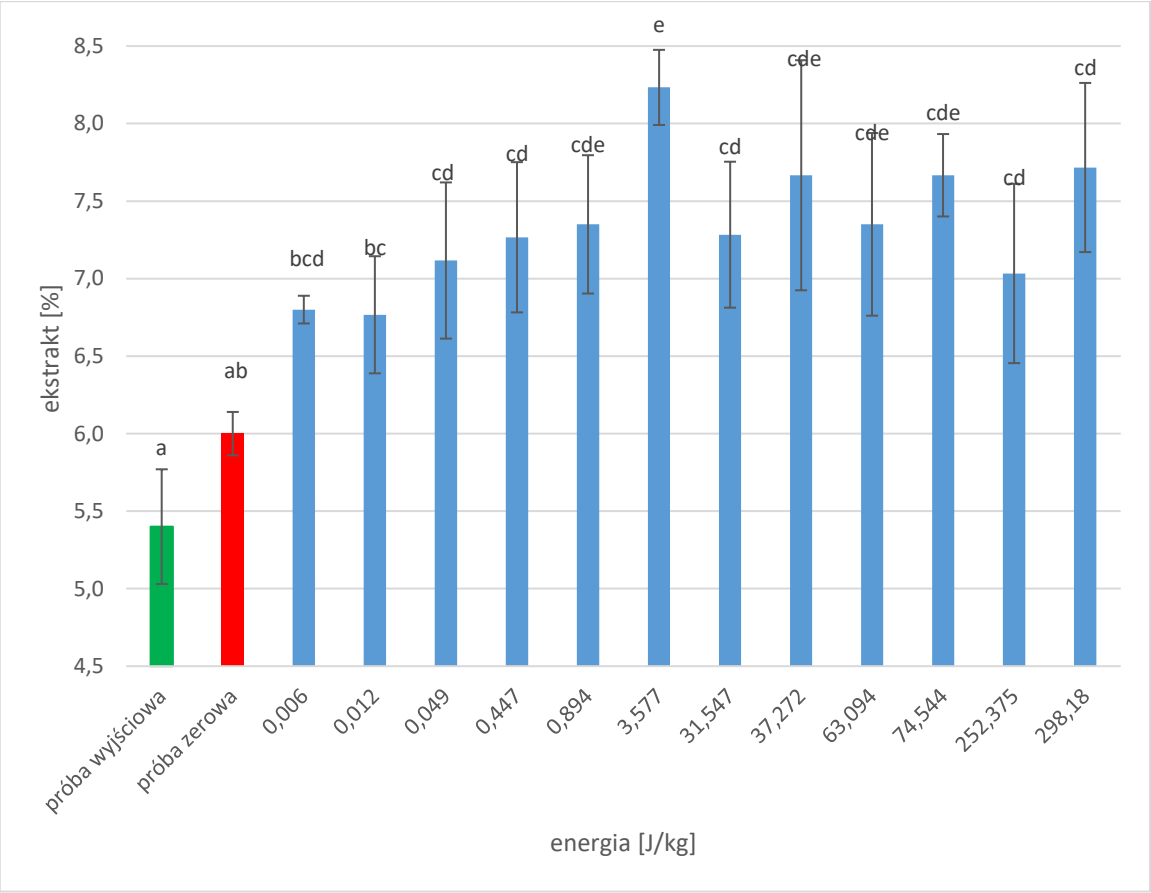
Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na zawartość ekstraktu w pomidorach

Na rysunku 13 przedstawiono wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na zawartość ekstraktu pomidorów poddanych drganiom. Maksymalną zawartość ekstraktu uzyskano dla czasu drgań wynoszącego 22 do 24 godzin oraz częstotliwości drgań wynoszącej 25-35 Hz.



Rys.13. Wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na zawartość ekstraktu w pomidorach.

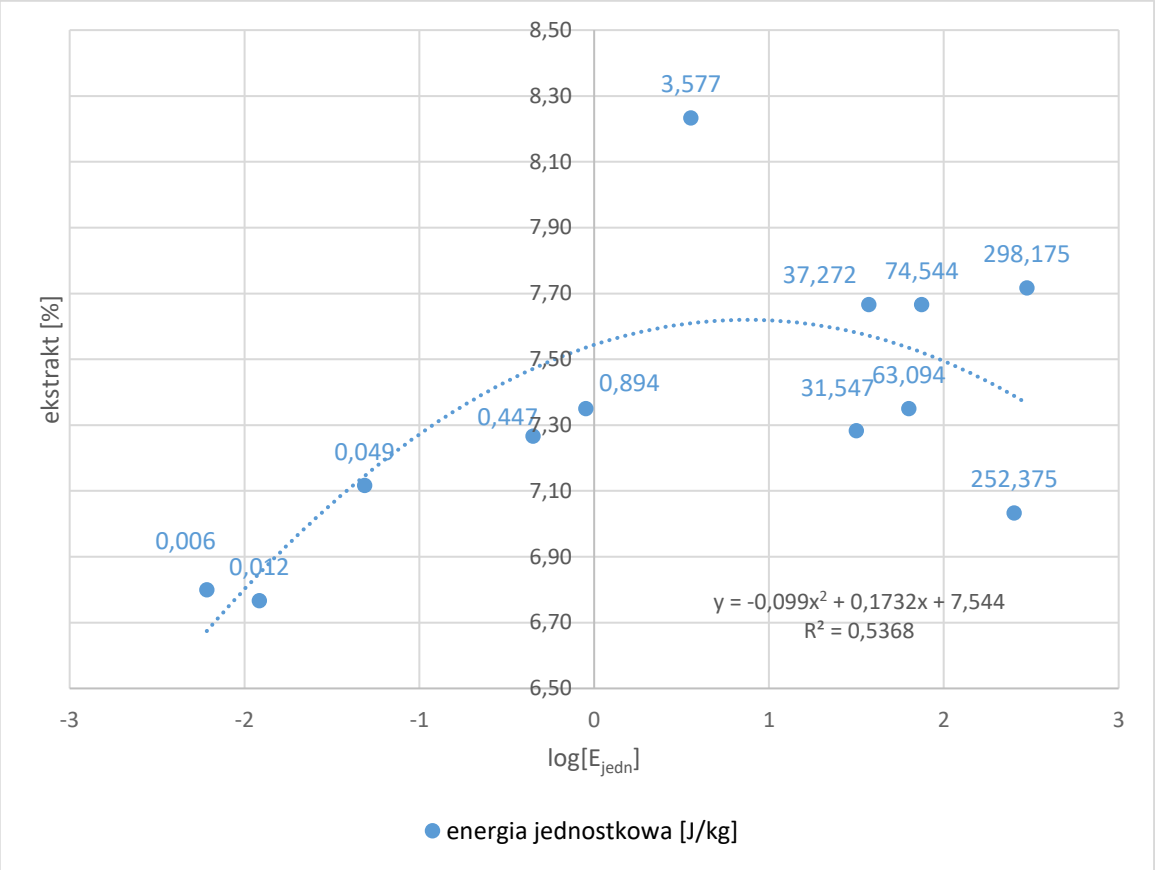
Na rys. 14 przedstawiono istotność statystyczną wpływu energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na zawartość ekstraktu w pomidorach ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy dwunastu różnych poziomach dostarczonej energii.



Rys.14. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań na zawartość ekstraktu w pomidorach.
Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie nieistotny przyrost zawartości ekstraktu od 5,4 dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 6 % dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 3,577 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost ekstraktu wobec pomidorów nie poddanych drganiom (próba zerowa) od wartości 6 % do 8,23 %. Zwiększenie dostarczonej energii skutkowało zróżnicowanym poziomem ekstraktu w pomidorach, a miedzy tymi wartościami nie występowały istotne różnice.

Na rys.15 przedstawiono dynamikę zmian zawartości ekstraktu w pomidorach poddanych drganiom pod wpływem dostarczonej energii.



Rys.15. Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na zawartość ekstraktu w pomidorach

Wzrost poziomu dostarczonej energii jednostkowej spowodował zmianę zawartości ekstraktu pomidorów wg krzywej drugiego stopnia zgodnie z równaniem:

$$ES = -0{,}099\{\log[E_{jedn}]\}^2 + 0{,}1732\log[E_{jedn}] + 7{,}544 \qquad (1.27)$$

gdzie: *ES* – zawartość ekstraktu w pomidorach podanych drganiom o energii 0,006 do 298 J/kg;

log[E$_{jedn}$] – logarytm dziesiętny z energii jednostkowej.

Maksymalne zmiany zawartości ekstraktu wystąpiły dla pomidorów, do których dostarczono energię ok. 3,6 J/kg, co odpowiado częstotliwości drgań wynoszącej 28 Hz trwających 24 godziny.

W tabeli 13 przedstawiono charakterystykę statystyczną równania regresji wielomianowej opisującego wpływ energii jednostkowej na zmianę zawartości ekstraktu w pomidorach poddanych drganiom.

Tabela 13

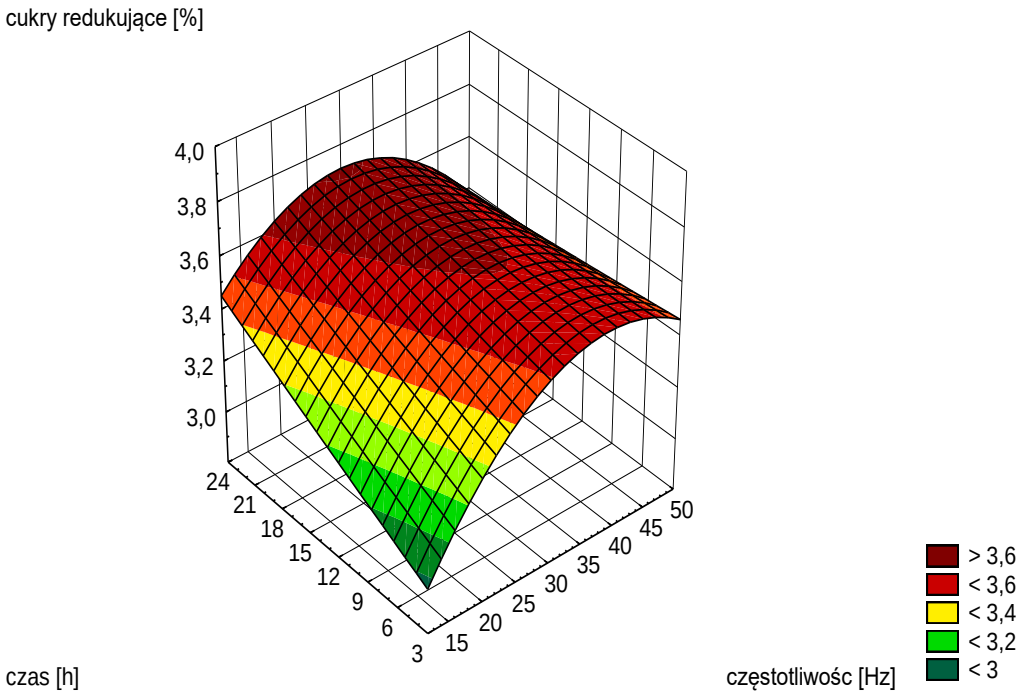
Charakterystyka równania regresji wielomianowej dla zmian zawartości ekstraktu w pomidorach poddanych drganiom

Wskaźniki	Parametry regresji wielomianowej R^2=0,537 F=5,216 p<0,0313					
	ekstrakt	Błąd standardowy ekstrakt	β	Błąd standardowy β	$t_{obl.}$	Wartość p
Wyraz wolny	7,544015	0,157299			47,959552	0,000000
Energia	0,173181	0,059033	0,692274	0,235980	2,933610	0,016659
Energia^2	-0,099010	0,046988	-0,497241	0,235980	-2,107130	0,064369

Na zmianę zawartości ekstraktu w pomidorach poddanych drganiom w 54% wpływ miała wartość dostarczonej energii (R^2=0,537) natomiast w 46% wpływ miały inne czynniki. Zależność ta była statystycznie istotna ($F_{obl.}$=5,216; $F_{obl} > F_{0,05}$), natomiast istotny był tylko jeden ze współczynników regresji ($t_{obl.}$energia = 2,9; $t_{obl} > t_{0,05}$) podczas gdy drugi ze współczynników nie był istotny ($t_{obl.}$energia^2 = -2,1; $t_{obl} < t_{0,05}$).

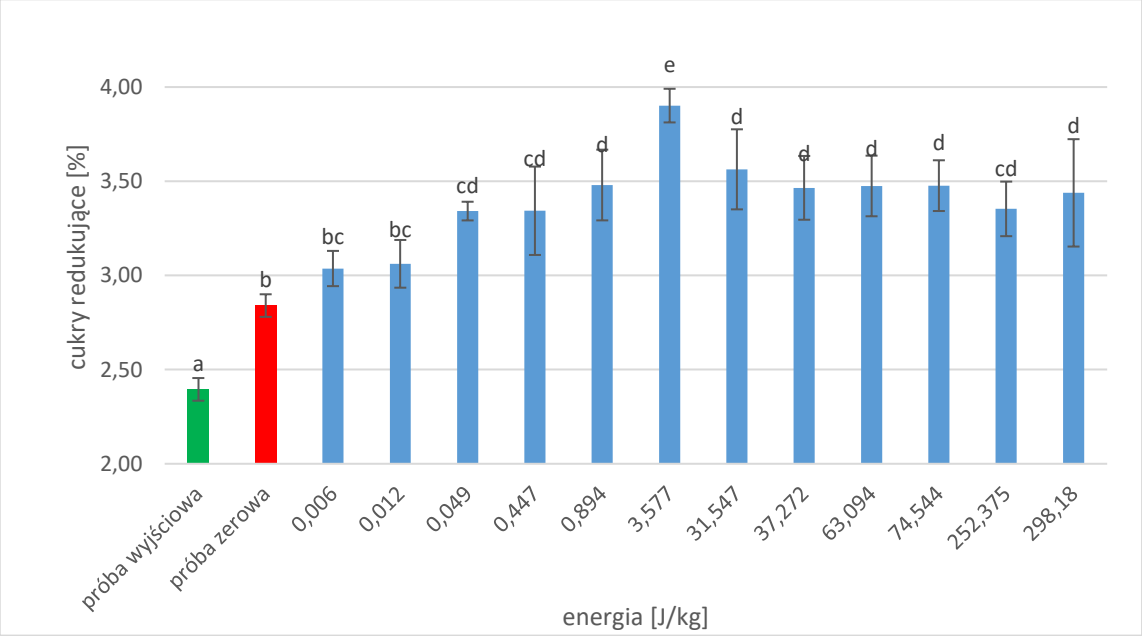
Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na zawartość cukrów redukujących w pomidorach

Na rysunku 16 przedstawiono wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na zawartość cukrów redukujących pomidorów poddanych drganiom. Maksymalną zawartość cukrów redukujących uzyskano dla czasu drgań wynoszącego 20 do 24 godzin oraz częstotliwości drgań wynoszącej 25-35 Hz.



Rys. 16. Wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na zawartość cukrów redukujących w pomidorach.

Na rys. 17 przedstawiono istotność statystyczną wpływu energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na zawartość cukrów redukujących w pomidorach ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy dwunastu różnych poziomach dostarczonej energii.

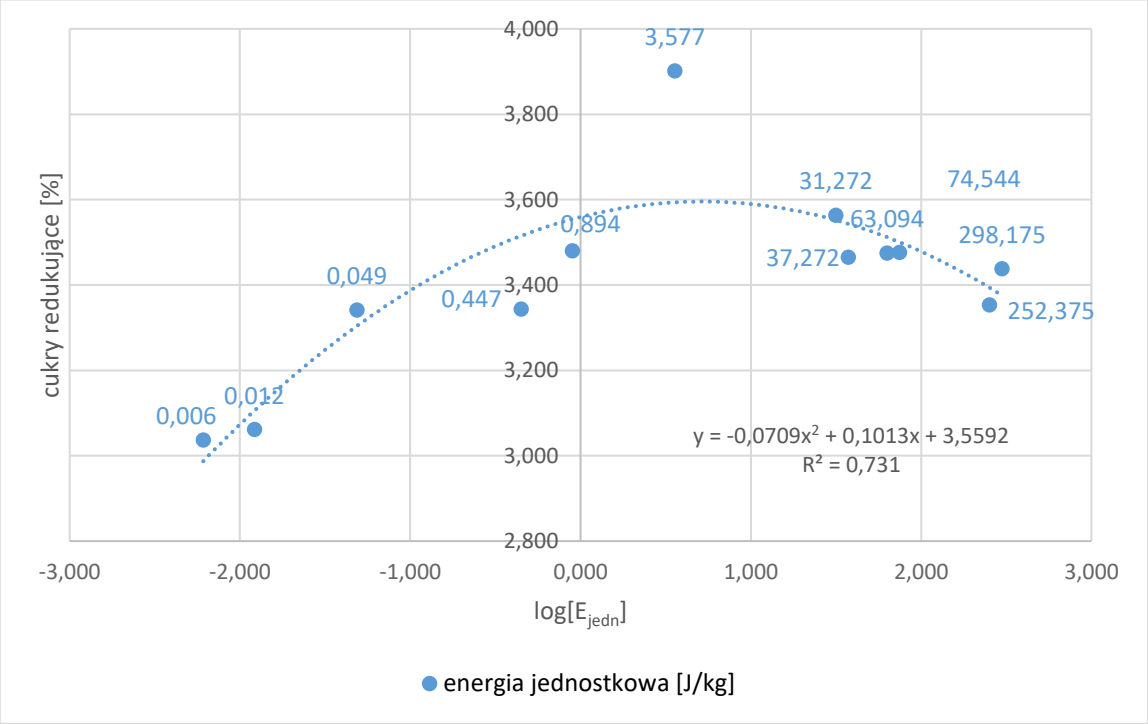


Rys. 17. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań na zawartość cukrów redukujących w pomidorach.

Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości cukrów redukujących od 2,40 % dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 2,89 % dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 3,577 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost cukrów redukujących wobec pomidorów nie poddanych drganiom (próba zerowa) od wartości 2,89 % do 3,9 %. Zwiększenie dostarczonej energii skutkowało istotnym zmniejszeniem zawartości cukrów redukujących w pomidorach a miedzy tymi wartościami nie występowały istotne różnice.

Na rys. 18 przedstawiono dynamikę zmian zawartości cukrów redukujących w pomidorach poddanych drganiom pod wpływem dostarczonej energii.



Rys.18. Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na zawartość cukrów redukujących w pomidorach.

Wzrost poziomu dostarczonej energii jednostkowej spowodował zmianę zawartości cukrów redukujących pomidorów wg krzywej drugiego stopnia zgodnie z równaniem:

$$C_R = -0{,}0709\left\{\log[E_{jedn}]\right\}^2 + 0{,}1013\log[E_{jedn}] + 3{,}5592 \qquad (1.27)$$

gdzie: C_R – zawartość cukrów redukujących w pomidorach poddanych drganiom o energii 0,006 do 298 J/kg;

$log[E_{jedn}]$ – logarytm dziesiętny z energii jednostkowej.

Maksymalne zmiany zawartości cukrów redukujących wystąpiły w przypadku pomidorów, do których dostarczono energię od ok. 0,9 J/kg do ok 74,5 J/kg, co odpowiada częstotliwości drgań od 28 Hz do 50 Hz trwających przez 6 godzin.

W tabeli 14 przedstawiono charakterystykę statystyczną równania regresji wielomianowej opisującego wpływ energii jednostkowej na zmianę zawartości cukrów redukujących w pomidorach poddanych drganiom.

Tabela 14

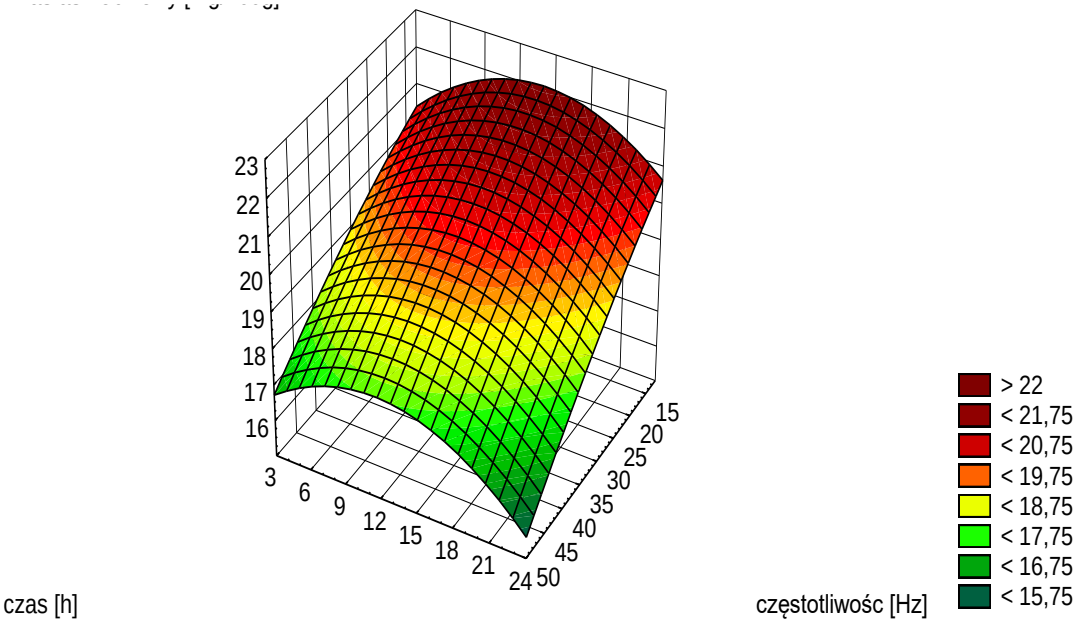
Charakterystyka równania regresji wielomianowej dla zmian zawartości cukrów redukujących w pomidorach poddanych drganiom

Wskaźniki	Parametry regresji wielomianowej R^2=0,731 F=12,229 p<0,0027					
	Cukry redukujące	Błąd std. Cukry redukujące	β	Błąd std. β	$t_{obl.}$	p
Wyraz wolny	3,559225	0,064423			55,247720	0,000000
Energia	0,101260	0,024178	0,753198	0,179838	4,188194	0,002347
Energia^2	-0,070859	0,019244	-0,662175	0,179838	-3,682054	0,005059

Na zmianę zawartości cukrów redukujących w pomidorach poddanych drganiom w 73% wpływ miała wartość dostarczonej energii (R^2=0,731) natomiast w 27% wpływ miały inne czynniki. Zależność ta była statystycznie istotna ($F_{obl.}$=12,229; $F_{obl} > F_{0,05}$), istotne są także współczynniki regresji ($t_{obl.}$energii = 4,19 oraz $t_{obl.}$energia^2 = -3,68; $t_{obl} > t_{0,05}$).

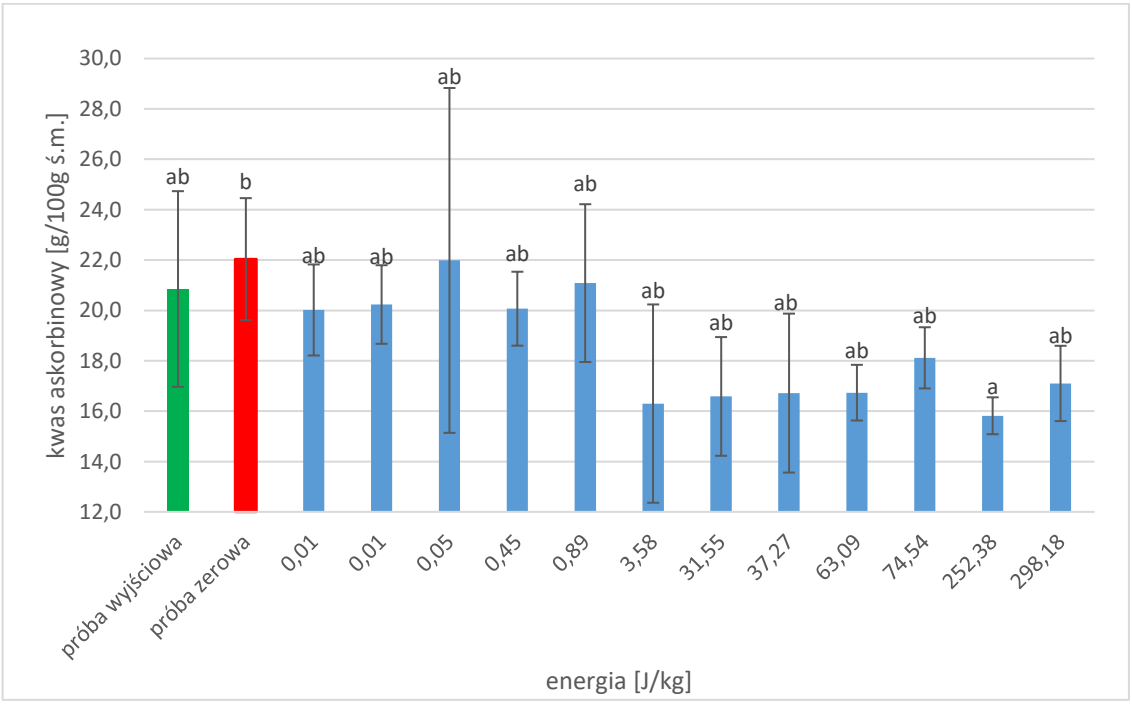
Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach

Na rysunku 19 przedstawiono wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach poddanych drganiom. Maksymalną zawartość kwasu askorbinowego uzyskano dla czasu drgań wynoszącego od 8 do 24 godzin oraz częstotliwości drgań wynoszącej 0-30 Hz.



Rys.19. Wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach.

Na rys. 20. przedstawiono istotność statystyczną wpływu energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy dwunastu różnych poziomach dostarczonej energii.

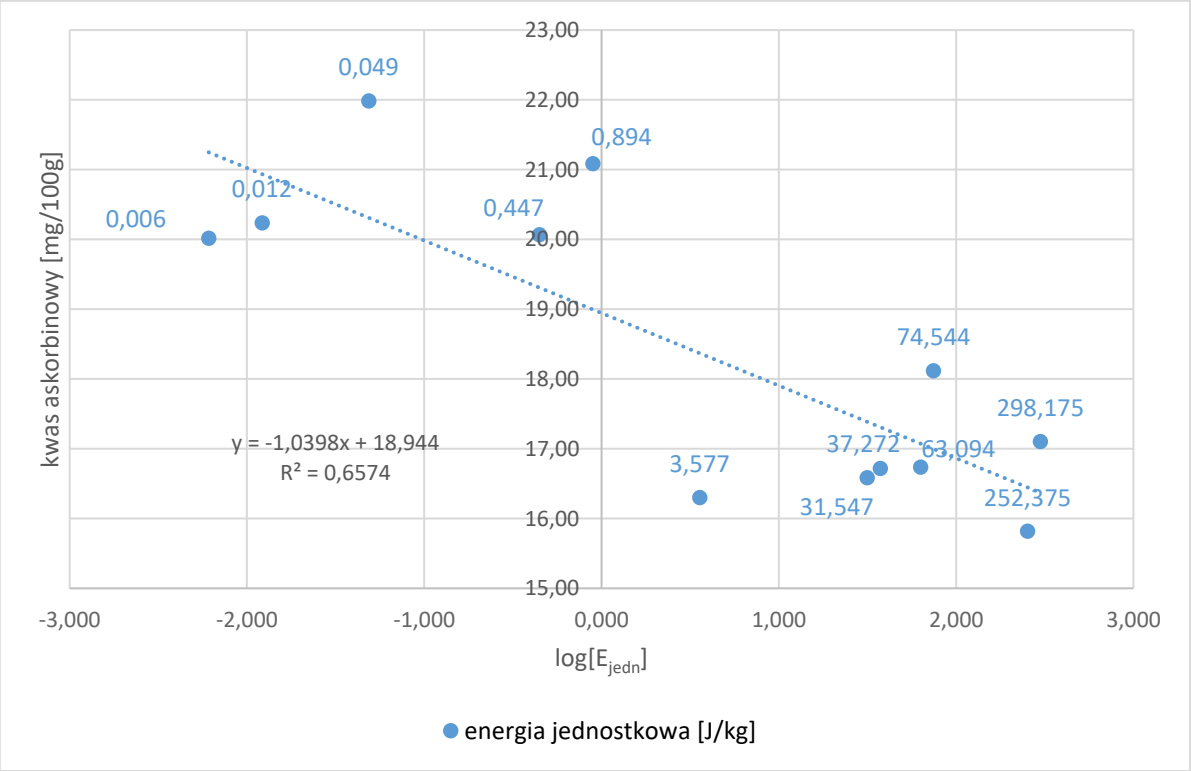


Rys.20. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach.

Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie nieistotny wzrost zawartości kwasu askorbinowego od 20,85 dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 22,03 mg/100g ś.m. dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie energii jednostkowej z przedziału od 0,01 do 298,18 J/kg nie spowodowało statystycznie istotnych zmian w zawartości kwasu askorbinowego w pomidorach poddanych drganiom (próba zerowa). Jedynie dostarczenie energii o wartości 252,38 J/kg skutkowało obniżeniem zawartości kwasu askorbinowego do wartości 15,82 mg/100g ś.m., która różniła się statystycznie od zawartości kwasu askorbinowego w pomidorach nie poddanych drganiom (próba zerowa).

Na rys.21. przedstawiono dynamikę zmian zawartości kwasu askorbinowego w pomidorach poddanych drganiom pod wpływem dostarczonej energii.



Rys.21. Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach.

Wzrost poziomu dostarczonej energii jednostkowej spowodował zmianę zawartości kwasu askorbinowego w pomidorach wg krzywej pierwszego stopnia zgodnie z równaniem:

$$KA = -1{,}0398\log[E_{jedn}] + 18{,}944 \qquad (1.28)$$

gdzie: *KA* – zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach poddanych drganiom o energii 0,006 do 298 J/kg;

$log[E_{jedn}]$ – logarytm dziesiętny z energii jednostkowej.

Maksymalną zawartość kwasu askorbinowego uzyskano w przypadku pomidorów, do których dostarczono energię od najniższej do ok 0,9 J/kg, co odpowiadało częstotliwości drgań od 12 do 28 Hz trwających od 3 do 24 godzin (dla 12 Hz) oraz od 3 do 6 godzin (dla 28 Hz). Dostarczenie energii powyżej 0,9 J/kg powodowało tendencję do obniżania zawartości kwasu askorbinowego.

W tabeli 15 przedstawiono charakterystykę statystyczną równania regresji liniowej opisującego wpływ energii jednostkowej na zmianę zawartości kwasu askorbinowego w pomidorach poddanych drganiom.

Tabela 15

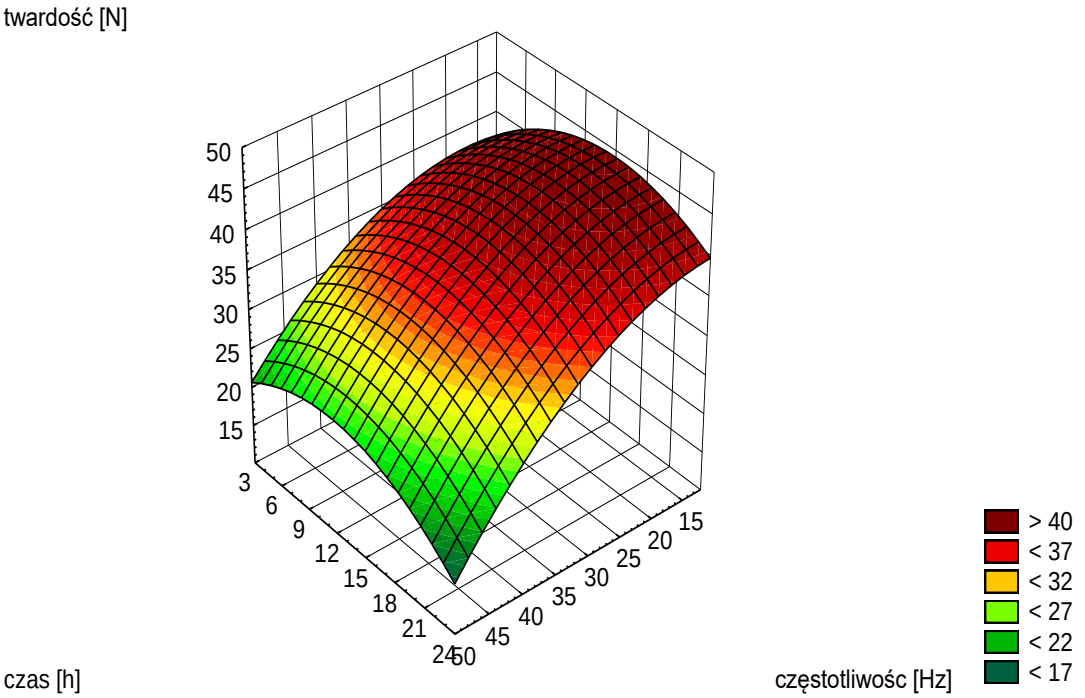
Charakterystyka równania regresji wielomianowej dla zmian zawartości kwasu askorbinowego w pomidorach poddanych drganiom

Wskaźniki	Parametry regresji liniowej R^2=0,6574 F=19,18767 p<0,001377					
	Kwas askorbinowy	Błąd standardowy Kwas askorbinowy	β	Błąd standardowy β	$t_{obl.}$	p
Wyraz wolny	18,944	0,400043			47,35603	0,000000
Energia	-1,0398	0,237368	-0,810796	0,185097	-4,38037	0,001377

Na zmianę zawartości kwasu askorbinowego w pomidorach poddanych drganiom w 66% wpływ miała wartość dostarczonej energii (R^2=0,6574) natomiast w 34% wpływ miały inne czynniki. Zależność ta była statystycznie istotna ($F_{obl.}$=19,188; $F_{obl} > F_{0,05}$), istotny był też współczynnik regresji (t_{obl}.energia = -4,38; $t_{obl} > t_{0,05}$).

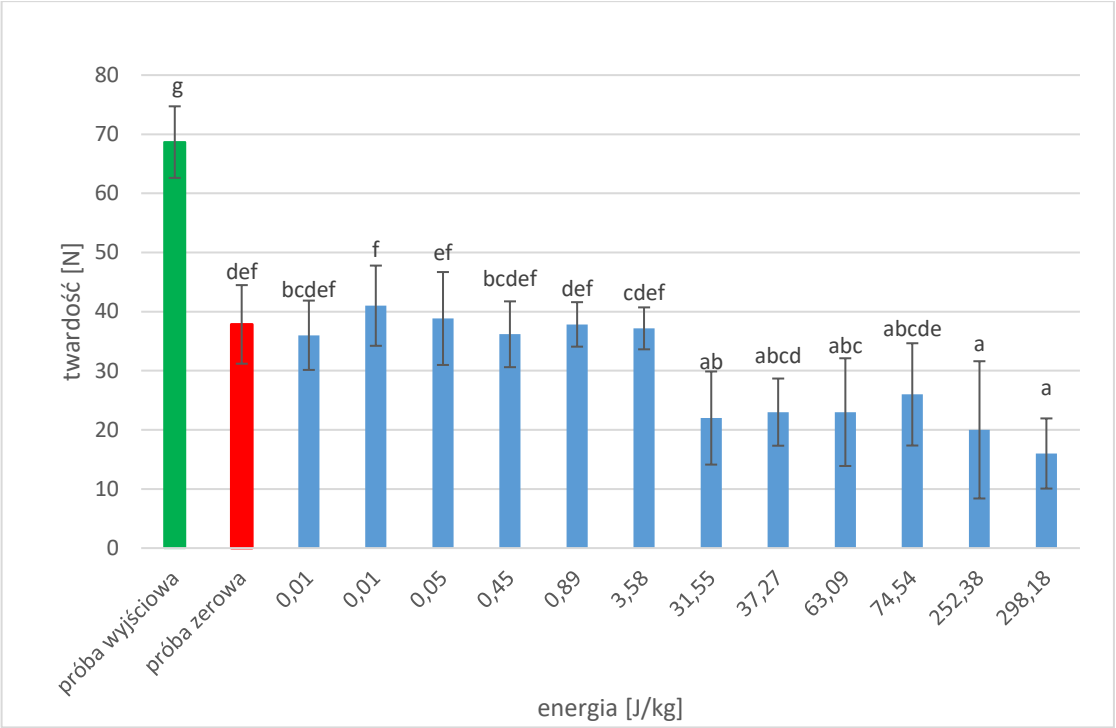
Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na twardość pomidorów

Na rysunku 22 przedstawiono wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na twardość pomidorów poddanych drganiom. Maksymalną twardość uzyskano dla czasu drgań wynoszącego od 3 do 24 godzin oraz częstotliwości drgań wynoszącej 0-30 Hz.



Rys.22. Wpływ częstotliwości oraz czasu drgań na twardość pomidorów.

Na rys. 23 przedstawiono istotność wpływu energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na twardość pomidorów ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy dwunastu różnych poziomach dostarczonej energii.

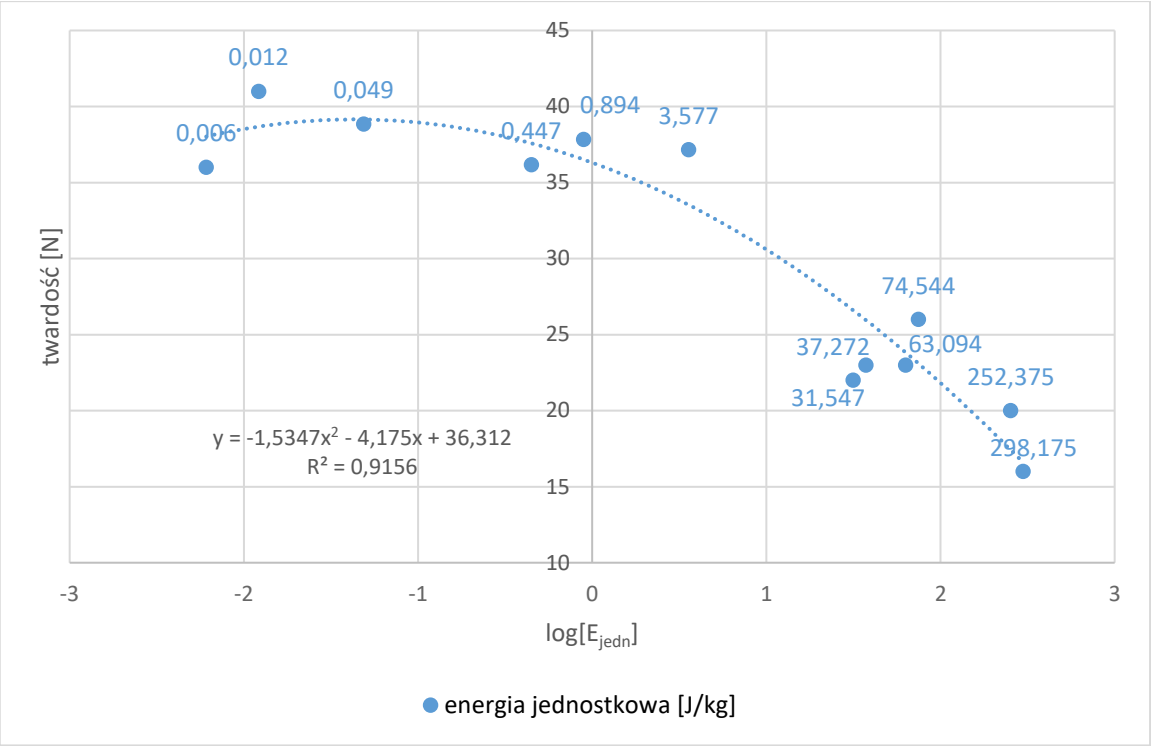


Rys.23. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań na poziom twardości pomidorów.

Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny spadek twardości od 69 N dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 38 N dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii z przedziału 0,01 do 3,58 J/kg nie spadek twardości pomidorów jednak bez statystycznie istotnych różnic. Dostarczenie energii powyżej 31 J/kg skutkowało statystycznie istotnym spadkiem twardości dla kilku przypadków w porównaniu z twardością pomidorów nie poddanych drganiom (próba zerowa).

Na rys.24. przedstawiono dynamikę zmian twardości pomidorów poddanych drganiom pod wpływem dostarczonej energii.



Rys.24. Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,006 do 298 J/kg na twardość pomidorów.

Wzrost poziomu dostarczonej energii jednostkowej spowodował zmianę twardości pomidorów wg krzywej drugiego stopnia zgodnie z równaniem:

$$TW = -1{,}5347\left\{\log[E_{jedn}]\right\}^2 - 4{,}175\log[E_{jedn}] + 36{,}312 \qquad (1.29)$$

gdzie: *TW* – poziom twardości pomidorów poddanych drganiom przy energii 0,005 do 298 *J/kg;*

log [E_{jedn}.] – logarytm dziesiętny z energii jednostkowej.

Maksymalne zmiany poziomu twardości wystąpiły w przypadku pomidorów, do których dostarczono energię od najniższej do ok 3,6 J/kg, co odpowiada częstotliwości drgań wynoszącej od 12 do 28 Hz, trwających od 3 do 24 godzin. Przekroczenie energii wynoszącej 31 J/kg spowodowało istotne obniżenie poziomu twardości pomidorów.

W tabeli 16 przedstawiono charakterystykę statystyczną równania regresji wielomianowej opisującego wpływ energii jednostkowej na zmianę twardości pomidorów poddanych drganiom.

Tabela 16

Charakterystyka równania regresji wielomianowej dla twardości pomidorów poddanych drganiom

Wskaźniki	Parametry regresji wielomianowej R^2=0,916 F=48,806 p<0,0000					
	Twardość	Błąd standardowy twardość	β	Błąd standardowy β	$t_{obl.}$	p
Wyraz wolny	36,312044	1,419031			25,589322	0,000000
Energia	-4,174960	0,532553	-0,789813	0,100748	-7,839524	0,000026
Energia^2	-1,534749	0,423893	-0,364768	0,100748	-3,620608	0,005566

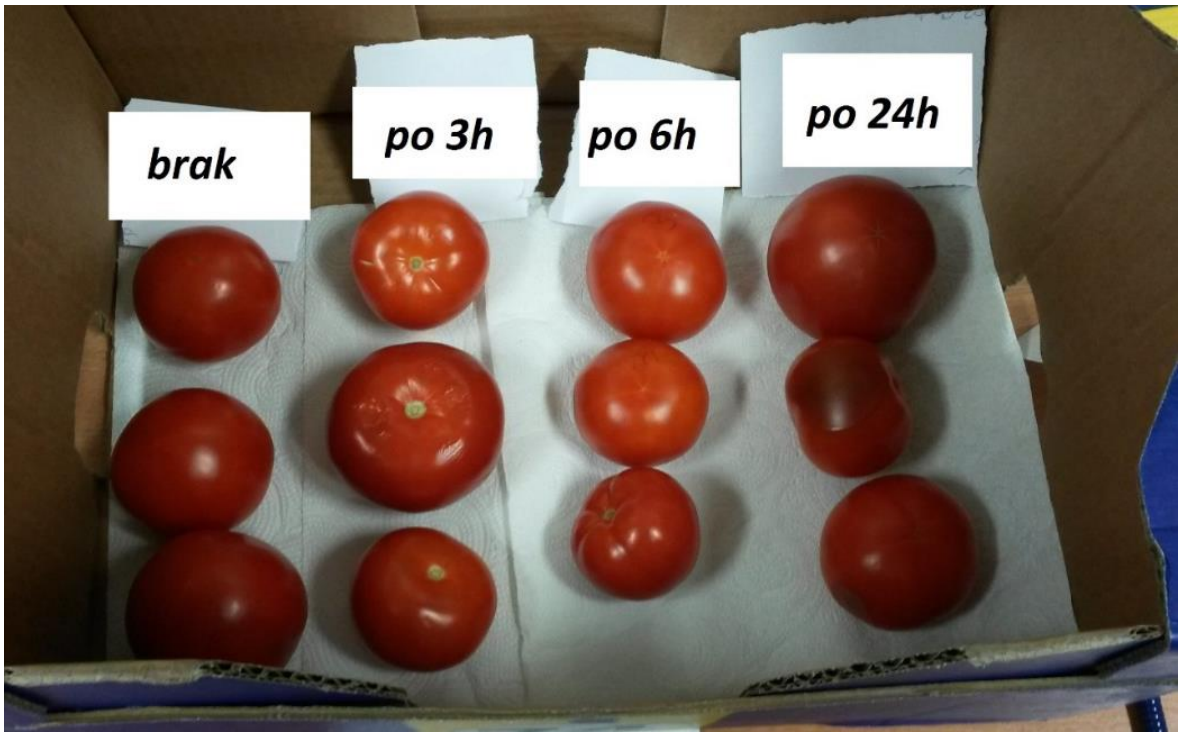
Na zmianę twardości pomidorów poddanych drganiom w 92% wpływ miała wartość dostarczonej energii (R^2=0,916) natomiast w 8% wpływ miały inne czynniki. Zależność ta była statystycznie istotna ($F_{obl.}$=48,806; $F_{obl} > F_{0,05}$), istotne są także współczynniki regresji (t_{obl}.energii = -7,8 oraz t_{obl}.energia^2 = -3,6; $t_{obl} > t_{0,05}$).

5.2.2. Wpływ czasu i częstotliwości drgań na zmiany wizualne pomidorów

Zmiany wizualne pomidorów oraz ich przygotowanie do obserwacji przeprowadzono zgodnie z metodą podaną w pkt 4.3.

Wpływ czasu i częstotliwości 12 Hz na zmiany wizualne pomidorów

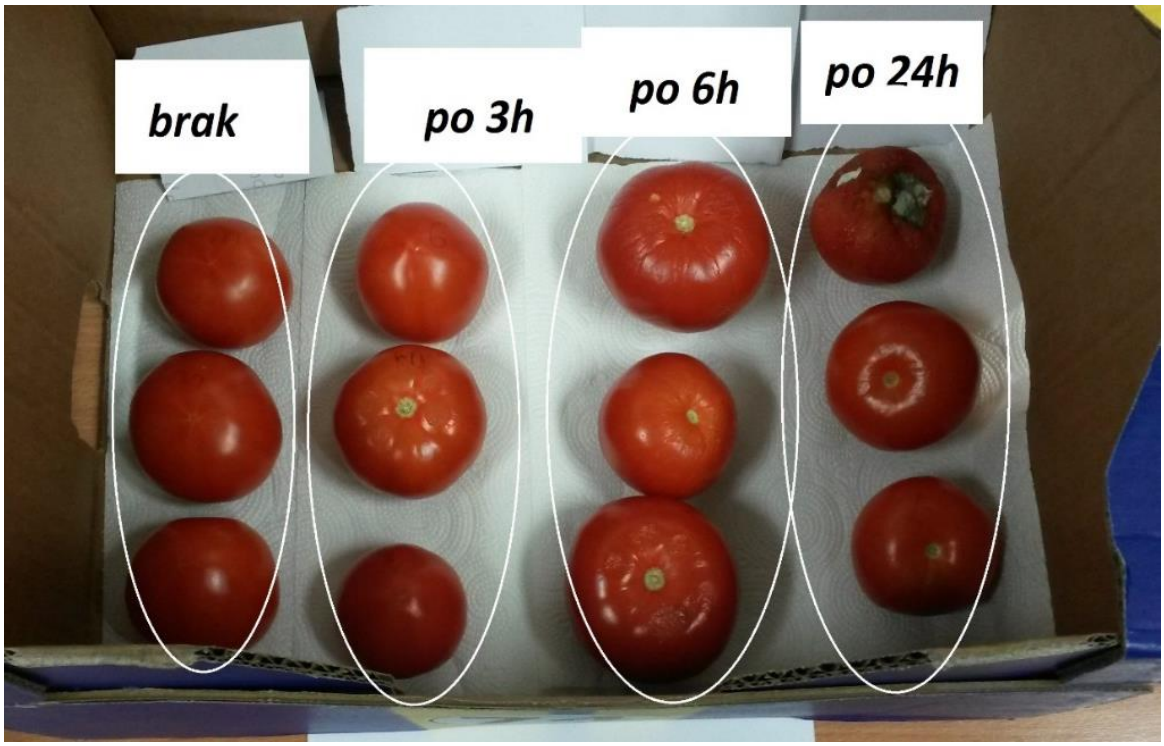
Na rysunku 26 przedstawiono zmiany wizualne pomidorów podanych drganiom o częstotliwości 12 Hz w ciągu 3, 6 oraz 24 godzin. Nie zaobserwowano zmian w pomidorach nie poddanych drganiom (próba zerowa) i w pomidorach poddanych drganiom w ciągu 2 oraz 6 godzin. W przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu 24 godzin zauważono stłuczenie na powierzchni jednego pomidora.



Rys.26. Wpływ czasu i częstotliwości 12Hz na zmiany wizualne pomidorów.

Wpływ czasu i częstotliwości 28 Hz na zmiany wizualne pomidorów

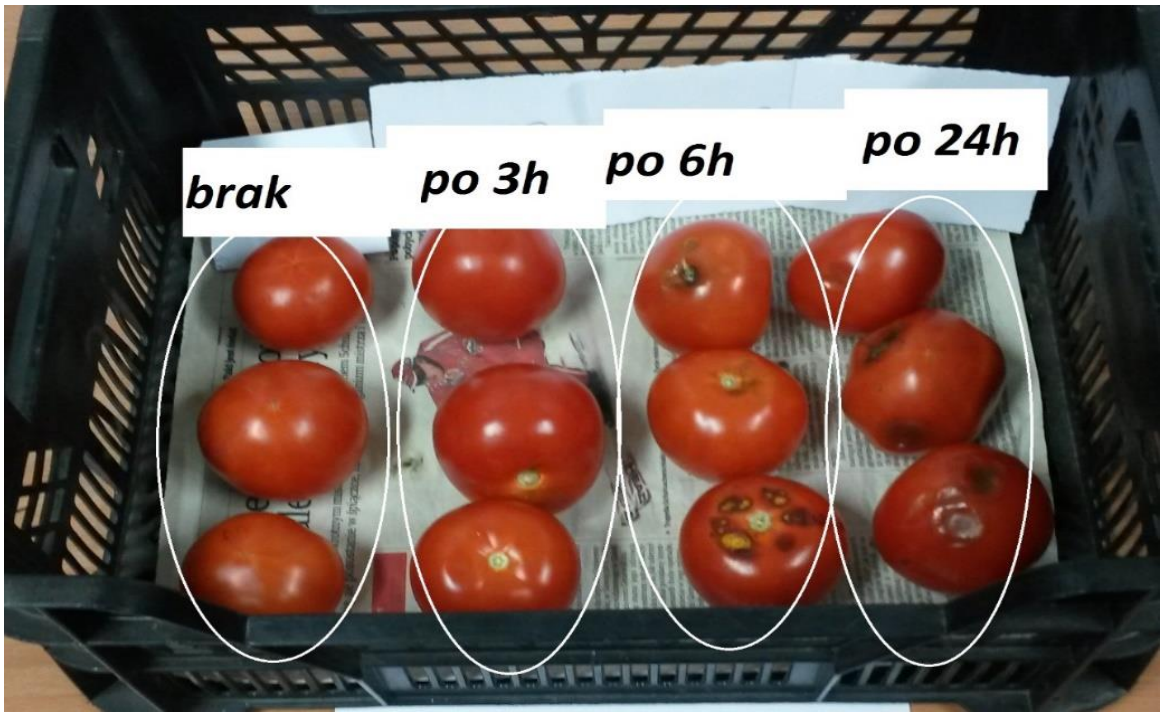
Na rys.27 przedstawiono zmiany wizualne pomidorów podanych drganiom o częstotliwości 28 Hz w ciągu 3, 6 oraz 24 godzin. Nie zaobserwowano zmian w pomidorach nie poddanych drganiom (próba zerowa). W przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu 3 godzin zauważono pomarszczenie skórki i minimalne stłuczenia na powierzchni 1 pomidora a w przypadku tych poddanych drganiom w ciągu 6 godzin- na powierzchni 2 pomidorów. Dla pomidorów poddanych drganiom w ciągu 24 godzin zaobserwowano stłuczenie powierzchni 1 pomidora oraz pleśnienie drugiego z pomidorów.



Rys.27. Wpływ czasu i częstotliwości 28Hz na zmiany wizualne pomidorów.

Wpływ czasu i częstotliwości 46 Hz na zmiany wizualne pomidorów

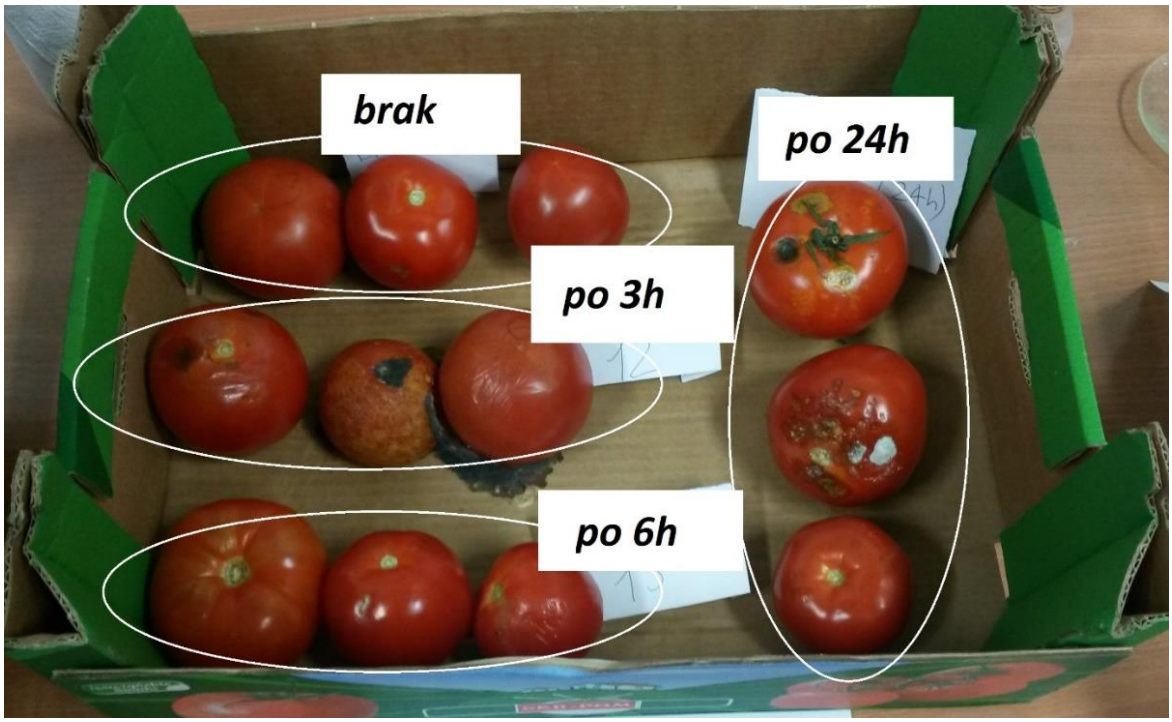
Na rys.28 przedstawiono zmiany wizualne pomidorów podanych drganiom o częstotliwości 46 Hz w ciągu 3, 6 oraz 24 godzin. Nie zaobserwowano zmian w pomidorach nie poddanych drganiom (próba zerowa). W przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu 3 godzin zaobserwowano minimalne stłuczenia na powierzchni 1 pomidora. W przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu 6 godzin zauważono znaczne stłuczenia na powierzchni 2 pomidorów, a w przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu 24 godzin – 3 pomidorów.



Rys.28. Wpływ czasu i częstotliwości 46Hz na zmiany wizualne pomidorów.

Wpływ czasu i częstotliwości 50 Hz na zmiany wizualne pomidorów

Na rys.29 przedstawiono zmiany wizualne pomidorów podanych drganiom o częstotliwości 28 Hz w ciągu 3, 6 oraz 24 godzin. Zaobserwowano minimalne zmiany na powierzchni 1 pomidora w w przypadku pomidorów nie poddanych drganiom (próba zerowa). W przypadku pomidorów poddanych drganiom w ciągu 3, 6 oraz 24 godzin zauważono spleśnienie większości pomidorów.



Rys.29. Wpływ czasu i częstotliwości 50Hz na zmiany wizualne pomidorów.

5.3. Wpływ oddziaływania mechanicznego na wybrane cechy fizykochemiczne pomidorów, winogron i borówek

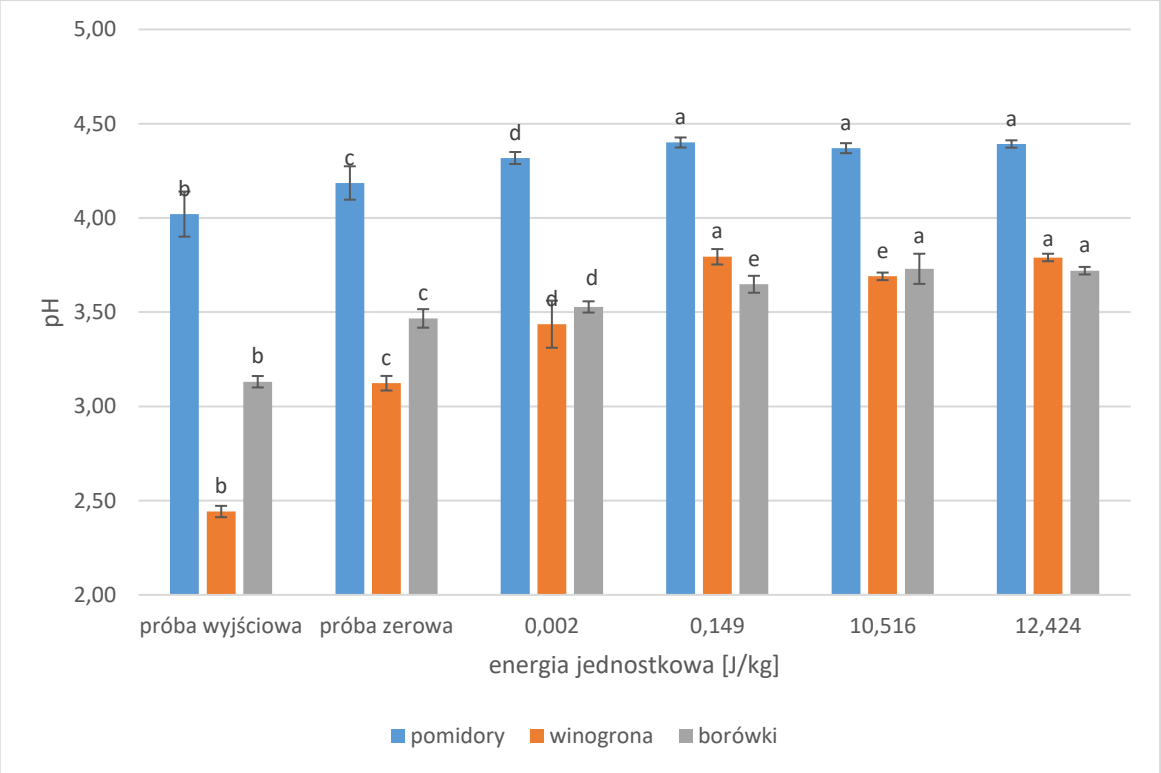
Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym opisanym w punkcie 4.5.4. Materiał badawczy oraz jego przygotowanie do prób opisano w punktach 4.1 oraz 4.2. Dla pomidorów, winogron i borówek bezpośrednio po zbiorze, po 7 dniach przechowywania oraz po każdym cyklu oddziaływań mechanicznych, wykonano oznaczenia fizykochemiczne opisane w punkcie 4.4.

5.3.1. Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na wybrane cechy pomidorów, winogron i borówek

Schemat przeprowadzonych doświadczeń opisano w punkcie 4.2.

Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na pH pomidorów, winogron i borówek

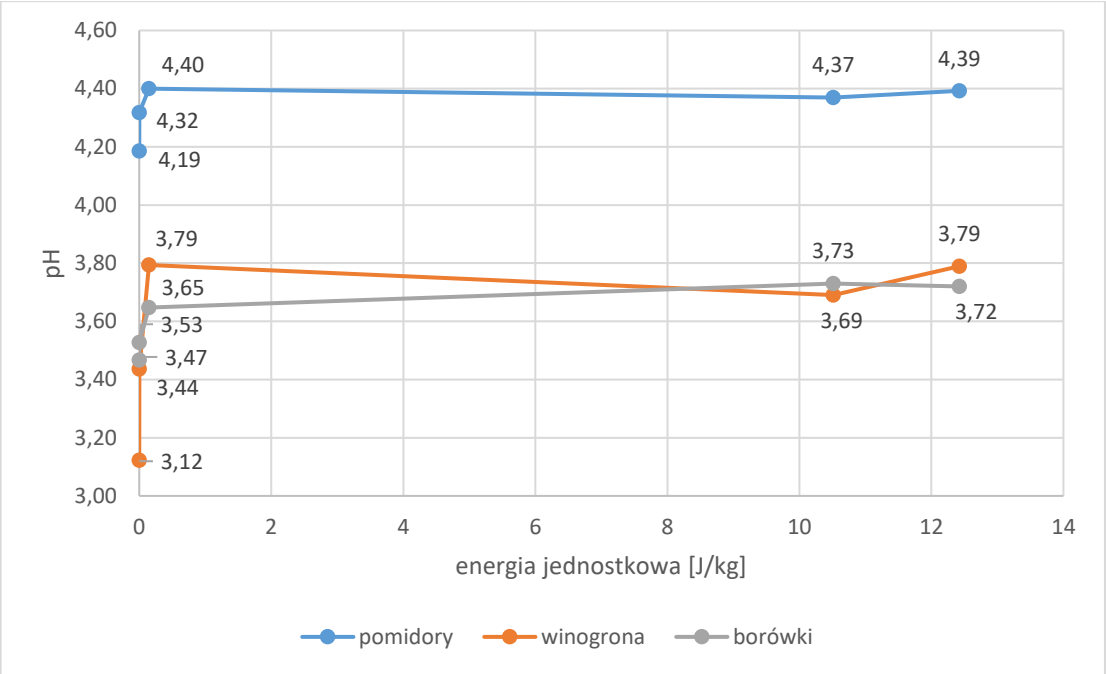
Na rysunku 30. przedstawiono istotność wpływu energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,424 J na pH pomidorów, winogron oaz borówek ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy czterech różnych poziomach dostarczonej energii w ciągu 1 godziny..



Rys.30. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań od 0 do 12,5 J/kg na pH pomidorów, winogron i borówek.

Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą w obrębie jednego koloru nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Na rys.31 przedstawiono wpływ energii jednostkowej od 0 do12,424 J/kg na pH pomidorów, winogron i borówek.



Rys.31. Wpływ energii jednostkowej 0-12,424 J/kg na pH pomidorów, winogron i borówek.

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny wzrost poziomu pH od 4,02 dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 4,19 dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 0,02 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost pH wobec pomidorów nie poddanych drganiom od wartości 4,19 do 4,32. Najwyższy poziom pH, wynoszący 4,40 wykazały pomidory, do których dostarczono energię jednostkową równą 0,149 J/kg. Dalsze zwiększenie dostarczonej energii nie skutkowało istotnymi zmianami w poziomie pH dla pozostałych pomidorów poddanych drganiom.

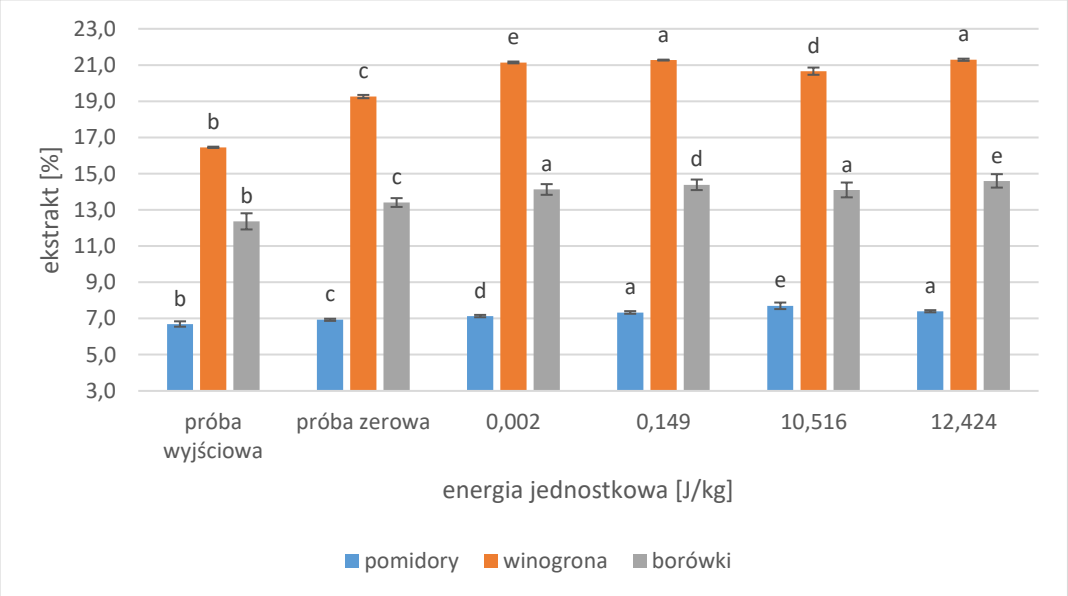
Naturalny przebieg procesów życiowych winogron spowodował statystyczny wzrost poziomu pH od 2,44 dla winogron bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 3,12 dla winogron przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do winogron energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost pH wobec winogron nie poddanych drganiom od wartości 3,12 do 3,44. Najwyższym poziomem pH, wynoszącym 3,79 charakteryzowały się pomidory, do których dostarczono energię równą 0,149 J/kg. Dalsze zwiększanie dostarczonej energii skutkowało istotnym spadkiem poziomu pH. Dla maksymalnej energii jednostkowej wynoszącej 12,424 J/kg, wartość pH winogron była statystycznie większa w stosunku do winogron nie poddanych drganiom.

Naturalny przebieg procesów życiowych borówek spowodował statystycznie istotny wzrost poziomu pH od 3,13 dla borówek bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 3,47 dla borówek przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało istotny wzrost poziomu pH wobec borówek nie poddanych drganiom, od 3,47 do 3,53. Zwiększenie dostarczonej energii skutkowało wzrostem poziomu pH, który maksymalnie wynosił 3,73 dla borówek, do których dostarczono energię równą 10,516 J. Dalszy wzrost energii nie spowodował statystycznie istotnych różnic w poziomie pH w borówkach.

Niezależnie od rodzaju surowca, obserwuje się istotny wzrost pH wraz ze wzrostem dostarczonej energii do wartości ok 0,15 J/kg.

Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na zawartość ekstraktu w pomidorach, winogronach i borówkach

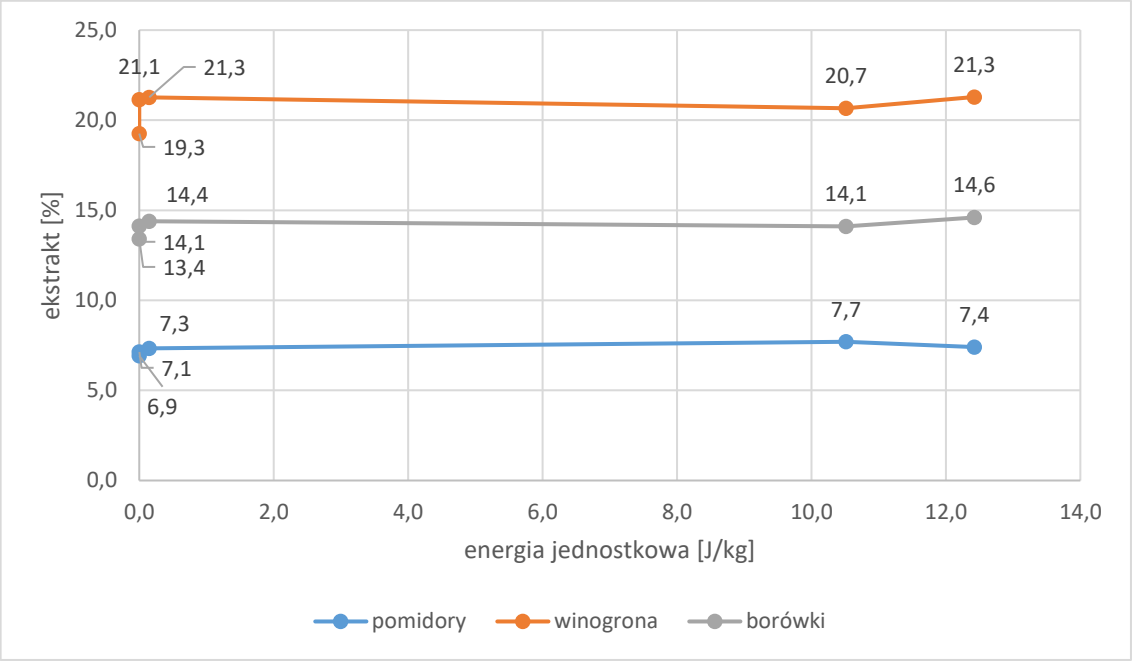
Na rysunku 32 przedstawiono istotność wpływu energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,424 J/kg na zawartość ekstraktu w pomidorach, winogronach i borówkach ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy czterech różnych poziomach dostarczonej energii w ciągu 1 godziny.



Rys.32. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań od 0 do 12,5 J/kg na zawartość ekstraktu w pomidorach, winogronach i borówkach.

Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą w obrębie jednego koloru nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Na rys.33 przedstawiono wpływ energii jednostkowej od 0 do12,424 J/kg na zawartość ekstraktu w pomidorach, winogronach i borówkach.



Rys.33. Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na zawartość ekstraktu w pomidorach, winogronach i borówkach.

.

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości ekstraktu od 6,7 % dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 6,9 % dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost ekstraktu wobec pomidorów nie poddanych drganiom od wartości 6,9 % do 7,1 %. Najwyższą zawartością ekstraktu wynoszącą 7,7 % charakteryzowały się pomidory, do których dostarczono energię równą 10,516 J/kg. Zwiększenie dostarczonej energii skutkowało istotnym zmniejszeniem zawartości ekstraktu w pomidorach. Dla maksymalnej energii wynoszącej 12,424 J/kg, zawartość ekstraktu w pomidorach istotnie różniła się od zawartości ekstraktu w pomidorach bezpośrednio po zbiorze oraz nie poddanych drganiom.

Naturalny przebieg procesów życiowych winogron spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości ekstraktu od 16,5 % dla winogron bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 19,3 % dla winogron przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do winogron energii jednostkowej o wartości 0,002 J spowodowało statystycznie istotny przyrost ekstraktu wobec winogron nie poddanych drganiom

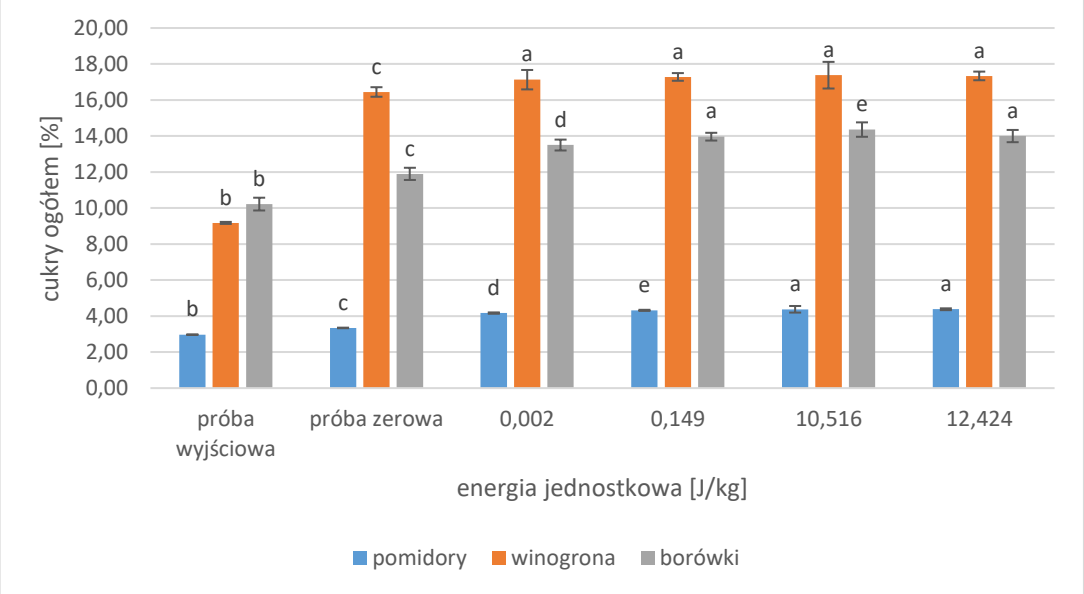
od wartości 19,3 % do 21,1 %. Zwiększenie dostarczonej energii nie skutkowało zmianami zawartości ekstraktu w winogronach, za wyjątkiem spadku zawartości ekstraktu do wartości 20,7 % dla pomidorów, którym dostarczono energię równą 10,516 J/kg.

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości ekstraktu od 12,4 % dla borówek bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 13,4 % dla borówek przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost ekstraktu wobec borówek nie poddanych drganiom od wartości 13,4 % do 14,1 %. W przypadku maksymalnej energii wynoszącej 12,424 J/kg, zawartość ekstraktu była najwyższa i wynosiła 14,6 %.

Niezależnie od rodzaju surowca, obserwuje się istotny wzrost zawartości ekstraktu wraz ze wzrostem ilości dostarczonej energii do wartości ok 0,15 J/kg.

Wpływ jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na zawartość cukrów ogółem w pomidorach, winogronach i borówkach

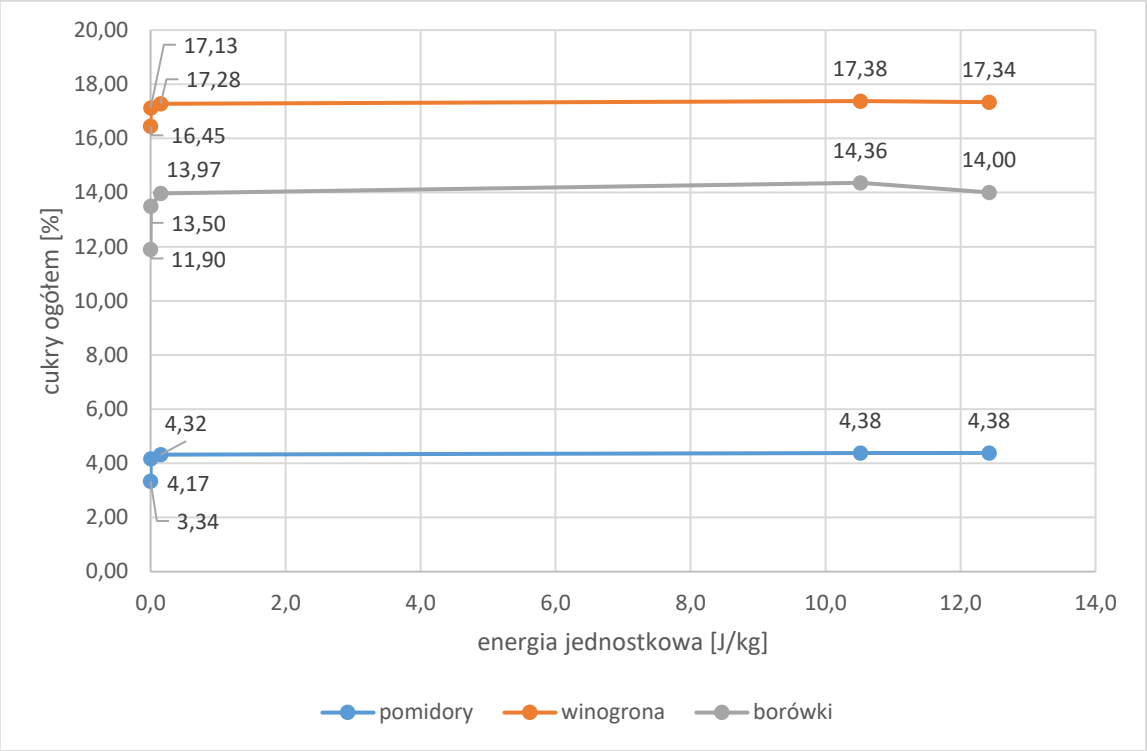
Na rysunku 34 przedstawiono istotność wpływu energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,424 J na zawartość cukrów ogółem w pomidorach, winogronach i borówkach ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy czterech różnych poziomach dostarczonej energii w ciągu 1 godziny.



Rys.34. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań od 0 do 12,5 J/kg na zawartość cukrów ogółem w pomidorach, winogronach i borówkach.

Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Na rys.35 przedstawiono wpływ energii jednostkowej od 0 do12,424 J/kg na zawartość cukrów ogółem w pomidorach, winogronach i borówkach.



Rys.35. Wpływ energii jednostkowej 0-12,424 J/kg na zawartość cukrów ogółem w pomidorach, winogronach i borówkach.

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości cukrów ogółem od 2,97 % dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 3,34 % dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost zawartości cukrów ogółem wobec pomidorów nie poddanych drganiom od wartości 3,34 % do 4,17 %. Najwyższą zawartością cukrów ogółem wynoszącą 4,38 % charakteryzowały się pomidory, do których dostarczono energię równą 10,516 J/kg. Dalsze zwiększenie dostarczonej energii nie skutkowało istotnymi zmianami cukrów ogółem dla pozostałych pomidorów poddanych drganiom

Naturalny przebieg procesów życiowych winogron spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości cukrów ogółem od 9,18 % dla winogron bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 16,45 % dla winogron przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do winogron energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost zawartości cukrów ogółem wobec winogron nie poddanych

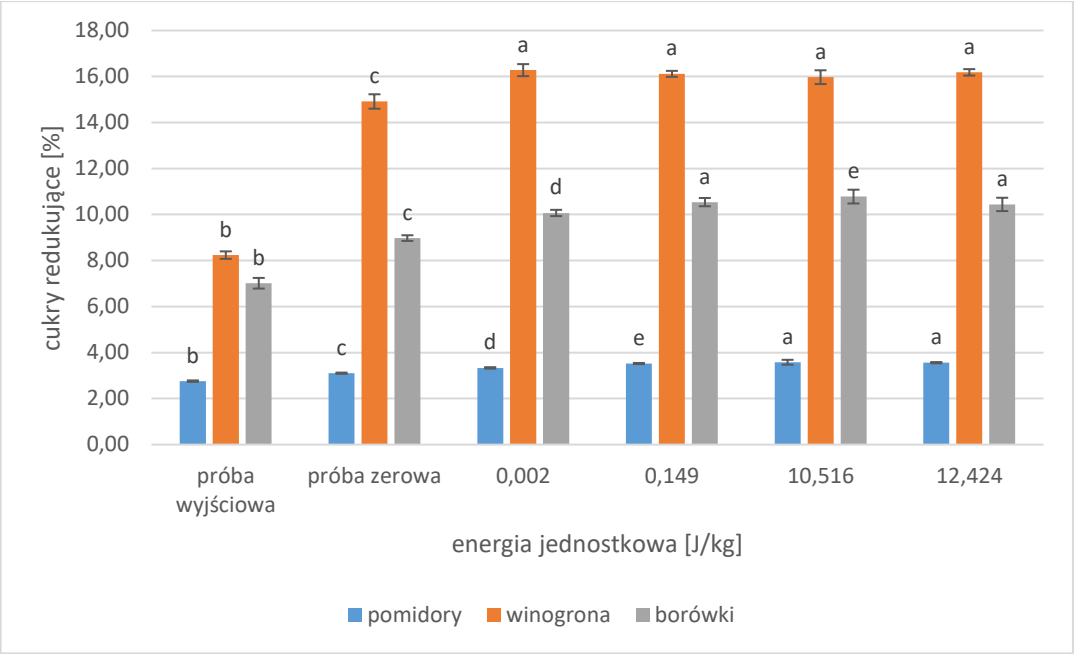
drganiom od wartości 16,45 % do 17,13 %. Zwiększenie dostarczonej energii nie skutkowało istotnymi zmianami cukrów ogółem dla pozostałych winogron poddanych drganiom.

Naturalny przebieg procesów życiowych borówek spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości cukrów ogółem od 10,22 % dla borówek bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 11,90 % dla borówek przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do borówek energii jednostkowej o wartości 0,002 /kg spowodowało statystycznie istotny przyrost zawartości cukrów ogółem wobec borówek nie poddanych drganiom od wartości 11,90 % do 13,50 %. Najwyższą zawartością cukrów ogółem wynoszącą 14,36 % charakteryzowały się borówki, do których dostarczono energię równą 10,516 J/kg. Dalsze zwiększenie dostarczonej energii skutkowało istotnym zmniejszeniem zawartości cukrów ogółem w borówkach. Dla maksymalnej energii wynoszącej 12,424 J/kg, zawartość cukrów ogółem w borówkach istotnie różniła się od zawartości cukrów ogółem w borówkach bezpośrednio po zbiorze oraz nie poddanych drganiom.

Obserwuje się istotny wzrost zawartości cukrów ogółem wraz ze wzrostem ilości dostarczonej energii do wartości ok 0,002 J/kg dla pomidorów oraz ok 10,5 J/kg dla winogron i borówek..

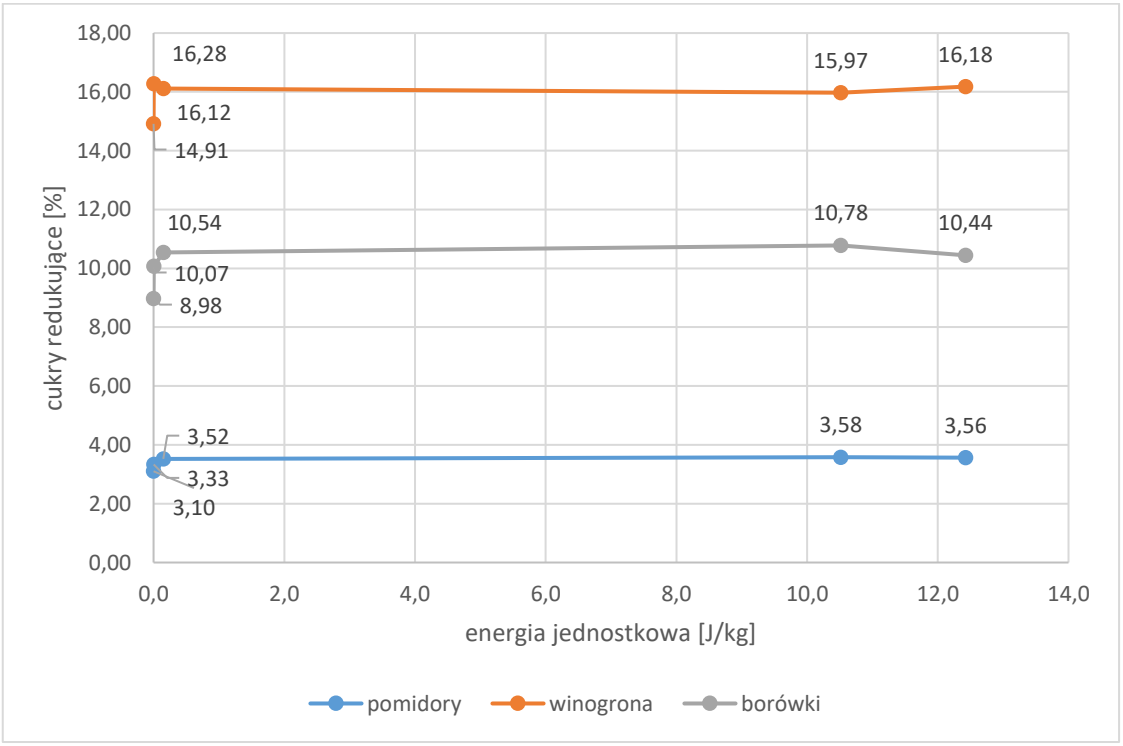
Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na zawartość cukrów redukujących w pomidorach, winogronach i borówkach

Na rysunku 36 przedstawiono istotność wpływu energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,424 J na zawartość cukrów redukujących w pomidorach, winogronach i borówkach ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy czterech różnych poziomach dostarczonej energii w ciągu 1 godziny.



Rys.36. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań od 0 do 12,5 J/kg na zawartość cukrów redukujących w pomidorach, winogronach i borówkach.
Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Na rys.37 przedstawiono wpływ energii jednostkowej od 0 do12,424 J/kg na zawartość cukrów redukujących w pomidorach, winogronach i borówkach.



Rys.37. Wpływ energii jednostkowej 0-12,424 J/kg na zawartość cukrów redukujących w pomidorach, winogronach i borówkach.

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości cukrów redukujących od 2,76 % dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 3,10 % dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost zawartości cukrów redukujących wobec pomidorów nie poddanych drganiom od wartości 3,10 % do 3,33 %. Najwyższą zawartością cukrów redukujących, wynoszącą 3,58 % charakteryzowały się pomidory, do których dostarczono energię równą 10,516 J/kg. Dalsze zwiększenie dostarczonej energii nie skutkowało istotnymi zmianami zawartości cukrów redukujących dla pozostałych pomidorów poddanych drganiom

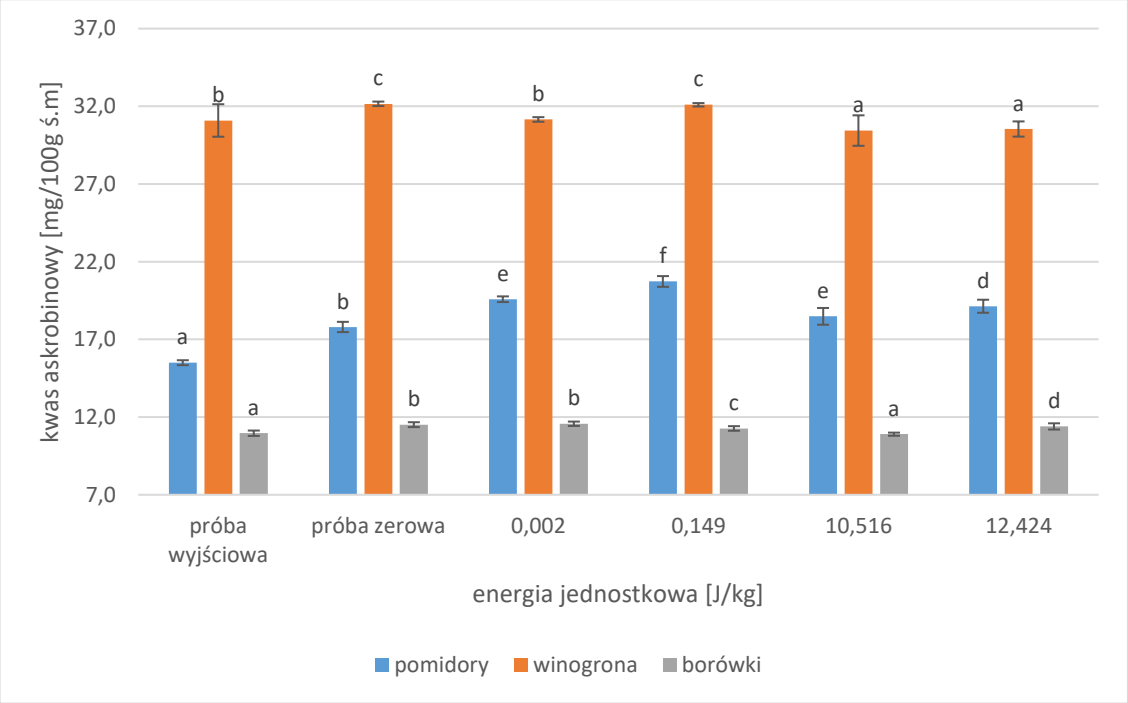
Naturalny przebieg procesów życiowych winogron spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości cukrów redukujących od 9,18 % dla winogron bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 16,45 % dla winogron przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do winogron energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost zawartości cukrów redukujących wobec winogron nie poddanych drganiom od wartości 16,45 % do 17,13 %. Zwiększenie dostarczonej energii nie skutkowało istotnymi zmianami cukrów redukujących dla pozostałych winogron poddanych drganiom.

Naturalny przebieg procesów życiowych borówek spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości cukrów redukujących od 7,01 % dla borówek bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 8,98 % dla borówek przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do borówek energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost zawartości cukrów redukujących wobec borówek nie poddanych drganiom od wartości 8,98 % do 10,07 %. Najwyższą zawartością cukrów redukujących wynoszącą 10,78 % charakteryzowały się borówki, do których dostarczono energię równą 10,516 J/kg. Dalsze zwiększenie dostarczonej energii skutkowało istotnym zmniejszeniem zawartości cukrów redukujących w borówkach. Dla maksymalnej energii wynoszącej 12,424 J/kg, zawartość cukrów redukujących w borówkach istotnie różniła się od zawartości cukrów redukujących w borówkach bezpośrednio po zbiorze oraz nie poddanych drganiom

Obserwuje się istotny wzrost zawartości cukrów ogółem wraz ze wzrostem ilości dostarczonej energii do wartości ok 0,002 J/kg dla pomidorów oraz ok 10,5 J/kg dla winogron i borówek..

Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach, winogronach i borówkach

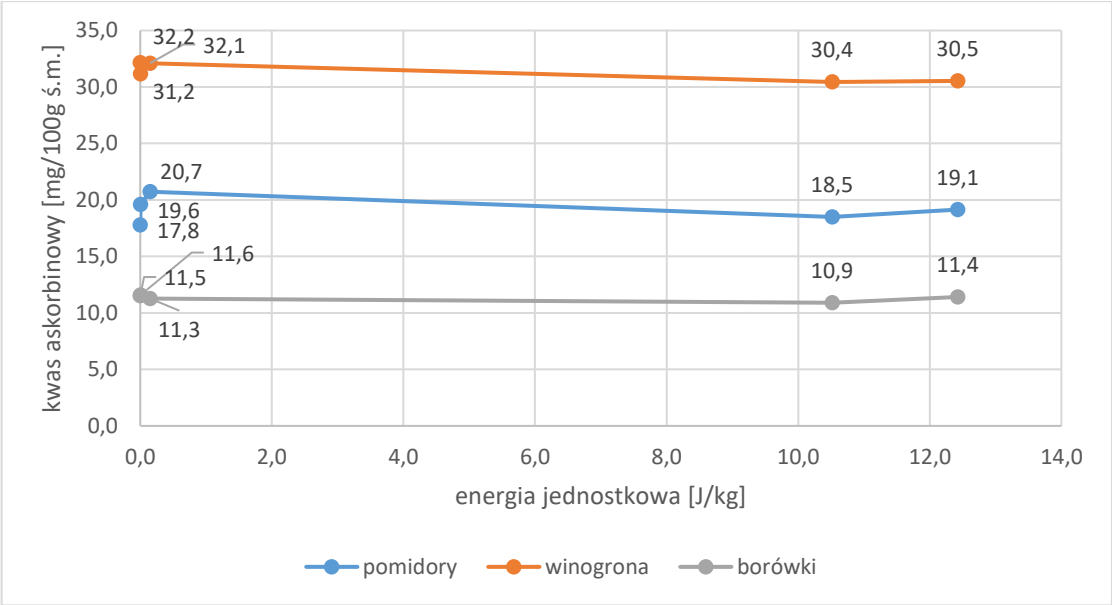
Na rysunku 38 przedstawiono istotność wpływu energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,424 J na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach, winogronach i borówkach ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy czterech różnych poziomach dostarczonej energii w ciągu 1 godziny



Rys.38. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań od 0 do 12,5 J/kg na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach, winogronach i borówkach.

Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Na rys.39 przedstawiono wpływ energii jednostkowej od 0 do12,424 J/kg na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach, winogronach i borówkach.



Rys.39. Wpływ energii jednostkowej 0-12,424 J/kg na zawartość kwasu askorbinowego w pomidorach, winogronach i borówkach.

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości kwasu askorbinowego od 15,5 mg/100g ś.m. dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 17,8 mg/100g ś.m. dla pomidorów przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 0,002 J/kg spowodowało statystycznie istotny przyrost zawartości kwasu askorbinowego wobec pomidorów nie poddanych drganiom od wartości 17,8 mg/100g ś. m. do 19,6 mg/100g ś.m. Najwyższą zawartością kwasu askorbinowego wynoszącą 20,7 mg/100g ś.m. charakteryzowały się pomidory, do których dostarczono energię równą 0,149 J/kg. Dalsze zwiększenie dostarczonej energii skutkowało istotnym zmniejszeniem zawartości kwasu askorbinowego. W przypadku maksymalnej energii wynoszącej 12,424 J/kg, zawartość kwasu askorbinowego istotnie różniła się od zawartości kwasu askorbinowego w pomidorach bezpośrednio po zbiorze oraz nie poddanych drganiom.

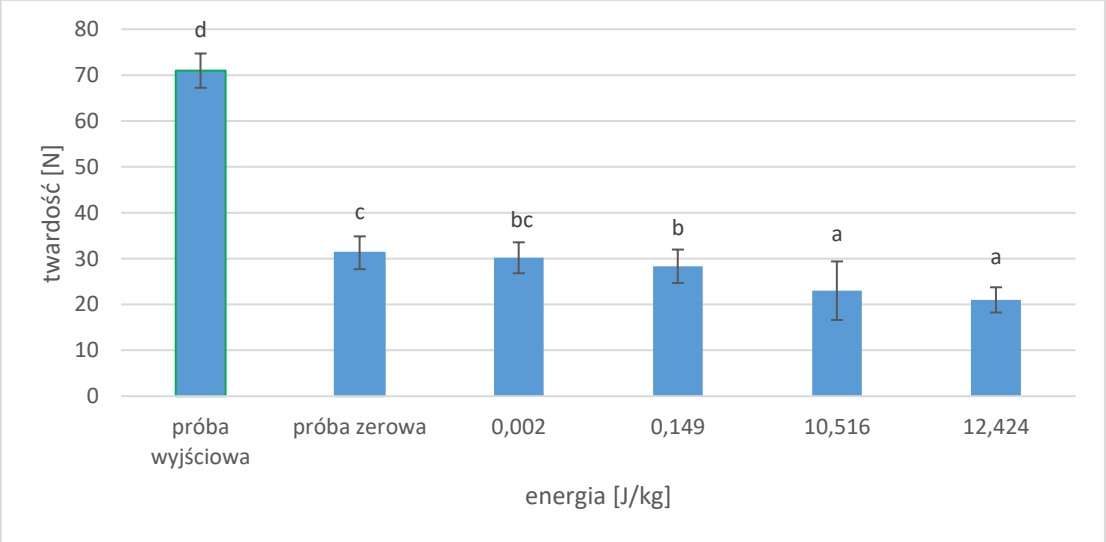
Naturalny przebieg procesów życiowych winogron spowodował statystyczny wzrost zawartości kwasu askorbinowego od 31,1 mg/100g ś.m. dla winogron bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 32,2 mg/100g ś.m. dla winogron przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Zawartość kwasu askorbinowego w winogronach, do których dostarczono energię jednostkową o wartości 0,002 J/kg była statystycznie porównywalna z zawartością kwasu askorbinowego w winogronach bezpośrednio po zbiorze. Zawartość kwasu askorbinowego w winogronach, do których dostarczono energię jednostkową

o wartości 0,149 J/kg była statystycznie porównywalna z zawartością kwasu askorbinowego w winogronach nie poddanych drganiom. Dalsze zwiększenie dostarczonej energii skutkowało niższą zawartością kwasu askorbinowego wobec winogron bezpośrednio po zbiorze i nie poddanych drganiom. .

Naturalny przebieg procesów życiowych borówek spowodował statystycznie istotny wzrost zawartości kwasu askorbinowego od 11,0 % dla borówek bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 11,5 % dla borówek przechowywanych przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie energii jednostkowej o wartości 10,516 J/kg do borówek spowodowało spadek zawartości kwasu askorbinowego do wartości nie różniącej się statystycznie od borówek bezpośrednio po zbiorze. W przypadku maksymalnej energii wynoszącej 12,424 J/kg, zawartość kwasu askorbinowego była wyższa niż dal borówek bezpośrednio po zbiorze oraz niższa niż w przypadku borówek nie poddanych drganiom.

Wpływ energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na twardość pomidorów

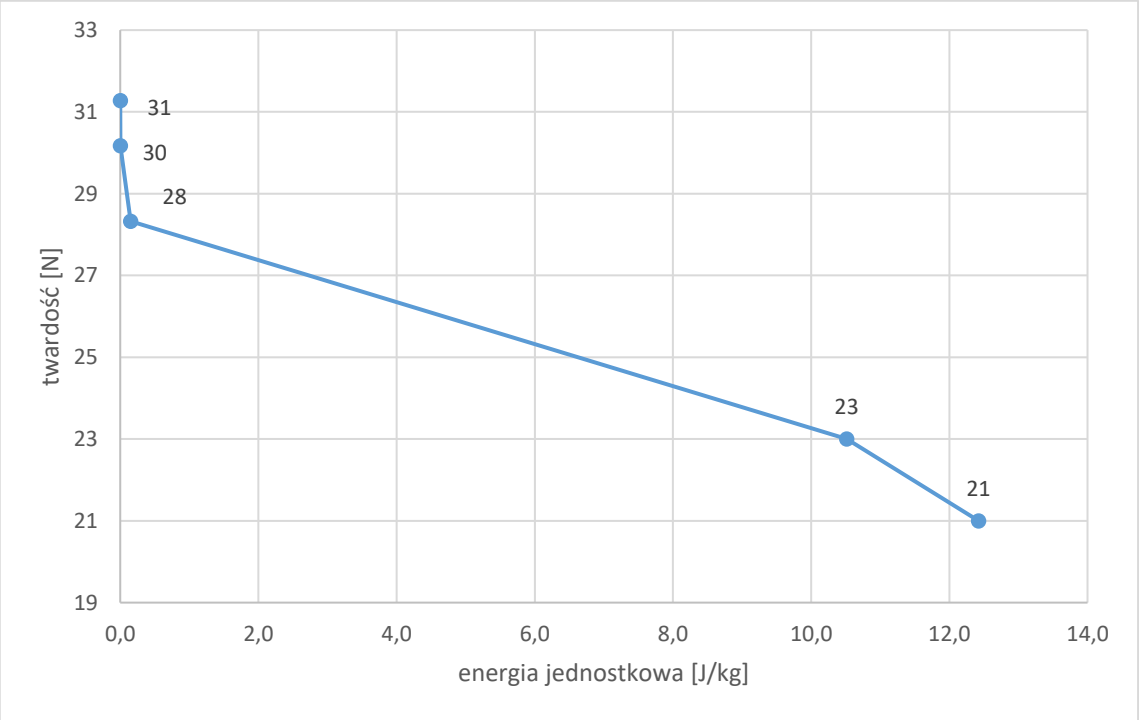
Na rysunku 40 przedstawiono istotność wpływu energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,424 J na twardość pomidorów ocenianych tuż po zbiorze (próba wyjściowa), nie poddanych drganiom (próba zerowa) oraz poddanych drganiom przy czterech różnych poziomach dostarczonej energii w ciągu 1 godziny.



Rys.40. Istotność statystyczna wpływu energii jednostkowej drgań od 0 do 12,5 J/kg na twardość pomidorów.

Objaśnienie: wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie przy p = 0,05

Na rys.41 przedstawiono wpływ energii jednostkowej od 0 do12,424 J/kg na twardość pomidorów.



Rys.41. Wpływ energii jednostkowej 0-12,424 J/kg na twardość pomidorów.

Naturalny przebieg procesów życiowych pomidorów spowodował statystycznie istotny spadek twardości od 71 N dla pomidorów bezpośrednio po zbiorze (próba wyjściowa) do 31 N dla pomidorów nie przechowywanym przez 7 dni (próba zerowa). Dostarczenie do pomidorów energii jednostkowej o wartości 0,15 J/kg spowodowało statystycznie istotny spadek twardości wobec pomidorów nie poddanych drganiom od wartości 31 N do 28 N. Zwiększenie dostarczonej energii skutkowało dalszym zmniejszaniem się twardości pomidorów. Dla maksymalnej energii jednostkowej wynoszącej 12,424 J/kg, twardość pomidorów wynosiła 21 N.

Określenie podobieństwa wpływu energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na zmiany fizykochemiczne w pomidorach, winogronach i borówkach

W tabeli 17 przedstawiono charakterystykę równania regresji liniowej opisującej wpływ energii drgań od 0,002 do 12,5 J/kg na: pH, zawartość ekstraktu (ES), zawartość cukrów

ogółem (C_O), cukrów redukujących (C_R) oraz kwasu askorbinowego (KA) dla wszystkich badanych surowców (pomidory, winogrona, borówki).

Spośród 5 analizowanych parametrów fizykochemicznych, istotne zmiany pod wpływem energii drgań wystąpiły w przypadku cukrów ogółem C_O ($t_{obl.} > t_{0,05}$; $\beta = 0,754$), kwasu askorbinowego KA ($t_{obl.} > t_{0,05}$; $\beta = -0,695$) oraz pH ($t_{obl.} > t_{0,1}$; $\beta = 0,562$).

Tabela 17

Charakterystyka równania regresji $E_{jedn} = f(pH, ES, C_O, C_R, KA)$

Wskaźniki	Parametry liniowej regresji funkcji: $E_{jedn} = f(pH, ES, C_O, C_R, KA)$			
	β	R^2	p	t
pH	0,562	0,316	0,057	2,148
ES	0,235	0,055	0,463	0,784
C_O	0,754	0,568	0,005	3,627
C_R	0,265	0,070	0,404	0,871
KA	-0,695	0,484	0,012	-3,060

Wyniki uzyskane po standaryzacji zmiennych oraz zbadaniu istotności regresji wskazują, że niezależnie od surowca, istnieje podobieństwo zmian poszczególnych badanych cech fizykochemicznych pod wpływem energii jednostkowej drgań od 0,002 do 12,5 J/kg.

6. DYSKUSJA

W pracy przeprowadzono badania nad wpływem oddziaływań mechanicznych na owoce: borówki amerykańskiej, winogrona białego oraz pomidora. Materiał badawczy stanowiły owoce w stanie niedojrzałym uwzględniając jak najkrótszy czas przekazania ich do doświadczeń. Wybór materiału badawczego oparto na danych statystycznych potwierdzających popularność owoców w handlu zagranicznym między Polską a pozostałymi krajami Unii Europejskiej. Polska jest czołowym producentem borówki amerykańskiej, której eksport wynosi ponad 80 % całej produkcji. Z kolei wśród warzyw dominuje pomidor, który obok ziemniaka jest warzywem najczęściej eksportowanym do krajów Unii Europejskiej. W roku 2013 eksport pomidorów przyjął najwyższe wartości wynoszące ok 105 tys ton podczas gdy w latach 1990-1997 wartość ta wynosiła ok 300-400 ton rocznie. Również import pomidorów do Polski jest obecnie na najwyższym poziomie i w roku 2013 wyniósł 135 tys ton podczas gdy w latach 1993-2005 wartość ta wynosiła ok 50 tys ton rocznie. Produkcja pomidora w Polsce wykazuje tendencje wzrostowe i od 2010 roku produkuje się o ok 300 tys ton więcej pomidorów w porównaniu z latami ubiegłymi. Z kolei produkcja winogron dominuje w krajach UE i wynosi ok 45% światowej produkcji. Eksport winogron z krajów EU w roku 2013 wynosił ok 1 600 tys ton [27].

Duże znaczenie miała przynależność wybranych owoców do grupy owoców i warzyw tzw miękkich, w których zmiany są łatwo obserwowalne, gdyż produkty te szybko ulegają dojrzewaniu a następnie psuciu się. Wszystkie owoce zastosowane w badaniach pochodziły z upraw krajowych.

Oznaczanymi parametrami w przeprowadzonych badaniach w zależności od wybranych do badań owoców były: poziom pH, zawartość ekstraktu, zawartość cukrów ogółem oraz cukrów redukujących, zawartość kwasu askorbinowego oraz w przypadku pomidorów- twardość. Parametry te są związane z procesami dojrzewania i w trakcie ich przebiegu zmieniają swoje wartości.

W celu określenia poziomu energii dostarczanej do produktu podczas transportowania w pierwszej kolejności wyznaczono charakterystykę drgań pojawiających się w wypełnionej ładunkiem naczepie do transportu, poprzez pomiar częstotliwości i amplitud drgań za pomocą czujnika drgań. W przypadku określania wpływu drgań na przewożony surowiec

istotnym problemem jest lokalizacja badanego ładunku wewnątrz nadwozia. Charakter drgań jest zależny od miejsca ich występowania, ogólnego załadunku nadwozia. Wyboru miejsca instalacji czujnika dokonano na podstawie badań przeprowadzonych przez niektórych autorów. Hinsh i in wykazali, że największy poziom PSD (gęstości widmowej mocy) drgań uzyskano w przypadku ładunku umieszczonego na górze w porównaniu z ładunkiem umieszczonym bliżej podłoża [25]. Potwierdzają to wyniki doświadczeń uzyskane przez Fisher i in. Autorzy poddali badaniom owoce truskawek i winogron, które umieszczone były w skrzyniach położonych na różnych wysokościach w warunkach symulowanych drgań. Najwięcej zepsutych owoców było wśród tych znajdujących się na samej górze, natomiast najmniej w przypadku owoców umieszczonych w środkowej części lub na samym dole w zależności od przedziału częstotliwości drgań [20].

W oparciu o wyniki powyższych badań, czujnik rejestrujący drgania podczas transportu drogowego umieszczono w przedniej części naczepy na najwyżej położonej skrzyni pod umieszczonym w niej surowcem. Uzyskane widma drgań pozwoliły na wyznaczenie 4 najczęściej występujących częstotliwości drgań: 12, 28, 46 oraz 50 Hz. Podobny zakres częstotliwości stosowano w pracach nad wpływem drgań na owoce gruszki [25] truskawek i winogron [20] owoców wiśni [30], owoców truskawki [40] oraz owoców kiwi [70] gdzie zanotowano częstotliwości z przedziału 0-50 Hz.

Częstotliwości wykazane w niniejszej pracy, mimo ich cyklicznego powtarzania się, nie występują przez cały czas trwania transportu w związku z czym przewożone produkty nie są na nie narażone przez cały czas. Uzyskane widma drgań pozwoliły na odczytanie amplitud drgań towarzyszącym danym częstotliwościom a na tej podstawie możliwe było przeliczenie tych wielkości na energię dostarczoną bezpośrednio do produktu. Obliczona energia podczas 12 godzinnego transportu wynosiła ok 7,1 J/kg przy uwzględnieniu czasu występowania poszczególnych częstotliwości. Zbudowane stanowisko do symulacji drgań pozwoliło na odwzorowanie częstotliwości występujących w warunkach rzeczywistych.

Stosując częstotliwości wyznaczone uprzednio w warunkach rzeczywistych, surowce poddano drganiom na stanowisku badawczym.

We wcześniejszych pracach badawczych nad wpływem drgań na owoce i warzywa jedynym parametrem związanym z drganiami jakim sterowano były częstotliwości drgań. Autorzy nie poruszyli kwestii odmienności charakteru drgań działających na produkt, na który wpływ ma oprócz częstotliwości również ich amplituda. W niniejszej pracy dokonano pomiaru amplitud dla każdej z zastosowanych częstotliwości na skonstruowanym

stanowisku badawczym a po uwzględnieniu czasu oddziaływania drgań wyznaczono energię dostarczoną do produktu. Energia ta jest wypadkową tych parametrów.

Odmiennością w stosunku do przeprowadzonych wcześniej badań nad wpływem drgań na stan surowców, jest zastosowanie do doświadczeń owoców w stanie niepełnej dojrzałości. Zatem obserwowane zmiany parametrów fizykochemicznych dotyczyły procesu dojrzewania owoców, na przebieg którego wpływ mogły mieć drgania.

W pierwszym etapie badań podjęto próbę przeanalizowania wpływu drgań na niedojrzałe owoce pomidora podczas 24godzinnego testu. Zakres energii, która została dostarczona do owoców pomidora na skutek drgań w pierwszej części badań wynosił od 0,006 do ok 300 J/kg. W przypadku oznaczanych parametrów takich jak: pH, zawartość ekstraktu oraz cukrów redukujących, zauważalna była tendencja do przyrostu tych parametrów w zakresie dostarczonej energii jednostkowej od 0,01 do ok 3,6 J/kg (która odpowiadała częstotliwościom 12 oraz 28 Hz). Przy energii ok 3,6 J/kg następował spadek wartości oznaczanych parametrów (pH, zawartość ekstraktu oraz cukrów redukujących) a dalsze zwiększanie dostarczanej energii skutkowało uzyskaniem całkowicie zróżnicowanych wyników

W oparciu o wyniki badań uzyskane przez m.in. Teka wykazujących, że pH pomidorów zależnie od stopnia dojrzałości waha się w przedziale 4,23 do 4,63, można przypuszczać, że wszystkie pomidory poddane drganiom o energii z zakresu 0,5 do 3,6 J/kg uzyskały już pełną dojrzałość, natomiast w przypadku najwyższych wartości dostarczonej energii wynoszących ponad 250 J/kg spadek pH do poziomu występującego dla pomidorów niedojrzałych przed poddaniem ich drganiom może świadczyć o tym, że tak wysoka powoduje zajście negatywnych zmian w pomidorach związanych z ich psuciem a wydzielane podczas psucia się związki mogą obniżać pH [74]. Rozpoczęcie procesów psucia potwierdzają zmiany wizualne jakie zaszły w pomidorach, które zostały poddane drganiom przy częstotliwościach 46 oraz 50 Hz w najdłuższym czasie (24 godziny).

W przypadku ekstraktu ci sami autorzy uzyskali wraz ze wzrostem stopnia dojrzałości pomidora, wzrost zawartości ekstraktu od 4,5 do 6,5 %. W przeprowadzonych w niniejszej pracy badaniach również uzyskano wzrost ekstraktu dla pomidorów przechowywanych i nie poddanych drganiom w stosunku do pomidorów tuż po zbiorze. Dostarczenie energii z zakresu 0,006 do 3,6 J/kg w postaci drgań skutkowało dalszym wzrostem ekstraktu Odmienna zawartość ekstraktu w surowcu wyjściowym w porównaniu z zawartością ekstraktu w pomidorach u wspomnianych autorów, zależeć może od gatunku i odmiany pomidorów.

W przypadku cukrów redukujących autorzy wykazali, że ich zawartość w pomidorach zależy od stopnia dojrzałości i mieści się w przedziale od 2,23 do 6,33 %. Natomiast Dalal i in. uzyskali mniejszy przyrost zawartości cukrów redukujących w zależności od stopnia dojrzałości pomidorów, od 2,40 dla pomidorów niedojrzałych do 3,65 % dla całkowicie dojrzałych pomidorów. Podobne wartości cukrów redukujących dla pomidorów niedojrzałych, przed jak i po poddaniu ich drganiom, uzyskano w niniejszej pracy. W przypadku zastosowanej energii powyżej 0,9 J/kg, zawartość cukrów redukujących w pomidorach badanych była taka sama jak zawartość cukrów redukujących w pomidorach dojrzałych u Dalal i in. Zatem na tej podstawie można przypuszczać, że dostarczenie energii powyżej 0,9 J/kg powoduje przyśpieszenie procesu dojrzewania pomidorów [16].

W badaniach przeprowadzonych przez Teka twardość pomidorów wraz z postępem ich procesu dojrzewania spadła od 3,20 do 2,20 kg/cm2 [74]. W niniejszej pracy uzyskano również spadek poziomu twardości od 69 dla pomidorów niedojrzałych do 38 N dla pomidorów dojrzałych. Jednak poddanie pomidorów drganiom o energii wyższej niż 31 J/kg skutkowało większym obniżeniem twardości pomidorów do poziomu 16 N.

W przypadku oznaczanych parametrów fizykochemicznych takich jak: pH, zawartość ekstraktu, zawartość cukrów redukujących, zauważono istotne zmiany ich wartości dla niedojrzałych pomidorów poddanych drganiom w zakresie energii przekraczającej wartość ok 0,9 J/kg (pH) oraz 0,05 J/kg (pozostałe parametry) mogących wskazywać na uzyskanie przez nie dojrzałości. Jednak dostarczenie energii z przedziału 3,6 J/kg do 31,5 J/kg powodowało istotne zmiany w kierunku spadku wartości pH, ekstraktu i cukrów redukujących oraz wzrostu twardości, co świadczyć może o negatywnych zmianach w produkcie. Uwzględniając fakt, że podczas 12godzinnego transportu oszacowana w pracy ilość energii do przewożonych produktów wynosi ok 7,1 J/kg, można więc sądzić, że transport może mieć negatywny wpływ na jakość przewożonych surowców. Stąd też w dalszej części badań założono zakres energii dostarczonej od 0 do 12,5 J/kg. Uzyskano to poprzez poddanie surowców drganiom przez 1 h przy zachowaniu wyznaczonych wcześniej częstotliwości.

W drugim etapie badań uwzględniono także owoce miękkie, najczęściej transportowane takie jak: borówka amerykańska i winogrono białe.

Porównując owoce niedojrzałe przed poddaniem ich drganiom (próba wyjściowa) oraz owoce po 7 dniach przechowywania (próba zerowa) można zauważyć, że wzrost wartości parametrów takich jak: pH, zawartość ekstraktu, zawartość cukrów ogółem i redukujących oraz zawartość kwasu askorbinowego, świadczy o naturalnie zachodzących procesach

dojrzewania. Potwierdzają to wyniki Ismail i in, oraz Tosun i in w badaniach których proces dojrzewania skutkował wzrostem parametrów takich jak: zawartość cukrów oraz ekstraktu w owocach borówki [32,76].

Dostarczenie energii z zakresu 0,002 do 0,15 lub 10,5 J/kg w postaci drgań w zależności od surowca, powodowało dalszy wzrost wartości oznaczanych parametrów, które następnie stabilizowały się lub przyjmowały tendencję spadkową.

Na tej podstawie można przypuszczać, że dostarczenie energii 0,002 do 10 J/kg skutkuje przyspieszeniem procesu dojrzewania w badanych owocach winogrona, borówki amerykańskiej oraz pomidora. Jednocześnie należy podkreślić podobieństwo zmian oznaczanych parametrów niezależnie od badanego surowca.

Zatem podsumowując wyniki badań z obu etapów, poddanie drganiom o energii 0,002 do 0,15 J/kg (oraz odpowiadających im częstotliwościach rzędu 12-28 Hz) niezależnie od czasu ich trwania a w niektórych przypadkach do energii 10,5 J/kg (częstotliwość 46 Hz oraz czas trwania 1h) skutkuje przyspieszeniem procesu dojrzewania badanych owoców, natomiast częstotliwości wyższe (46 -50 Hz) i odpowiadające im wyższe energie rzędu 12 do 300 J/kg powodowały negatywne skutki w owocach przejawiające się ich gniciem i pleśnieniem na skutek powstałych uszkodzeń.

W niniejszej pracy potwierdzono wpływ drgań na badane owoce. Może on być pozytywny przejawiający się przyspieszeniem dojrzewania owoców lub negatywny skutkujący ich psuciem. To jaki jest zależy od energii dostarczonej do owoców na skutek drgań. Jednak przyczyna pozytywnego wpływu na owoce nie jest znana i wymaga kolejnych badań.

7. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań, sformułowano następujące wnioski:

1) Wzrost energii dostarczonej do badanych surowców powodował podobny, nieliniowy wzrost mierzonych parametrów (poziom pH, zawartość ekstraktu, cukrów ogółem i redukujących).

2) Zawartość kwasu askorbinowego zmieniała się także pod wpływem zmian ilości dostarczonej energii lecz zmiany te były specyficzne dla każdego z badanych surowców.

3) Owoce pomidorów i borówek wykazały względnie większą odporność na oddziaływania mechaniczne od owoców winogron.

4) Największe zmiany poziomu pH, zawartości ekstraktu, cukrów ogółem i redukujących stwierdzono dla pomidorów i borówek pod wpływem energii drgań wynoszącej 10,5 J/kg. Natomiast dla owoców winogrona energia ta wynosiła 0,15 J/kg.

5) Wzrost energii dostarczonej do surowców ponad podane wartości nie powoduje już istotnych zmian w wartości mierzonych parametrów, a w przypadku pomidorów powoduje uszkodzenie mechaniczne sprzyjające obniżeniu trwałości konsumpcyjnej.

6) Zmierzone obciążenie mechaniczne dostarczane w czasie 12 godzinnego transportu naczepą dostosowaną do przewozu żywności wynosiło 7,1 J/kg.

7) Uwzględniając fakt odmienności cech transportowanych surowców wynikających między innymi z odmiany, gatunku itp. oraz warunków transportu określenie wpływu oddziaływań mechanicznych na stan przewożonych surowców wymaga dalszych badań.

LITERATURA

[1] Anthon, G., Strange, M., Barret M. (2011). Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. Journal of the Science of Food and Agriculture 91(7), s.1175-1181

[2] Appiah, F., Kumah, P., Idun, I. (2011). Effect of ripening stage on composition, sensory qualities and acceptability of keitt mango (mangifiera indica L.) chips. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development 11(5), s.9

[3] ASHRE Handbook (1994). Refrigeration. Systems and applications.

[4] Ayaz, F.A., Kadioglu, A., Bertift, E., Acar, C., Turna, I. (2010). Effect of fruit maturation on sugar and organic acid composition in two blueberries (Vaccinium arctostaphylos and V. myrtillus) native to Turkey. New Zeland Journal of Crop and Horticultural Science 29(2), s.137-141

[5] Bączkowicz, M. (2012). Podstawy analizy i oceny jakości żywności. Skrypt do ćwiczeń pod redakcją T.Fortuny, Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

[6] Bączyk, S., Szcześniak, Ł. (1990). Racjonalne żywienie człowieka. Warszawa: PWN

[7] Barbosa-Cánovas, G. V. (2003). Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations

[8] Becker, B.R., Fricke, A.B. (1996). Transpiration and Respiration of Fruit and Vegetables. In New Developments in Refrigeration for Food Safety and Quality. s.110-121 International Institute of Refrigeration, Paris, France and American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan,

[9] Belitz, H.D., Grosch, W. (1992). Food Chemistry (second edition). Berlin: Springer

[10] Borji, H., Mohammadi Ghehsareh, A,, Jafarpour, M. (2012). A comparison between tomato quality of mature-green and red- ripe stages in soilless culture, African Journal of Agricultural Research, 7(10), s.1601-1603

[11] Brown, I., Rosner, B., Willett, W.W. (1999). Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. The American Journal of Clinical Nutrition, 69,, s. 30–42.

[12] Butterworth, C.E. (1994). Vitamin safety: a current appraisal. Vitamin Nutrition Information Service 5(1), s.1-10

[13] Clutter, M.E., Miller, E.V. (1961). Ascorbic acid and time ripening of tomatoes. Economic Botany 15, s. 218-222.

[14] Coombe, B.G. (1987). Distribution of solutes within the developing grape in relation to its morphology. American Journal of Enology and Viticulture 38, s.127-129.

[15] Czernyszewicz, E. (2011). Jakość owoców w ocenie konsumenckiej. ŻYWNOŚĆ. Nauka. Technologia. Jakość. 5(78), s.173-187

[16] Dalal, K.B., Salunkhe, D.K., Bee, A.A., Olson, L.E. (1965). Certain physiological and biochemical changes in the developing tomato fruit (Lycopersieon esculentum Mill.). Journal of Food Science 30, s. 504-508.

[17] Dauchet, L., Amouyel, P., Dallongeville, J. (2009). Fruits, vegetables and coronary heart disease. Nature Reviews Cardiology 6, s. 599–608.

[18] Engel, Z. (1981). Drgania w technice. Kraków: Polska Akademia Nauk

[19] Filipiak, T., Maciejczak, M. (2010). Sektor warzywniczy w Polsce i wybranych krajach UE. Zeszyty Naukowe SGGW – Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej 84, s. 99-110

[20] Fisher, D., Craig, W.L., Watada, A.E., Douglas, W., Ashby, B.H. (1992). Simulated in-transit vibration damage to packaged fresh market grapes and strawberries. Applied Engineering in Agriculture 8(3), s.363-366

[21] Fonseca, S.C., Oliviera, F.A.R., Brecht, J.K. (2002). Modeling respiration rate of fresh fruit and vegetables for modified atmosphere packages: a review. Journal of Food Engineering 52, s.99-119

[22] Gaffney, J.J., C.D. Baird, and K.V. (1985). Influence of Airflow Rate, Respiration, Evaporative Cooling and Other Factors Affecting Weight Loss Calculations for Fruits and Vegetables. ASHRAE Transactions 91(1B), s. 690-707

[23] Górnicki, B. (1971). Żywienie dzieci zdrowych i chorych. Warszawa: PZWL

[24] Hartog, J.P. (1971). Drgania mechaniczne. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe

[25] Hinsch, R.T., Slaughter, D.C., Craig, W.L., Thompson, J.E. (1993). Vibration of fresh fruit and vegetables during refrigerated truck transport. American Society of Agricultural Engineers 36(4), s.1039-1042.

[26] http://agridr.in/tnauEAgri/eagri50/HORT381/pdf/lec02.pdf

[27] http://faostat.fao.org/

[28] http://pbc.gda.pl/Content/8290/phd_piasek_anita.pdf?handler=pdf

[29] Idaszewska, N., Bieńczak, K. (2011). Łączenie owoców i warzyw transportowanych w jednej komorze na dalekich dystansach. Logistyka 3, CD1

[30] Ishikawa, Y., Kitazawa, H., Shiina, T. (2009). Vibration and shock analysis of fruit and vegetables transport. Japan Agricultural Research Quarterly 43(2), s. 129-135

[31] Islam K., Khan M. Z. H., Sarkar M. A. R., Nurul Absar, Sarkar S. K. (2013). Changes in Acidity, TSS, and Sugar Content at Different Storage Periods of the Postharvest Mango (Mangifera indica L.) Influenced by International Journal of Food Science, s.8

[32] Ismail, A.,A., Kender, W., J. (1974). Physical and Chemical Changes Associated with the Development of the Lowbush Blueberry Fruit Vaccinium Angustifolium Ait, Calendula Horticultural Books Anacortes, WA, U.S.A.

[33] Izajasz-Parchańska, M., Cioch, M., Tuszyński, T. (2014). Monitoring parametrów dojrzałości technologicznej winogron na terenie małopolskiej winnicy Srebrna Góra w sezonie wegetacyjnym. Acta Agrophysica, 21(3), s.263-278.

[34] Jąder, K. (2014). Zmiany w konsumpcji owoców i ich przetworów w Polsce w latach 1998-2012, Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich 101(3), s.98-106

[35] Jane, B.E. (1941). Some chemical differences between artificially produced parthenocarpic fruits and normal seed fruits of tomato. American Journal of Botany 28, s. 639

[36] Kader, A.A. (2002). Post-harvest technology of horticultural crops. Oakland: University of California. Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3311, s. 535

[37] Kader, F., Rovel, B., Metche, M. (1993). Role of invertase in sugar content in highbush blueberries (Vaccinium corymbosum L.). Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 26, s.593-595

[38] Kader,.A.A., Rolle, R.S. (2004). The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations

[39] Kennedy, J.A., Matthews, M.A., Waterhouse, A.L. (2000). Changes in grape seed polyphenols during fruit ripening. Phytochemistry 55, s. 77-85

[40] Kojima, T., Liu, J., Fujita, S., Inaba, S., Tanaka, M., Tatara, I. (1990). Analysis of vibration and its effects on strawberries during highway transport. Japan Agricultural Research Quarterly 3, s.197-203

[41] Kopcewicz, J., Lewak, S. (2006). Podstawy fizjologii roślin. Warszawa: PWN

[42] Kowalik, P., Scalenghe, R. (2009). Potrzeby wodne roślin energetycznych jako problem oddziaływania na środowisko w Polsce. Polska inżynieria środowiska 5 lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej 3(60), Lublin: PAN

[43] Kushman, L.J., Ballinger, W.E. (1968). Acid and sugar changes during ripening in 'Wolcott' blueberries. Proceedings of the American Society of Horticultural Science 92, s.290-296

[44] Leshem, Y., Halevy, A.H., Frenkel, C. (1986). Fruit Ripening. In: Processes and control of plant senescence. Elsevier Science Publishers B.V, s.162-201.

[45] Mahajan, P.V., Oliviera, F.A.R., Montanez, J.C., Fras, J. (2007). Development of user-friendly software for design of modified atmsphere packaging for fresh and fresh-cut produce. Innovative Food Science & Emerging Technologies 8, s.84-92

[46] Mahmood, T, Anwar, F, Abbas, M, Boyce, MC, Saari, N. (2012). Compositional variation in sugars and organic acids at different maturity stages in selected small fruits from Pakistan. International Journal of Molecular Sciences, 13, s.1380–1392

[47] Majidi, H., Minaei, S., Almasi, M., Mostofi, Y. (2011). Total Soluble Solids, Titratable Acidity and Repining Index of Tomato In Various Storage Conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12), s.1723-1726,

[48] Markakis, P., Jarczyk, A., Krishna, S.P. (1963). Nonvolatile acids of blueberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry 11, s.8-11

[49] Michalczyk, M., Macura, R. (2008). Wpływ warunków przechowywania na jakość wybranych dostępnych w obrocie handlowym, mało przetworzonych produktów warzywnych. ŻYWNOŚĆ. Nauka. Technologia. Jakość, 3(58), s. 96-107

[50] Milosz, P. (2013). Warunki przechowywania owoców i skutki ich nieprzestrzegania. Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna 8, s. 355-361

[51] Moneruzzaman, K.M., Hossain, A.B.M.S., Sani, W., Saifuddin, M. (2008). Effect of storages of maturity and ripening conditions on the biochemical characteristics of tomato. American Journal of Biochemistry and Biotechnology. 4 (4), s. 336-344.

[52] Nelson, E.K. (1927). The non-volatile acids of pears, quince, apple, loganberry, blueberry, cranberry, lemon, pomegranate. Journal of American Chemical Society 49, s. 130—132

[53] Niewczas, J., Mirek, M. (2004). Zmiany zawartości sacharydów podczas przechowywania owoców dyni olbrzymiej (Cucurbita maxima). ŻYWNOŚĆ. Nauka. Technologia. Jakość 2(40), s.166-174

[54] Olliver,, M. (1967). Occurrence in foods. In: The Vitamins. New York: Academic Press. s. 359-367

[55] Palich, P., Świtka, J. (1988). Wpływ wibracji w transporcie na zachowanie jakości owoców i warzyw. Problemy transport i magazynowania 3(4), s.5-7

[56] Paulson, K., Stevens, M. (1974). Relationsips among titratable acidity, pH and buffer composition of tomato fruits. Journal of Food Science 39, s. 254-357

[57] Peynaud, E., Ribereau-Gayon, G.P. (1971). The grape. In Hulme AC (ed.), The Biochemistry of Fruits and Their Products 2, London Academic Press, s.179-205

[58] PN-90/A-75101/02. Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie zawartości ekstraktu ogólnego

[59] PN-A-04019:1998, Produkty spożywcze. Oznaczanie zawartości witaminy C

[60] PN-EN 1132-1999, Soki owocowe i warzywne. Oznaczanie pH.

[61] Possner, D., Kliewer, W.M. (1985). The location of acid, sugars, potassium and calcium in developing grape berries. Vitis 24, 1985, s.229-40

[62] Reiss, R., Johnston, J., Tucker, K., Desesso, J.M., Keen, C.L. (2012). Estimation of cancer risks and benefits associated with a potential increased consumption of fruits and vegetables. Food and Chemical Toxicology 50, s. 4421–4427

[63] Rick, C.M. (1978). The tomato. Scientific American 239 (2), 66-76.

[64] Rosa, J.T. (1925). Ripening of tomatoes. Proceedings of the American Society for Horticultural Science. 22, s.315-322.

[65] Saito, K., Kasai, Z. (1978). Conversion of labeled substrates to sugars cell wall polysaccharides and tataric acid in grape berries. Plant Physiology 62, s.215 - 219

[66] Salunkhe, D.K., Jadhav, S.J., Yu, M.H.(1974). Quality and nutritinal composition of tomato fruit as influenced by certain biochemical and physiological changes. Qualitas Plantarum, 10(24), s.85-113

[67] Sastry, S.K., Baird, C.D., Buffington, D.E. (1988). Transpiration Rates of Certain Fruits and Vegetables. ASHRAE Transactions 84(1), s.237-254.

[68] Shahbazi, F., Rajabipour, A., Mohtasebi, S., Rafie, Sh. (2010). Simulated in-transit vibration damage to watermelons. Journal of Agricultural Science and Technology 12, s.23-34

[69] Shaw, D.V. (1988). Genotypic variation and genotypic correlation for sugars and organic acids of strawberries. Journal of American Society of Horticultural Science 113,s. 770-774

[70] Starkowski, D., Bieńczak, K., Zwierzycki, W. (2012). Samochodowy transport krajowy i międzynarodowy, Przepisy prawne. Poznań: Wydawnictwo Systherm

[71] Szymański G.M. (2005). Analiza możliwości zastosowania wybranych charakterystyk sygnału drganiowego do diagnostyki silnika spalinowego. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań, s. 40-50

[72] Tabatabeakoloor, R., Hashemi, S.J., Taghizade, G. (2013). Vibration damage to kiwifruit during road transportation. International Journal of Agriculture and Food Science Technology 4 (5), s.467-474

[73] Talburt, W.H., Smith, O. (1987). Potato Processing. IV wyd. New York: AVI Nonstrand Reinhold Company,

[74] Teka, A.T. (2013). Analysis of the effect of maturity stage on the postharvest biochemical quality characteristics of tomato (Lycopersican esculentum MILL.) fruit. International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Scences 3(5), s.180-186

[75] Thompson, A.K. (2010). Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables. CAB Internatoonal, s 78

[76] Tosun, I., Ustun, N.S., Telguler, B. (2008). Physical and chemical changes during ripening od blackberry fruits. Science Agricola 65, s.87-90

[77] Walkowiak- Tomczak, D. (2009). Wpływ stopnia dojrzałości na parametry fizyko-chemiczne i zawartość związków polifenolowych w wybranych odmianach śliwek (Prunus domestica). Nauka Przyroda Technologie 3,4 #149

[78] Watada, A.E.; Herner, R.C.; Kader, A.A.; Romani, R.J.; Staby, G.L. (1984). Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops. Hortscience 19, s.20-21

[79] Watkins, C. B., Nock, J. F. (2012). Production Guide for Storage of Organic Fruits and Vegetables. New York State Department of Agriculture & Markets, Publ. #10

[80] Winkler, A.J., Cook, J.A., Kliwer, W.M., Lider, L.A. (1974). General Viticulture. Berkley, CA: University of California Press

[81] Woodruff, R.E., Dewey, D.H., Sell, H.M. (1960). Chemical changes of Jersey and Rubel blueberry fruit associated with ripening and deterioration. Proceedings of the American Society of Hirticultural Science 75, s.387-401

[82] Yu, M.H., Olson, L.E. & Salunkhe, D.K. (1967). Precursors of volatile components in tomato fruit- I. Compositional changes during development. Phytochemistry 6, s.1457-1465.

[83] Zhou, R., Su, S., Yan, L., Li, Y. (2007). Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of Huanghua pears (Pyrus pyrifolia Nakai, cv.Huanghua). Postharvest Biology and Technology 46, s.20-28

ZAŁĄCZNIKI

Rys.Z.1. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas pierwszej godziny. 109

Rys.Z.2. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas drugiej godziny 109

Rys.Z.3. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas trzeciej godziny..... 109

Rys.Z.4. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas czwartej godziny. 110

Rys.Z.5. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas piątej godziny. 110

Rys.Z.6. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas szóstej godziny. 110

Rys.Z.7. Charakterystyka przetwornika drgań, typ 4322 111

Tabela Z.1. 112

Wyniki częstotliwości, amplitudy przyspieszenia, amplitudy przemieszczania oraz energii dostarczonej do produktu podczas 1 h transportu w warunkach rzeczywistych na podstawie wybranego widma. 112

Tab.Z.4. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów przed 24-godzinnym testem- próba wyjściowa. 113

Tab.Z.5. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów przed 24-godzinnym testem- próba zerowa..... 113

Tab.Z.6. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów po 3, 6 oraz 24 godzinach poddania drganiom przy częstotliwości 12 Hz. 115

Tab.Z.7. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów po 3, 6 oraz 24 godzinach poddania drganiom przy częstotliwości 28 Hz. 116

Tab.Z.8. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów po 3, 6 oraz 24 godzinach poddania drganiom przy częstotliwości 46 Hz. 117

Tab.Z.9. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów po 3, 6 oraz 24 godzinach poddania drganiom przy częstotliwości 50 Hz. 118

Tab.Z.10. Wyniki pH dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 119

Tab.Z.11. Wyniki zawartości ekstraktu dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 120

Tab.Z.12. Wyniki zawartości cukrów ogółem dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 120

Tab.Z.13 Wyniki zawartości cukrów redukujących dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 121

Tab.Z.14. Wyniki zawartości kwasu askorbinowego dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 122

Tab.Z.15. Wyniki twardości dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 123

Tab.Z.16. Wyniki pH dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 124

Tab.Z.17. Wyniki zawartości ekstraktu dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 126

Tab.Z.18. Wyniki zawartości cukrów ogółem dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 127

Tab.Z.19 Wyniki zawartości cukrów redukujących dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 128

Tab.Z.20 Wyniki zawartości kwasu askorbinowego dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 129

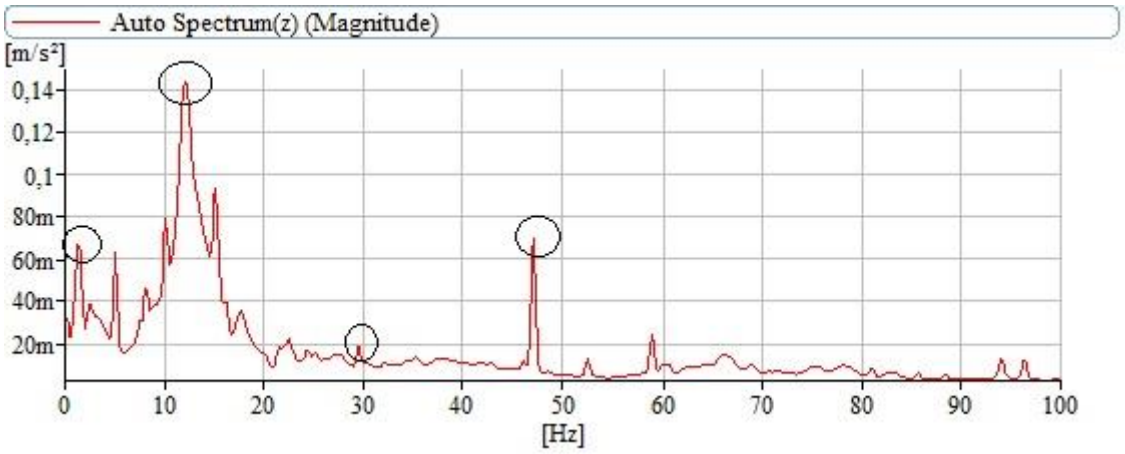
Tab.Z.21. Wyniki pH dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.. 129

Tab.Z.22. Wyniki zawartości ekstraktu dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 131

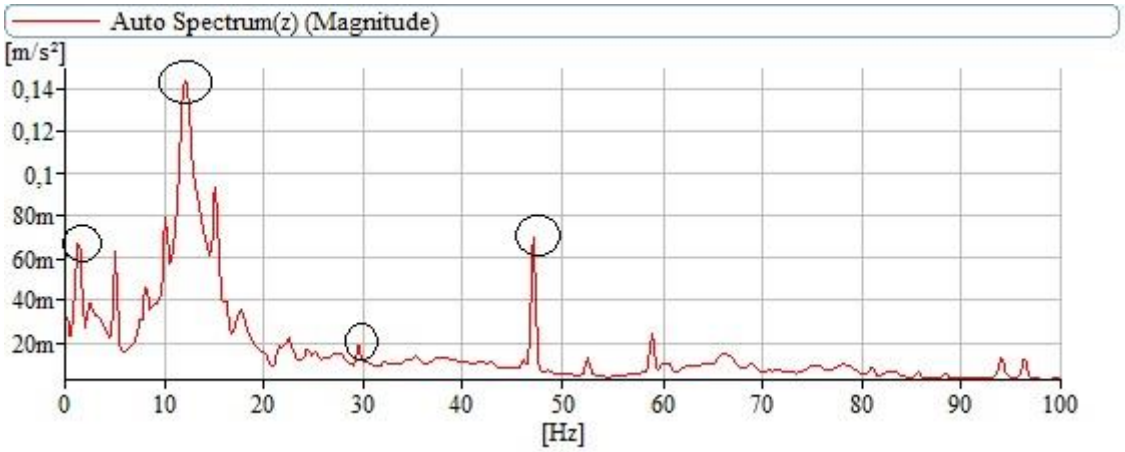
Tab.Z.23. Wyniki zawartości cukrów ogółem dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 132

Tab.Z.24. Wyniki zawartości cukrów redukujących dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 133

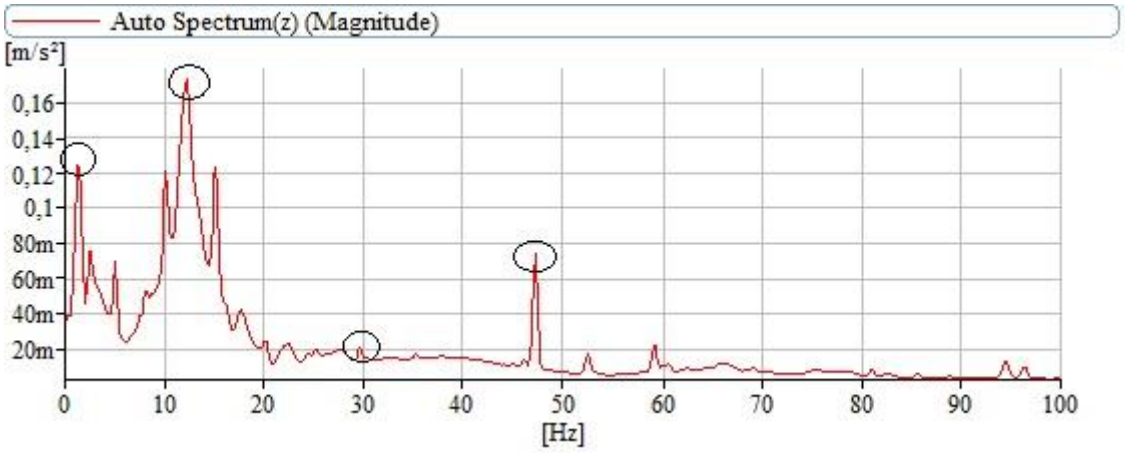
Tab.Z.25. Wyniki zawartości kwasu askorbinowego dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu. 134



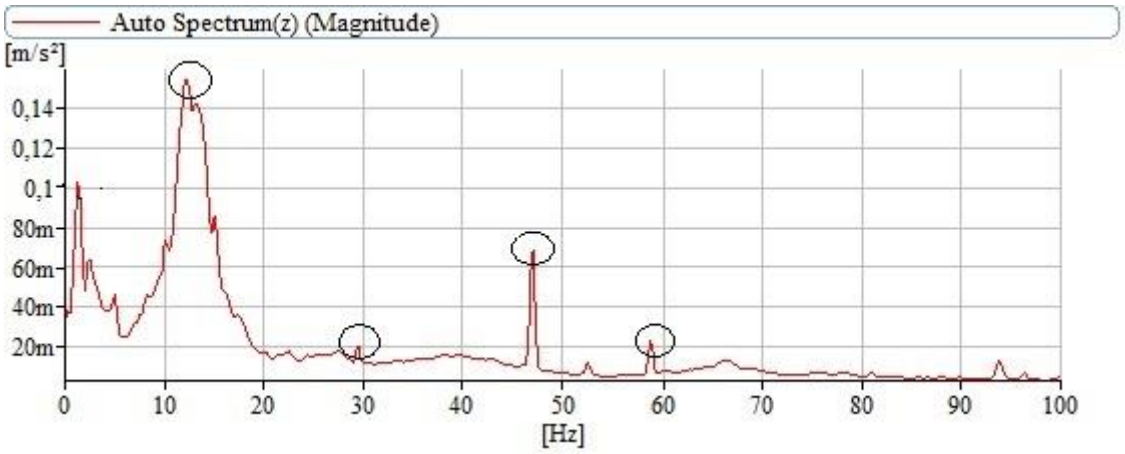
Rys.Z.1. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas pierwszej godziny.



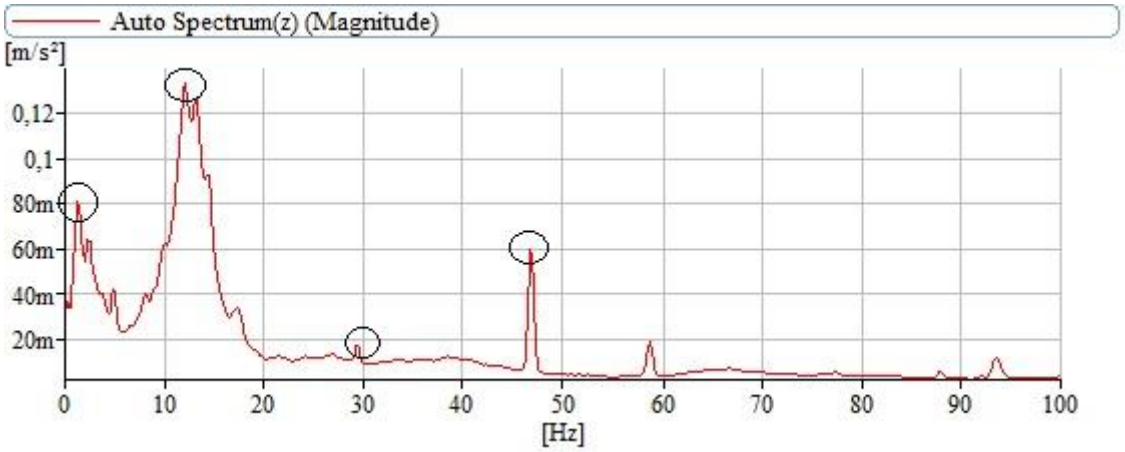
Rys.Z.2. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas drugiej godziny



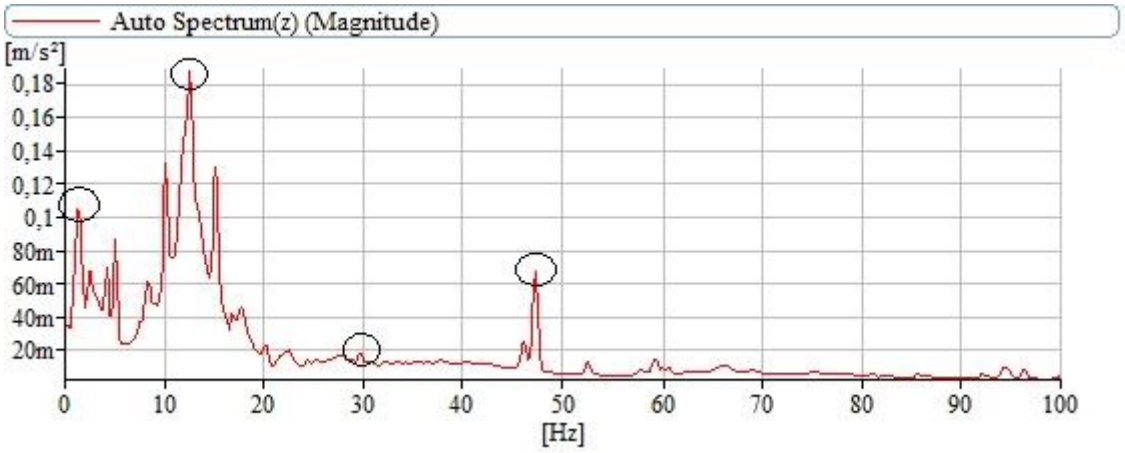
Rys.Z.3. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas trzeciej godziny.



Rys.Z.4. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas czwartej godziny.



Rys.Z.5. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas piątej godziny.



Rys.Z.6. Widmo drgań uzyskane podczas rzeczywistego transportu drogowego podczas szóstej godziny.

Rys.Z.7. Charakterystyka przetwornika drgań, typ 4322

Brüel & Kjær

Calibration Chart for Triaxial Seat-Accelerometer Type 4322

Serial No.: 2261768

Reference Sensitivity [1]
at 159.2 Hz
(ω = 1000 s^{-1}),
20 ms^{-2} RMS
and 22 C:

	X-	Y-	Z-	axis
	0.992	1.003	1.016	pC/ms^{-2}
	9.72	9.84	9.97	pC/g

Frequency Range:
Built-in accelerometer
(+8, -2 %): 0.1-2 k 0.1-2 k 0.1-2 k Hz
Complete seat accelerometer on simulated seat
(+8, -2 %): 0.1-100 0.1-100 0.1-100 Hz

Transverse Sensitivity [2] re ref. sens.:
Maximum (at 30 Hz, 100 ms^{-2}):

0.2	3.6	1.4	%

Polarity of the electrical signals are positive for an acceleration in the direction of the arrows on the drawing.

Electrical:

Capacitance of Transducer (incl. cable): 1200 pF

Insulation Resistance:
(sensing element): > 20 Gohm

Ground Loops can introduce error signals. These can be avoided by insulating the accelerometer from the mounting surface.

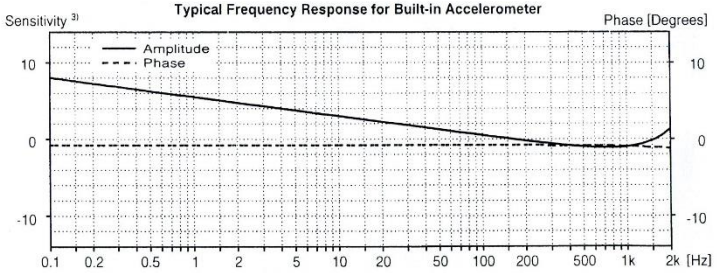
[1] This calibration which is on the built-in accelerometer is traceable to the National Institute of Standards and Technology, USA and Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany.
The expanded uncertainty is 1.0% determined in accordance with EAL-R2. A coverage factor $k = 2$ is used. This corresponds to a coverage probability of 95% for a normal distribution.

[2] The uncertainty is 0.3% of Reference Sensitivity.

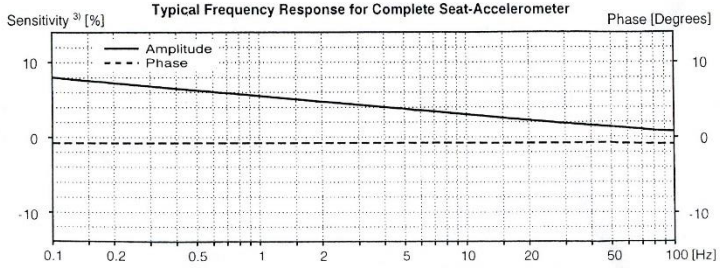
For further information, please see http://www.bk.dk and Product Data Sheet BP 0582.

CE

Typical Frequency Response for Built-in Accelerometer



Typical Frequency Response for Complete Seat-Accelerometer

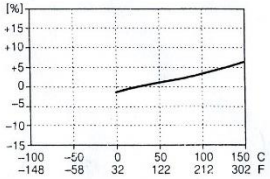


[3] Deviation from Reference Sensitivity

Environmental:

Temperature Range: −10 to +70 C (+14 to +158 F)
for short periods: − 60 to +150 C (+76 to +302 F)

Sensitivity Deviation vs. Temperature



Temperature Transient Sensitivity
(3 Hz Low. Lim.Frq. (−3 dB, 6 dB/oct.)): 0.05 ms^{-2}/ C

Magnetic Sensitivity (50Hz, 0.038 T): 2 ms^{-2}/T

Acoustic Sensitivity (154 dB SPL): 0.02 ms^{-2}

Humidity: 90 % RH non-condensing

Mechanical:

Materials:
Accelerometer Case: Nickel-plated brass
Base Disc: Nickel-plated brass
Moulded Cushion: Oil resistant nitrile rubber, hardness ~80 IRHD
Sensing Element: Piezoelectric Type PZ 27

Construction: Delta Shear®

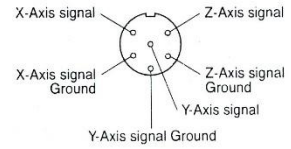
Sealing: sealed

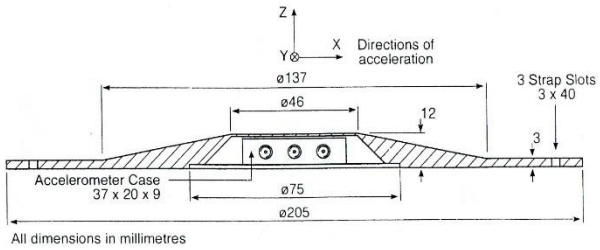
Weight (excl. cable): 390 grams (13.8 oz)

Cable: Three in one, low-noise, individually shielded, teflon insulated, 3 m (10 ft), 3 mm diameter

Electrical connectors:
Accelerometer end: 3 x 10 - 32 UNF
Remote end: 6-pin DIN screw-locking plug JP 0602

Pin Connections looking from soldering side of the plug





All dimensions in millimetres

Date 4 Oct 2001 Operator MO

Specifications obtained in accordance with ANSI S2.11-1969 and parts of ISO 5347.
All values are typical at 25 C (77 F) unless measurement uncertainty is specified.

BC 0130-14

Triaxial Seat-Accelerometer Type 4322

Serial No.: 2261768

Tabela Z.1.

Wyniki częstotliwości, amplitudy przyspieszenia, amplitudy przemieszczania oraz energii dostarczonej do produktu podczas 1 h transportu w warunkach rzeczywistych na podstawie wybranego widma.

Częstotliwość [Hz]	Amplituda przyspieszenia [m/s^2]	Amplituda przemieszczenia [m]	Energia całkowita [J]	Energia jednostkowa [J/kg]
0,5	0,015	0,0014736	3,21135E-05	1,07045E-05
0,63	0,019	0,0012320	3,56403E-05	1,18801E-05
0,8	0,030	0,0011690	5,17406E-05	1,72469E-05
1	0,047	0,0011899	8,37648E-05	2,79216E-05
1,25	0,065	0,0010626	0,000104374	3,47912E-05
1,6	0,063	0,0006270	5,95434E-05	1,98478E-05
2	0,053	0,0003390	2,71974E-05	9,06579E-06
2,5	0,073	0,0002977	3,27641E-05	1,09214E-05
3,15	0,055	0,0001403	1,1547E-05	3,84902E-06
4	0,053	0,0000840	6,67264E-06	2,22421E-06
5	0,062	0,0000632	5,9065E-06	1,96883E-06
6,3	0,047	0,0000299	2,09553E-06	6,98509E-07
8	0,077	0,0000305	3,52994E-06	1,17665E-06
10	0,151	0,0000382	8,64778E-06	2,88259E-06
12,5	0,309	0,0000501	2,32282E-05	7,74275E-06
16	0,174	0,0000172	4,48779E-06	1,49593E-06
20	0,057	0,0000036	3,11146E-07	1,03715E-07
25	0,045	0,0000018	1,21469E-07	4,04897E-08
31,5	0,047	0,0000012	8,53719E-08	2,84573E-08
40	0,058	0,0000009	7,98415E-08	2,66138E-08
50	0,073	0,0000007	8,17459E-08	2,72486E-08
63	0,046	0,0000003	2,03957E-08	6,79857E-09
		Suma	0,000493953	**0,000164651**
			Suma (po 1 h)	**0,593**
			Suma (po 3 h)	**1,778**
			Suma (po 6 h)	**3,556**
			Suma (po 12 h)	**7,113**

Tab.Z.4. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów przed 24-godzinnym testem- próba wyjściowa.

	pH	Ekstrakt [%]	Cukry redukujące [%]	Kwas askorbinowy [mg/100g]	Twardość [N]
	3,65	5	2,45	18,2	72
	3,72	5	2,48	16	65
	3,55	5,5	2,32	25	62
	3,78	6	2,35	25	78
	3,25	5,5	2,39	22,7	71
	3,58	5,4	2,38	18,2	64
Średnia	3,59	5,40	2,40	20,85	68,7
Odchylenie standardowe	0,19	0,37	0,06	3,88	6,06

Tab.Z.5. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów przed 24-godzinnym testem- próba zerowa.

	pH	Ekstrakt [%]	Cukry redukujące [%]	Kwas askorbinowy [mg/100g]	Twardość [N]
	4,02	6	2,94	17,8	45
	3,89	5,8	2,85	23,6	31
	3,75	5,9	2,83	20,6	37
	4,1	6,2	2,84	23,2	42
	4,06	6	2,75	24,3	29
	3,84	6,1	2,83	22,7	43
Średnia	3,94	6,00	2,84	22,03	38
Odchylenie standardowe	0,14	0,14	0,06	2,42	6,65

Tab.Z.6. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów po 3, 6 oraz 24 godzinach poddania drganiom przy częstotliwości 12 Hz.

Godzina pobrania prób	pH	średnia	Odchylenie standardowe	Ekstrakt [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Cukry ogółem [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Cukry redukujące [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Kwas askorbinowy [mg/100g]	średnia	Odchylenie standardowe
Po 3h	4			6,9			3,08			18,7			37		
	3,76			6,7			2,86			19,4			34		
	3,89			6,7			3,07			17,5			27		
	4,14			6,8			3,02			21,5			35		
	3,97			6,8			3,13			20,7			38		
	4,02	3,96	0,13	6,9	6,80	0,09	3,06	3,04	0,09	22,3	20,02	1,81	45	36	6
Po 6 h	4,12			7,2			2,91			21,6			35		
	3,95			6,5			3,2			17,9			31		
	4,16			7,3			3			19,4			42		
	4,23			6,5			3,15			19,4			49		
	4,06			6,6			2,94			21,6			46		
	3,78	4,05	0,16	6,5	6,77	0,38	3,17	3,06	0,13	21,5	20,23	1,56	43	41	7
Po 24 h	4,17			7,4			3,36			20,5			36		
	4,15			6,4			3,42			15,9			48		
	4,13			6,7			3,33			34,1			26		
	4,12			7,8			3,32			25			43		
	4,27			7,1			3,35			15,9			44		
	4,07	4,15	0,07	7,3	7,12	0,50	3,27	3,34	0,05	20,5	21,98	6,85	36	39	8

Tab.Z.7. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów po 3, 6 oraz 24 godzinach poddania drganiom przy częstotliwości 28 Hz.

Godzina pobrania prób	pH	średnia	Odchylenie standardowe	Ekstrakt [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Cukry ogółem [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Cukry redukujące [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Kwas askorbinowy [mg/100g]	średnia	Odchylenie standardowe
Po 3h	4,07			7,5			2,98			20,5			42		
	4,11			7,5			3,36			17,8			32		
	4,18			6,7			3,27			21,1			43		
	4,05			7,7			3,55			22			31		
	4,18			7,6			3,64			19,5			31		
	4,21	4,13	0,07	6,6	7,27	0,48	3,26	3,34	0,23	19,5	20,07	1,47	38	36	6
Po 6 h	4,13			6,5			**3,56**			16,9			35		
	4,26			7,6			**3,22**			23,5			42		
	4,17			7,6			**3,27**			18,9			41		
	4,26			7,2			**3,65**			25,3			32		
	4,32			7,6			**3,64**			22,2			39		
	4,12	4,21	0,08	7,6	7,35	0,45	**3,54**	3,48	0,19	19,7	21,08	3,13	38	38	4
Po 24 h	4,32			8,4			3,85			18,2			38		
	4,27			8,4			3,93			11,4			33		
	4,48			7,8			3,87			20,5			39		
	4,35			8,4			4,04			13,6			42		
	4,46			8,1			3,78			13,6			38		
	4,36	4,37	0,08	8,3	8,23	0,24	3,94	3,90	0,09	20,5	16,30	3,94	33	37	4

Tab.Z.8. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów po 3, 6 oraz 24 godzinach poddania drganiom przy częstotliwości 46 Hz.

Godzina pobrania prób	pH	średnia	Odchylenie standardowe	Ekstrakt [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Cukry ogółem [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Cukry redukujące [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Kwas askorbinowy [mg/100g]	średnia	Odchylenie standardowe
Po 3h	4,03			7,6			3,55			19,5			31		
	4,02			8,5			3,23			14,7			15		
	3,86			8,5			3,27			11,5			19		
	3,96			7,6			3,62			18,6			27		
	3,82			6,6			3,58			19,4			24		
	3,98	3,95	0,09	7,2	7,67	0,74	3,54	3,47	0,17	16,6	16,72	3,16	24	23	6
Po 6 h	4,06			8,1			3,56			19,5			20		
	4,01			7,6			3,43			17,3			19		
	3,94			7,7			3,25			19,4			36		
	3,83			7,4			3,53			16,5			31		
	4,03			7,8			3,64			18,5			34		
	4,01	3,98	0,083427	7,4	7,67	0,27	3,45	3,48	0,13	17,5	18,12	1,21	16	26	9
Po 24 h	3,73			7,7			2,91			16,7			11		
	3,95			7,8			3,76			18,2			17		
	3,3			8,4			3,45			17,5			23		
	3,73			8,2			3,42			14,9			18		
	3,77			7			3,56			19,1			20		
	3,57	3,68	0,22	7,2	7,72	0,55	3,53	3,44	0,29	16,2	17,10	1,49	7	16	6

Tab.Z.9. Wyniki pH, ekstraktu, cukrów redukujących, kwasu askorbinowego oraz twardości pomidorów po 3, 6 oraz 24 godzinach poddania drganiom przy częstotliwości 50 Hz.

Godzina pobrania prób	pH	średnia	Odchylenie standardowe	Ekstrakt [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Cukry ogółem [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Cukry redukujące [%]	średnia	Odchylenie standardowe	Kwas askorbinowy [mg/100g]	średnia	Odchylenie standardowe
Po 3h	4			7,6			3,95			17,6			17		
	4,03			6,5			3,54			15			19		
	3,91			7,5			3,45			18,2			35		
	3,86			6,9			3,63			12,6			21		
	3,82			7,6			3,34			18,9			13		
	3,81	3,91	0,09	7,6	7,28	0,47	3,47	3,56	0,21	17,2	16,58	2,36	27	22	8
Po 6 h	4			6,6			3,57			16,5			27		
	4,03			6,6			3,42			17,2			35		
	3,96			7,7			3,38			16,8			13		
	3,83			7,7			3,34			16,5			30		
	4			7,9			3,38			18,4			18		
	3,78	3,93	0,10	7,6	7,35	0,59	3,76	3,48	0,16	15	16,73	1,11	14	23	9
Po 24 h	3,71			6,9			3,35			16,7			12		
	3,56			6,5			3,47			15,7			19		
	3,94			6,5			3,26			15,3			9		
	3,62			7,8			3,58			16,3			30		
	3,81			7,7			3,25			14,7			37		
	3,67	3,72	0,14	6,8	7,03	0,58	3,21	3,35	0,14	16,2	15,82	0,73	10	20	12

Tab.Z.10. Wyniki pH dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	4,07	4,17	4,28	4,42	4,40	4,39
2	4,11	4,30	4,27	4,41	4,39	4,36
3	3,82	4,08	4,32	4,38	4,38	4,37
4	4,05	4,30	4,35	4,38	4,38	4,31
5	4,03	4,26	4,28	4,42	4,39	4,39
6	4,05	4,16	4,28	4,39	4,42	4,40
7	4,13	4,27	4,37	4,37	4,40	4,37
8	3,85	4,20	4,30	4,43	4,40	4,32
9	4,04	4,22	4,31	4,44	4,41	4,38
10	3,90	4,12	4,36	4,37	4,42	4,31
11	3,85	4,26	4,36	4,39	4,39	4,34
12	4,11	4,11	4,34	4,37	4,38	4,40
13	3,83	4,07	4,30	4,36	4,37	4,34
14	4,16	4,34	4,29	4,44	4,36	4,38
15	4,00	4,19	4,28	4,39	4,37	4,37
16	4,15	4,11	4,30	4,41	4,41	4,38
17	4,12	4,07	4,27	4,42	4,38	4,35
18	4,18	4,24	4,37	4,40	4,36	4,36
19	4,18	4,24	4,32	4,36	4,37	4,40
20	3,92	4,09	4,35	4,41	4,37	4,38
21	3,94	4,07	4,33	4,39	4,43	4,38
22	4,13	4,26	4,38	4,45	4,39	4,41
23	4,14	4,08	4,36	4,42	4,41	4,37
24	4,00	4,23	4,34	4,36	4,41	4,35
25	3,81	4,07	4,34	4,36	4,37	4,39
26	3,89	4,26	4,30	4,45	4,39	4,37
27	3,97	4,22	4,31	4,43	4,35	4,38
28	3,80	4,24	4,35	4,38	4,42	4,36
29	4,09	4,09	4,32	4,44	4,39	4,35
30	3,94	4,07	4,36	4,43	4,41	4,37
31	4,18	4,07	4,29	4,41	4,42	4,35
32	4,04	4,17	4,27	4,37	4,40	4,36
33	3,85	4,16	4,32	4,41	4,39	4,33
34	3,94	4,34	4,32	4,39	4,41	4,39
35	4,17	4,17	4,31	4,44	4,40	4,35
36	4,12	4,26	4,30	4,41	4,38	4,33
37	4,07	4,30	4,34	4,41	4,41	4,39
38	4,02	4,11	4,28	4,37	4,38	4,43
39	4,15	4,10	4,30	4,41	4,36	4,39
40	4,01	4,35	4,32	4,42	4,40	4,35
średnia	4,02	4,19	4,32	4,40	4,39	4,37
Odchylenie standardowe	0,12	0,09	0,03	0,03	0,02	0,03

Tab.Z.11. Wyniki zawartości ekstraktu dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	6,6	6,9	7,1	7,25	7,35	7,35
2	6,65	6,95	7,05	7,35	7,45	7,7
3	6,8	6,95	7,05	7,35	7,45	7,5
4	6,75	6,95	7,15	7,25	7,4	7,65
5	6,6	6,95	7,25	7,3	7,35	7,65
6	6,9	6,9	7,15	7,3	7,35	7,55
7	6,95	6,95	7,1	7,25	7,3	7,9
8	6,9	6,9	7,1	7,35	7,35	7,95
9	6,7	6,95	7,05	7,3	7,45	7,9
10	6,5	7	7,25	7,3	7,3	7,4
11	6,55	6,95	7,1	7,25	7,3	7,6
12	6,45	6,95	7,05	7,35	7,4	7,45
13	7	6,95	7,2	7,3	7,3	7,65
14	6,75	6,95	7,05	7,25	7,3	7,7
15	6,5	6,9	7,15	7,45	7,35	7,7
16	6,65	6,85	7,1	7,4	7,35	7,85
17	6,65	6,85	7,15	7,4	7,4	7,4
18	6,65	6,85	7,05	7,3	7,35	7,5
19	6,85	6,8	7,2	7,3	7,45	7,9
20	6,8	7	7,2	7,45	7,35	7,45
21	6,55	7	7,1	7,3	7,3	7,7
22	6,8	6,85	7,2	7,3	7,45	7,55
23	6,6	6,95	7,15	7,25	7,3	7,9
24	6,55	7	7,1	7,45	7,4	7,45
25	6,55	6,9	7,2	7,4	7,4	7,75
26	6,75	6,95	7,1	7,25	7,3	7,65
27	6,45	7	7,1	7,3	7,45	7,75
28	6,5	6,8	7,05	7,4	7,4	7,45
29	6,8	6,9	7,25	7,35	7,25	7,7
30	6,6	7	7,15	7,25	7,4	7,4
31	6,8	6,8	7,05	7,25	7,35	7,75
32	6,75	6,9	7,25	7,45	7,4	7,85
33	6,95	7	7,15	7,25	7,45	7,85
34	6,6	6,9	7,25	7,45	7,4	7,95
35	6,65	6,95	7,15	7,35	7,35	7,9
36	6,65	7	7,1	7,4	7,4	7,5
37	6,8	7	7,15	7,25	7,25	7,8
38	6,55	6,95	7,1	7,45	7,45	7,4
39	6,85	6,9	7,15	7,4	7,4	7,65
40	6,85	6,9	7,05	7,4	7,35	7,55
średnia	6,70	6,93	7,13	7,33	7,37	7,66
Odchylenie standardowe	0,15	0,06	0,07	0,07	0,06	0,18

Tab.Z.12. Wyniki zawartości cukrów ogółem dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	2,97	3,35	4,20	4,29	4,36	4,21
2	2,96	3,32	4,18	4,30	4,48	4,42
3	2,96	3,36	4,15	4,37	4,37	4,84
4	2,96	3,33	4,13	4,35	4,42	4,22
5	2,96	3,34	4,23	4,36	4,33	4,59
6	2,95	3,33	4,20	4,35	4,33	4,22
7	2,97	3,35	4,11	4,33	4,34	4,23
8	2,98	3,34	4,14	4,32	4,37	4,22
9	2,97	3,33	4,21	4,29	4,32	4,80
10	2,95	3,34	4,16	4,30	4,32	4,61
11	2,97	3,33	4,23	4,30	4,41	4,34
12	2,95	3,33	4,21	4,32	4,41	4,32
13	2,98	3,34	4,14	4,31	4,40	4,34
14	2,98	3,36	4,21	4,34	4,47	4,38
15	2,97	3,34	4,18	4,34	4,47	4,75
16	2,99	3,33	4,16	4,27	4,34	4,32
17	2,96	3,36	4,20	4,28	4,37	4,26
18	2,95	3,35	4,18	4,32	4,36	4,36
19	2,99	3,35	4,20	4,27	4,40	4,56
20	2,96	3,32	4,19	4,29	4,38	4,38
21	2,97	3,35	4,12	4,30	4,42	4,24
22	2,98	3,38	4,22	4,36	4,40	4,21
23	2,99	3,35	4,16	4,35	4,41	4,32
24	2,97	3,33	4,14	4,36	4,36	4,34
25	2,95	3,33	4,13	4,34	4,45	4,31
26	2,98	3,34	4,16	4,31	4,35	4,60
27	2,99	3,33	4,22	4,36	4,32	4,23
28	2,97	3,36	4,15	4,34	4,34	4,27
29	2,99	3,33	4,14	4,35	4,37	4,30
30	2,96	3,38	4,13	4,28	4,33	4,72
31	2,97	3,36	4,16	4,33	4,39	4,34
32	2,96	3,36	4,13	4,27	4,36	4,45
33	2,95	3,35	4,20	4,28	4,35	4,55
34	2,98	3,34	4,13	4,32	4,37	4,33
35	2,96	3,36	4,19	4,37	4,39	4,27
36	2,97	3,32	4,13	4,31	4,46	4,08
37	2,97	3,33	4,23	4,29	4,33	4,29
38	2,97	3,36	4,11	4,36	4,43	4,32
39	2,98	3,36	4,12	4,31	4,34	4,55
40	2,99	3,34	4,17	4,29	4,33	4,17
średnia	2,97	3,34	4,17	4,32	4,38	4,38
Odchylenie standardowe	0,01	0,02	0,04	0,03	0,05	0,18

Tab.Z.13 Wyniki zawartości cukrów redukujących dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz

1	2,77	3,09	3,38	3,51	3,57	3,62
2	2,75	3,06	3,39	3,56	3,58	3,78
3	2,73	3,12	3,29	3,49	3,55	3,57
4	2,81	3,09	3,30	3,55	3,57	3,77
5	2,81	3,08	3,37	3,53	3,52	3,64
6	2,80	3,14	3,32	3,54	3,54	3,62
7	2,71	3,14	3,33	3,54	3,53	3,47
8	2,78	3,12	3,33	3,49	3,54	3,45
9	2,72	3,08	3,33	3,47	3,53	3,50
10	2,74	3,12	3,32	3,53	3,60	3,54
11	2,78	3,11	3,32	3,55	3,56	3,59
12	2,75	3,14	3,30	3,53	3,57	3,46
13	2,78	3,14	3,30	3,49	3,60	3,46
14	2,77	3,11	3,29	3,53	3,53	3,60
15	2,78	3,10	3,33	3,49	3,59	3,57
16	2,73	3,11	3,33	3,54	3,54	3,54
17	2,81	3,14	3,33	3,55	3,53	3,48
18	2,75	3,13	3,34	3,53	3,53	3,51
19	2,80	3,13	3,31	3,53	3,56	3,63
20	2,76	3,15	3,37	3,55	3,58	3,47
21	2,81	3,10	3,33	3,54	3,54	3,86
22	2,79	3,08	3,36	3,54	3,58	3,54
23	2,78	3,09	3,29	3,53	3,56	3,57
24	2,78	3,15	3,35	3,50	3,60	3,46
25	2,74	3,09	3,37	3,51	3,60	3,83
26	2,75	3,08	3,32	3,53	3,54	3,54
27	2,71	3,08	3,37	3,53	3,61	3,57
28	2,81	3,12	3,29	3,56	3,56	3,63
29	2,73	3,08	3,38	3,54	3,55	3,50
30	2,72	3,07	3,34	3,51	3,54	3,54
31	2,74	3,09	3,34	3,48	3,52	3,63
32	2,73	3,11	3,35	3,49	3,59	3,62
33	2,73	3,06	3,39	3,50	3,60	3,56
34	2,77	3,11	3,35	3,51	3,59	3,59
35	2,73	3,13	3,32	3,52	3,54	3,46
36	2,73	3,10	3,34	3,48	3,54	3,78
37	2,77	3,08	3,39	3,55	3,52	3,50
38	2,78	3,06	3,30	3,55	3,59	3,62
39	2,75	3,09	3,29	3,55	3,56	3,49
40	2,71	3,05	3,35	3,50	3,54	3,67
średnia	2,76	3,10	3,33	3,52	3,56	3,58
Odchylenie standardowe	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,11

Tab.Z.14. Wyniki zawartości kwasu askorbinowego dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	15,7	17,7	19,2	20,8	18,9	19,1

2	15,5	18,1	19,3	20,6	19,6	18,7
3	15,4	17,3	19,8	21,1	19,8	17,9
4	15,8	18,2	19,3	20,4	18,7	19,2
5	15,6	17,4	19,7	20,3	19,5	18,3
6	15,8	18,1	19,8	20,5	18,9	18,0
7	15,4	17,2	19,7	21,0	19,7	18,9
8	15,6	17,4	19,7	20,9	19,4	17,5
9	15,6	17,8	19,5	20,7	19,3	18,0
10	15,2	17,4	19,7	21,3	19,5	18,9
11	15,5	18,1	19,5	20,4	18,5	19,2
12	15,4	17,7	19,7	20,4	18,4	18,4
13	15,4	17,9	19,6	20,3	18,9	18,8
14	15,8	17,3	19,7	20,2	19,4	18,7
15	15,2	17,9	19,7	20,8	19,4	18,9
16	15,6	17,6	19,8	20,6	18,6	19,1
17	15,4	18,2	19,7	20,3	19,1	19,1
18	15,5	18,1	19,3	21,2	18,7	17,7
19	15,5	17,3	19,8	20,6	18,6	18,5
20	15,4	18,2	19,4	20,9	19,5	18,1
21	15,3	17,8	19,4	21,0	18,7	18,4
22	15,5	17,5	19,8	20,3	19,8	17,5
23	15,3	17,4	19,9	20,6	18,6	18,8
24	15,7	18,0	19,4	20,7	18,8	18,8
25	15,7	17,7	19,7	21,3	19,3	18,3
26	15,2	18,1	19,7	20,3	19,7	19,2
27	15,6	18,2	19,4	21,4	19,7	18,6
28	15,4	18,2	19,4	21,0	18,7	18,4
29	15,5	17,5	19,6	20,3	19,1	18,8
30	15,8	17,9	19,4	20,9	18,5	18,6
31	15,4	17,6	19,7	21,3	18,8	19,0
32	15,4	17,6	19,2	21,0	19,6	17,8
33	15,5	18,0	19,7	20,5	19,1	18,3
34	15,2	18,3	19,9	20,2	19,1	17,6
35	15,7	17,9	19,5	21,0	19,2	17,8
36	15,5	17,6	19,6	20,7	19,2	17,6
37	15,6	17,2	19,6	21,2	19,2	18,9
38	15,4	17,5	19,6	20,4	18,7	18,7
39	15,4	17,9	19,5	21,0	19,8	17,9
40	15,7	17,5	19,5	20,6	19,2	19,2
średnia	15,5	17,8	19,6	20,7	19,1	18,5
Odchylenie standardowe	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,5

Tab.Z.15. Wyniki twardości dla pomidorów poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	71	30	33	71	18	14
2	76	26	26	76	25	24
3	77	27	25	77	26	16
4	70	31	34	70	22	30

5	75	34	28	75	26	30
6	68	26	35	68	20	13
7	67	32	33	67	18	28
8	71	36	34	71	20	22
9	68	35	35	68	25	30
10	76	25	35	76	21	16
11	68	37	27	68	23	20
12	73	34	26	73	24	12
13	68	33	27	68	24	29
14	70	30	35	70	25	16
15	65	31	30	65	20	23
16	70	36	25	70	20	30
17	71	28	29	71	21	32
18	69	28	26	69	18	12
19	74	35	31	74	21	22
20	75	33	26	75	19	14
21	72	29	25	72	18	32
22	69	33	33	69	22	20
23	74	31	33	74	19	23
24	73	31	27	73	23	13
25	78	30	32	78	25	22
26	65	28	30	65	19	31
27	67	28	27	67	23	22
28	74	34	33	74	24	23
29	66	26	32	66	18	27
30	66	29	26	66	20	31
31	66	35	29	66	21	25
32	77	38	34	77	18	23
33	70	26	32	70	26	29
34	71	31	32	71	24	20
35	69	35	35	69	18	16
36	73	28	28	73	18	28
37	65	36	29	65	21	32
38	74	31	28	74	23	29
39	72	29	32	72	20	20
40	76	36	30	76	17	26
średnia	71	31	30	71	21	23
Odchylenie standardowe	4	4	3	4	3	6

Tab.Z.16. Wyniki pH dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	2,43	3,13	3,57	3,82	3,78	3,68
2	2,41	3,10	3,35	3,83	3,81	3,66
3	2,46	3,16	3,42	3,82	3,76	3,68

4	2,46	3,11	3,53	3,76	3,79	3,68
5	2,47	3,09	3,56	3,74	3,81	3,66
6	2,47	3,09	3,48	3,74	3,80	3,70
7	2,41	3,06	3,52	3,75	3,73	3,72
8	2,40	3,11	3,57	3,81	3,82	3,72
9	2,43	3,06	3,39	3,74	3,79	3,72
10	2,40	3,16	3,50	3,80	3,81	3,66
11	2,49	3,09	3,56	3,83	3,78	3,65
12	2,41	3,10	3,59	3,79	3,78	3,71
13	2,48	3,17	3,56	3,76	3,80	3,70
14	2,44	3,12	3,46	3,77	3,79	3,67
15	2,42	3,07	3,38	3,79	3,81	3,68
16	2,40	3,09	3,53	3,81	3,82	3,68
17	2,47	3,12	3,51	3,80	3,78	3,69
18	2,45	3,10	3,34	3,77	3,79	3,68
19	2,47	3,07	3,51	3,81	3,80	3,73
20	2,48	3,10	3,48	3,85	3,81	3,68
21	2,44	3,08	3,36	3,86	3,80	3,71
22	2,40	3,17	3,47	3,79	3,78	3,71
23	2,42	3,10	3,32	3,75	3,79	3,69
24	2,48	3,15	3,54	3,75	3,76	3,68
25	2,45	3,17	3,33	3,85	3,82	3,68
26	2,40	3,12	3,39	3,75	3,73	3,66
27	2,41	3,15	3,57	3,85	3,79	3,72
28	2,47	3,18	3,56	3,84	3,81	3,66
29	2,48	3,07	3,54	3,76	3,75	3,71
30	2,44	3,17	3,54	3,75	3,81	3,71
31	2,40	3,07	3,21	3,75	3,78	3,73
32	2,49	3,10	3,22	3,76	3,74	3,73
33	2,42	3,10	3,34	3,84	3,75	3,71
34	2,42	3,17	3,33	3,75	3,80	3,67
35	2,42	3,17	3,09	3,75	3,79	3,68
36	2,47	3,11	3,20	3,84	3,81	3,66
37	2,41	3,16	3,28	3,86	3,77	3,66
38	2,40	3,08	3,58	3,84	3,82	3,66
39	2,41	3,16	3,54	3,84	3,79	3,71
40	2,46	3,16	3,38	3,75	3,81	3,66
41	2,45	3,14	3,54	3,78	3,79	3,71
42	2,43	3,07	3,41	3,82	3,82	3,71
43	2,46	3,15	3,31	3,75	3,78	3,68
44	2,43	3,13	3,33	3,75	3,79	3,66
45	2,46	3,10	3,46	3,85	3,82	3,69
46	2,46	3,15	3,41	3,79	3,78	3,71
47	2,47	3,17	3,09	3,85	3,82	3,72
48	2,42	3,17	3,30	3,82	3,81	3,68
49	2,47	3,07	3,34	3,84	3,80	3,69
50	2,40	3,16	3,52	3,77	3,79	3,71
51	2,40	3,17	3,50	3,75	3,81	3,69
52	2,43	3,16	3,47	3,83	3,78	3,72
53	2,49	3,07	3,50	3,79	3,81	3,67
54	2,48	3,14	3,47	3,81	3,80	3,68
55	2,42	3,17	3,49	3,75	3,81	3,66
56	2,44	3,06	3,24	3,86	3,81	3,65
57	2,49	3,14	3,55	3,74	3,75	3,66
58	2,47	3,14	3,55	3,74	3,79	3,66
59	2,49	3,11	3,52	3,84	3,77	3,71
60	2,41	3,17	3,57	3,76	3,77	3,67
średnia	2,44	3,12	3,44	3,79	3,79	3,69
Odchylenie standardowe	0,03	0,04	0,13	0,04	0,02	0,02

Tab.Z.17. Wyniki zawartości ekstraktu dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	16,45	19,30	21,10	21,30	21,30	20,65
2	16,50	19,15	21,15	21,30	21,20	20,85
3	16,45	19,35	21,15	21,25	21,30	20,90
4	16,40	19,30	21,10	21,25	21,35	20,75
5	16,50	19,20	21,10	21,25	21,35	20,50
6	16,50	19,25	21,15	21,30	21,35	20,45
7	16,50	19,40	21,15	21,30	21,25	21,00
8	16,50	19,20	21,15	21,25	21,25	20,85
9	16,50	19,30	21,10	21,30	21,35	21,00
10	16,45	19,35	21,15	21,25	21,25	20,85
11	16,50	19,30	21,15	21,25	21,40	20,45
12	16,45	19,25	21,10	21,25	21,35	20,50
13	16,45	19,20	21,15	21,30	21,25	20,90
14	16,40	19,15	21,10	21,25	21,20	20,60
15	16,40	19,25	21,15	21,30	21,40	21,00
16	16,45	19,15	21,10	21,25	21,35	20,55
17	16,50	19,35	21,10	21,30	21,30	20,85
18	16,45	19,35	21,10	21,30	21,30	20,60
19	16,40	19,35	21,15	21,30	21,20	20,90
20	16,50	19,20	21,15	21,30	21,25	20,95
21	16,50	19,10	21,10	21,25	21,30	20,45
22	16,45	19,25	21,10	21,30	21,25	20,40
23	16,45	19,15	21,10	21,30	21,25	20,70
24	16,50	19,30	21,15	21,30	21,30	20,60
25	16,50	19,40	21,10	21,25	21,30	20,90
26	16,45	19,30	21,15	21,25	21,35	20,45
27	16,50	19,20	21,10	21,25	21,20	20,95
28	16,45	19,40	21,10	21,30	21,25	20,65
29	16,40	19,30	21,10	21,30	21,30	20,45
30	16,50	19,15	21,15	21,25	21,35	20,45
31	16,40	19,25	21,15	21,30	21,25	20,80
32	16,40	19,25	21,15	21,30	21,35	20,65
33	16,45	19,20	21,15	21,30	21,25	20,45
34	16,50	19,40	21,15	21,25	21,25	20,50
35	16,50	19,20	21,10	21,30	21,30	20,40
36	16,45	19,10	21,10	21,25	21,25	20,70
37	16,40	19,35	21,15	21,30	21,20	20,80
38	16,40	19,10	21,15	21,30	21,35	20,65
39	16,45	19,25	21,10	21,25	21,30	20,40
40	16,45	19,25	21,10	21,25	21,25	20,45
41	16,45	19,35	21,15	21,25	21,30	20,70
42	16,45	19,40	21,15	21,25	21,20	20,45
43	16,45	19,30	21,15	21,30	21,40	20,40
44	16,45	19,40	21,10	21,25	21,25	20,45
45	16,45	19,40	21,15	21,30	21,35	20,35
46	16,50	19,15	21,15	21,25	21,30	20,95
47	16,40	19,25	21,15	21,25	21,35	20,75
48	16,40	19,15	21,10	21,25	21,25	20,45
49	16,45	19,25	21,10	21,25	21,25	20,75
50	16,45	19,20	21,25	21,25	21,35	20,45
51	16,45	19,35	21,15	21,25	21,25	20,85

52	16,45	19,10	21,22	21,30	21,25	20,60
53	16,45	19,15	21,15	21,30	21,25	20,50
54	16,45	19,30	21,25	21,25	21,30	20,50
55	16,50	19,20	21,15	21,30	21,30	20,95
56	16,45	19,35	21,15	21,25	21,25	20,90
57	16,45	19,15	21,15	21,25	21,25	20,85
58	16,45	19,20	21,30	21,25	21,25	20,50
59	16,40	19,25	21,30	21,25	21,40	20,40
60	16,45	19,35	21,30	21,25	21,40	20,70
średnia	16,46	19,26	21,1	21,3	21,3	20,7
Odchylenie standardowe	0,04	0,09	0,05	0,03	0,06	0,20

Tab.Z.18. Wyniki zawartości cukrów ogółem dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	9,15	16,19	17,88	17,06	17,46	16,65
2	9,16	16,45	17,84	17,47	17,52	17,14
3	9,13	16,89	17,16	17,34	17,49	16,15
4	9,25	16,50	17,45	17,15	16,97	17,99
5	9,19	16,87	16,39	17,50	17,37	17,25
6	9,24	16,42	16,49	17,57	17,53	18,55
7	9,22	16,64	17,94	17,43	17,17	17,61
8	9,21	16,28	16,62	17,27	17,42	18,00
9	9,09	16,73	16,85	17,01	17,52	18,43
10	9,26	16,64	16,43	17,38	17,19	16,47
11	9,15	16,55	17,32	17,08	17,73	17,56
12	9,15	16,53	16,37	17,30	17,61	18,47
13	9,25	16,62	17,88	16,97	17,53	17,84
14	9,23	16,07	16,82	17,01	17,27	17,38
15	9,26	16,11	17,73	17,20	17,29	17,06
16	9,10	16,35	17,64	17,06	17,17	17,90
17	9,26	16,21	16,84	17,57	17,73	17,03
18	9,08	16,00	16,66	17,56	17,00	16,58
19	9,20	16,77	16,66	17,20	17,02	16,20
20	9,16	16,57	16,30	17,47	17,62	17,99
21	9,19	16,63	17,09	17,59	17,44	17,77
22	9,14	16,91	17,19	17,50	16,99	18,47
23	9,20	16,21	17,11	17,58	17,54	17,22
24	9,25	16,74	16,41	17,20	17,41	17,69
25	9,17	16,14	17,47	17,35	16,97	16,65
26	9,11	16,41	17,53	17,07	17,38	18,29
27	9,14	16,19	17,25	16,97	17,48	18,53
28	9,14	16,34	16,78	17,55	17,02	16,74
29	9,14	16,26	17,95	17,15	17,07	17,25
30	9,08	16,80	17,76	17,37	17,49	16,52
31	9,17	16,18	17,58	17,13	17,01	16,29
32	9,24	16,32	17,26	17,42	17,33	16,93
33	9,14	16,74	17,59	17,07	17,69	17,01
34	9,22	16,71	17,04	17,03	17,15	17,55
35	9,18	16,32	16,58	17,60	17,21	18,53
36	9,24	16,58	16,41	17,49	17,54	17,89
37	9,10	16,14	17,96	17,02	17,64	16,37
38	9,19	16,43	17,62	17,11	17,72	16,59
39	9,10	16,02	17,45	17,15	16,99	17,07
40	9,24	16,10	16,28	17,25	17,56	17,16

41	9,10	16,85	16,69	17,60	17,18	16,79
42	9,18	16,40	17,21	17,06	17,01	18,47
Średnia	9,18	16,45	17,13	17,28	17,34	17,38
Odchylenie standardowe	0,06	0,27	0,54	0,21	0,24	0,74

Tab.Z.19 Wyniki zawartości cukrów redukujących dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	8,06	15,06	16,67	16,21	16,20	16,22
2	8,43	14,71	16,32	16,04	16,27	15,56
3	8,41	14,56	16,34	16,21	16,31	15,75
4	8,07	15,31	16,42	16,28	15,95	16,11
5	8,37	15,20	16,07	16,22	16,14	15,60
6	8,17	14,60	16,54	16,19	16,13	16,08
7	8,26	14,87	16,56	15,99	16,31	16,41
8	8,49	14,64	16,64	15,91	15,99	15,65
9	8,53	14,45	16,09	16,22	16,15	16,22
10	8,47	14,82	16,22	16,08	16,31	16,30
11	8,15	14,84	16,02	16,07	16,00	15,70
12	8,47	14,57	15,97	16,31	16,14	15,86
13	8,34	14,52	15,87	16,15	16,00	15,94
14	8,55	15,50	16,62	15,92	15,97	16,28
15	8,31	15,29	15,92	16,25	16,01	15,55
16	8,15	15,31	16,23	16,21	16,34	15,93
17	8,23	14,92	16,09	16,29	16,31	16,16
18	8,19	14,90	16,74	16,28	16,21	15,94
19	8,01	15,35	15,92	15,95	16,27	16,40
20	8,01	14,88	16,52	15,92	16,33	16,09
21	8,15	14,83	16,08	16,03	16,06	15,66
22	8,35	14,58	15,90	15,94	16,36	16,09
23	8,44	15,16	16,42	16,28	16,21	16,02
24	8,22	15,25	16,58	16,16	16,08	15,90
25	8,21	14,96	16,07	16,15	15,95	16,33
26	8,01	14,71	16,32	15,93	16,23	16,38
27	8,16	14,78	16,15	16,11	16,26	16,36
28	8,05	15,36	16,24	16,24	16,16	16,04
29	8,18	14,55	16,57	16,27	16,38	15,95
30	8,15	15,12	16,46	15,99	16,35	15,48
31	8,06	14,66	15,89	16,05	16,30	16,04
32	8,42	15,11	16,13	16,14	16,35	15,45
33	8,09	14,80	16,70	16,13	16,09	16,33
34	8,12	15,14	16,39	16,19	16,29	15,80
35	8,02	14,39	15,95	16,16	16,03	15,47
36	8,24	15,01	16,40	15,93	16,29	16,12
37	8,21	14,49	16,42	16,07	16,21	15,74
38	8,14	15,52	16,06	15,90	16,27	15,55
39	8,53	14,79	16,06	16,29	16,13	16,08
40	8,26	14,45	16,54	16,06	16,05	16,11
41	8,18	15,17	15,97	15,96	15,96	16,36
42	8,05	15,23	16,49	16,17	16,01	15,61
Średnia	8,24	14,91	16,28	16,12	16,18	15,97
Odchylenie standardowe	0,16	0,31	0,26	0,13	0,14	0,30

Tab.Z.20 Wyniki zawartości kwasu askorbinowego dla winogron poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	30,4	32,3	31,2	32,1	29,8	31,4
2	30,9	32,0	31,0	32,1	30,7	29,8
3	32,0	32,3	31,0	32,3	31,4	31,8
4	32,2	31,9	31,0	32,1	30,5	31,1
5	30,5	32,3	30,9	32,1	30,6	30,0
6	29,9	32,2	31,3	32,1	30,4	31,9
7	30,5	32,1	31,1	31,9	30,8	30,0
8	32,5	32,3	31,0	31,9	30,2	29,9
9	32,2	32,1	31,3	32,1	30,4	30,4
10	31,5	32,3	31,0	32,1	31,1	30,2
11	30,4	31,9	31,1	32,3	30,4	30,9
12	30,7	32,2	31,4	32,1	31,2	29,7
13	31,2	32,0	31,1	31,9	31,0	31,4
14	32,1	32,0	31,4	32,2	31,4	29,6
15	30,7	32,0	31,0	32,2	30,4	31,0
16	30,2	32,3	31,2	32,0	30,7	30,7
17	30,0	32,4	31,2	32,0	30,2	28,5
18	32,1	32,0	31,1	32,1	31,1	30,8
19	32,9	32,0	31,3	32,0	30,0	29,6
20	30,1	32,1	31,0	32,1	31,1	31,6
21	30,4	32,3	31,0	32,3	31,0	29,9
22	29,8	32,4	30,9	31,9	30,1	29,0
23	30,2	32,2	31,1	32,2	30,6	29,4
24	30,6	32,4	31,3	32,3	30,7	28,8
25	32,4	32,1	31,3	32,0	31,4	31,8
26	30,5	32,2	31,2	32,1	29,9	30,4
27	31,9	31,9	31,3	32,2	29,8	28,7
28	33,0	32,1	31,0	32,1	30,4	31,6
29	29,9	32,3	31,4	32,1	30,1	30,6
30	29,8	32,3	31,1	32,2	30,0	31,9
31	31,2	32,3	31,4	32,0	30,2	30,0
32	32,6	32,1	31,3	32,1	30,6	29,5
33	32,0	32,3	31,2	32,0	30,4	30,7
34	31,4	32,1	31,1	32,1	29,8	29,5
35	30,5	32,0	31,1	32,1	30,3	31,4
36	29,6	32,2	31,3	32,3	31,3	30,7
37	30,1	32,0	31,2	32,0	30,3	28,5
38	33,1	32,1	31,4	32,0	31,4	31,7
39	31,4	32,2	31,1	32,0	29,7	30,8
40	30,4	32,0	30,9	32,2	30,5	31,4
41	32,4	32,1	31,2	32,3	30,9	30,6
42	29,7	32,3	31,4	32,0	30,1	31,3
Średnia	31,1	32,2	31,2	32,1	30,5	30,4
Odchylenie standardowe	1,0	0,1	0,1	0,1	0,5	1,0

Tab.Z.21. Wyniki pH dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz

1	3,14	3,49	3,51	3,62	3,74	3,65
2	3,11	3,52	3,49	3,65	3,75	3,75
3	3,14	3,44	3,55	3,66	3,73	3,79
4	3,17	3,48	3,58	3,60	3,73	3,82
5	3,19	3,53	3,52	3,59	3,71	3,71
6	3,19	3,39	3,56	3,62	3,72	3,63
7	3,15	3,54	3,48	3,64	3,70	3,62
8	3,15	3,42	3,54	3,69	3,70	3,60
9	3,10	3,55	3,51	3,61	3,73	3,84
10	3,13	3,46	3,49	3,70	3,70	3,76
11	3,12	3,51	3,50	3,61	3,70	3,64
12	3,08	3,50	3,53	3,59	3,73	3,84
13	3,11	3,56	3,58	3,67	3,75	3,81
14	3,09	3,52	3,57	3,64	3,68	3,60
15	3,08	3,43	3,53	3,70	3,73	3,69
16	3,12	3,55	3,56	3,63	3,70	3,85
17	3,13	3,54	3,50	3,71	3,69	3,84
18	3,18	3,52	3,55	3,71	3,73	3,61
19	3,12	3,42	3,52	3,71	3,69	3,81
20	3,15	3,42	3,47	3,71	3,73	3,74
21	3,14	3,52	3,58	3,71	3,71	3,73
22	3,17	3,39	3,58	3,59	3,75	3,78
23	3,17	3,44	3,53	3,65	3,70	3,69
24	3,10	3,42	3,54	3,71	3,73	3,81
25	3,09	3,48	3,52	3,61	3,71	3,66
26	3,11	3,44	3,56	3,60	3,69	3,85
27	3,11	3,47	3,53	3,66	3,75	3,76
28	3,16	3,43	3,54	3,68	3,74	3,77
29	3,08	3,43	3,57	3,62	3,70	3,82
30	3,18	3,43	3,57	3,64	3,73	3,70
31	3,11	3,49	3,51	3,66	3,68	3,76
32	3,13	3,45	3,48	3,68	3,69	3,68
33	3,10	3,49	3,53	3,70	3,75	3,72
34	3,10	3,47	3,50	3,60	3,73	3,61
35	3,11	3,44	3,51	3,66	3,70	3,71
36	3,14	3,48	3,51	3,59	3,75	3,78
37	3,09	3,48	3,52	3,64	3,69	3,62
38	3,13	3,45	3,51	3,59	3,71	3,78
39	3,16	3,41	3,51	3,65	3,72	3,76
40	3,12	3,53	3,56	3,62	3,68	3,72
41	3,14	3,50	3,51	3,67	3,71	3,72
42	3,12	3,50	3,51	3,59	3,69	3,63
43	3,16	3,42	3,54	3,60	3,74	3,71
44	3,16	3,51	3,48	3,59	3,70	3,83
45	3,11	3,39	3,55	3,69	3,75	3,79
46	3,16	3,43	3,51	3,73	3,69	3,83
47	3,15	3,46	3,53	3,65	3,76	3,76
48	3,10	3,42	3,55	3,66	3,74	3,84
49	3,09	3,51	3,56	3,70	3,69	3,64
50	3,19	3,47	3,49	3,72	3,74	3,67
51	3,14	3,56	3,48	3,72	3,74	3,65
52	3,14	3,42	3,53	3,61	3,75	3,64
53	3,11	3,50	3,55	3,70	3,70	3,64
54	3,14	3,42	3,50	3,59	3,73	3,69
55	3,09	3,41	3,57	3,68	3,68	3,80
56	3,10	3,40	3,48	3,61	3,71	3,62
57	3,15	3,52	3,57	3,58	3,70	3,66
58	3,18	3,41	3,49	3,68	3,72	3,74
59	3,17	3,43	3,54	3,60	3,70	3,78
60	3,12	3,40	3,55	3,59	3,76	3,66

średnia	3,13	3,47	3,53	3,65	3,72	3,73
Odchylenie standardowe	0,03	0,05	0,03	0,04	0,02	0,08

Tab.Z.22. Wyniki zawartości ekstraktu dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	12,55	13,75	14,65	13,9	14,55	13,75
2	12,1	13,45	13,95	14,05	14,45	14,35
3	11,85	13,55	13,8	14,35	15,05	14,05
4	12,55	13,3	13,9	14,3	14,95	14,8
5	12,4	13,8	14,2	14,4	14,5	14,2
6	12,95	13,8	14,05	13,85	14,4	14,2
7	12,35	13,5	14,45	14,55	15,2	14
8	12,7	13,2	14,4	14,75	14,95	14,15
9	11,65	13,55	13,8	14,85	14,4	13,8
10	13	13,65	13,85	14,65	14,25	14
11	12,15	13,3	13,7	14	14,95	14,05
12	12,05	13,6	13,7	14,35	13,95	13,6
13	11,7	13,2	13,7	14,1	13,85	14,4
14	12,6	13,2	14,45	14,8	14,5	14,05
15	12,1	13,35	13,9	14,6	14,75	13,65
16	12,95	13,75	14,5	14,55	13,9	13,55
17	11,7	13,1	13,85	13,9	14,55	14,7
18	12,7	13,4	13,75	14,05	14,3	14,65
19	12	13,35	13,8	14,8	14,8	13,8
20	13	13,1	14,5	14,55	14,45	13,5
21	12,5	13,25	14,4	13,85	14,15	13,85
22	12,65	13,25	14,35	13,9	15	13,5
23	12,55	13,55	14,35	14,35	14,55	14
24	12,8	13,5	14,4	14,8	14,1	14,35
25	12,3	13,75	13,8	14,25	14,3	13,95
26	12,9	13,5	14,05	13,95	14,1	14,3
27	12,65	13,3	13,85	14,25	14,85	14,1
28	12,3	13,1	14,65	14,7	14,7	14,8
29	12,25	13,05	14,25	14,8	14,8	14,65
30	12,45	13,75	14,15	14,5	14,65	13,7
31	11,7	13,7	13,85	14,3	14,45	14,35
32	11,95	13,5	13,8	14,15	14	13,85
33	11,8	13,5	14	14,55	15,1	14,55
34	13,1	13,5	14,2	14	14,15	13,55
35	11,65	13,65	14,6	14,55	15,1	13,7
36	12,55	13,55	14,3	14,7	14,7	14,65
37	12,65	13,8	14,35	14,6	14,95	13,45
38	13,05	13,45	14,2	14,2	14,05	14,05
39	12,95	13,25	14,45	14,3	14,6	13,8
40	12,55	13	14	14,6	14,8	14,1
41	11,65	13,45	13,8	14,8	13,95	14,35
42	12,15	13,45	13,8	14,15	15,1	13,9
43	11,9	13,3	14,1	14,5	14,15	13,8
44	12,45	13,3	13,8	14,3	14,5	14,5
45	11,85	13,75	14,2	14,65	15,05	13,8

46	13	13,4	14,6	14,85	14,5	13,85
47	12,15	12,95	13,75	14,35	14,45	14,45
48	12,8	13,4	14,15	14,05	15,1	14,7
49	12,5	13,5	14,1	14,85	14,5	14,6
50	11,6	13,2	14,6	14,3	15,15	13,65
51	11,95	13,45	14,65	14,55	15,2	13,8
52	12,5	13,55	13,9	14,6	14,9	14,3
53	12,7	13	14,15	14,2	14,6	13,5
54	11,8	13,65	13,85	14,25	14,95	14,7
55	12,45	13,3	14,15	14,3	15,05	14,6
56	12,8	13,7	13,8	14,5	14,3	14,7
57	12	13,1	14,05	14,05	14,8	13,5
58	13	13,1	14,35	14,2	14,4	14,35
59	11,65	12,95	14,4	14,55	14,95	14,7
60	12,6	12,95	14,45	14,35	14,8	13,45
średnia	12,4	13,4	14,1	14,4	14,6	14,1
Odchylenie standardowe	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4

Tab.Z.23. Wyniki zawartości cukrów ogółem dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	10,67	12,07	13,04	14,08	13,68	14,12
2	10,57	11,84	13,38	14,29	14,19	14,12
3	10,71	11,65	13,64	14,28	14,37	14,74
4	9,83	12,06	13,93	13,61	13,84	14,24
5	9,86	12,30	13,70	13,63	14,16	14,75
6	10,58	11,82	13,92	14,03	13,43	14,35
7	10,14	11,71	13,40	14,20	14,19	14,55
8	10,28	12,42	13,40	13,99	13,64	13,67
9	9,99	11,92	13,63	14,01	13,87	14,72
10	10,22	11,81	13,49	14,07	14,24	14,84
11	10,02	11,85	13,25	13,71	14,29	14,86
12	9,74	11,90	13,48	13,83	14,12	14,77
13	10,58	12,46	13,57	14,02	13,54	14,97
14	10,07	12,11	12,82	14,03	14,58	13,75
15	10,63	11,51	13,72	13,65	14,21	14,07
16	9,65	12,12	13,73	13,75	14,33	13,62
17	10,58	11,40	13,90	14,13	14,08	14,05
18	10,44	12,43	13,56	13,83	13,65	14,15
19	9,80	12,32	13,94	13,94	14,53	14,28
20	9,88	11,67	12,92	13,88	13,75	14,43
21	10,57	11,63	13,62	14,25	14,25	14,87
22	10,73	11,49	13,00	13,72	13,46	13,72
23	10,57	11,75	13,91	14,04	13,93	14,36
24	10,01	11,65	13,65	14,10	13,90	14,28
25	9,92	11,50	13,22	13,94	14,23	14,31
26	10,16	11,61	13,45	13,65	13,49	13,94
27	10,57	11,62	13,20	13,80	13,51	13,99
28	10,71	12,05	13,52	14,24	13,49	14,52
29	9,62	12,49	13,76	13,82	13,51	14,98
30	10,55	11,74	13,32	14,18	14,07	14,79
31	10,62	12,23	13,80	14,09	14,32	14,19
32	10,15	12,00	13,28	14,11	13,77	14,63

33	10,27	12,46	13,55	13,88	14,58	14,87
34	9,84	12,05	13,01	14,26	14,15	13,67
35	10,37	11,56	13,67	13,62	13,61	13,94
36	10,37	11,62	13,76	14,10	14,18	14,81
37	9,73	11,70	13,50	13,62	14,10	14,54
38	9,75	11,49	13,26	13,83	13,92	14,25
39	10,01	12,35	13,02	14,29	13,85	14,32
40	10,05	12,47	13,42	14,03	14,32	14,65
41	10,66	11,43	13,92	13,73	14,40	13,76
42	9,80	11,55	13,79	14,28	14,39	14,62
Średnia	10,22	11,90	13,50	13,97	14,00	14,36
Odchylenie standardowe	0,35	0,34	0,30	0,22	0,34	0,40

Tab.Z.24. Wyniki zawartości cukrów redukujących dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	7,42	9,01	9,94	10,62	10,14	11,05
2	6,96	8,97	10,07	10,64	10,05	10,42
3	7,20	9,08	9,90	10,69	10,19	10,36
4	7,44	8,97	10,30	10,35	10,47	10,83
5	6,72	9,12	10,15	10,50	10,53	11,12
6	7,37	8,84	10,08	10,23	10,05	10,80
7	7,23	8,76	9,96	10,21	10,24	10,86
8	7,18	9,00	10,17	10,47	10,22	10,93
9	6,77	8,95	10,27	10,80	10,67	10,91
10	7,14	8,97	10,07	10,42	9,95	11,15
11	7,28	9,04	10,26	10,59	10,48	11,06
12	7,03	9,03	10,09	10,46	10,47	10,42
13	7,06	8,86	10,06	10,65	10,59	11,29
14	7,37	8,86	10,00	10,75	10,40	11,21
15	6,85	9,13	10,11	10,75	10,94	10,46
16	6,76	9,19	10,07	10,24	10,77	11,03
17	7,18	8,78	10,11	10,27	10,63	10,40
18	6,80	8,85	10,07	10,23	10,28	10,67
19	7,00	9,03	10,04	10,71	10,75	10,79
20	6,93	8,85	10,04	10,32	10,82	10,26
21	6,89	8,89	10,00	10,40	10,64	11,35
22	6,96	9,11	10,20	10,63	10,63	10,79
23	6,81	8,93	10,20	10,42	10,09	10,43
24	6,86	9,17	9,79	10,84	10,15	10,93
25	6,72	8,91	10,17	10,53	10,29	10,45
26	6,98	9,08	10,12	10,73	10,71	10,58
27	6,73	9,18	10,15	10,48	10,12	10,71
28	6,81	8,78	10,24	10,45	10,51	10,65
29	7,18	9,09	10,08	10,37	10,94	10,71
30	6,93	8,88	9,75	10,48	10,57	10,81
31	7,25	8,92	10,29	10,77	10,40	10,57
32	6,79	8,88	9,92	10,54	10,07	10,70
33	6,80	9,08	9,94	10,76	10,87	10,69
34	6,75	9,09	10,20	10,73	10,36	10,78
35	7,33	8,78	10,03	10,51	10,91	10,74
36	6,73	9,02	10,12	10,34	10,26	11,04
37	7,39	8,90	10,06	10,63	10,43	10,65
38	6,91	9,17	9,96	10,59	10,86	11,03
39	7,03	8,99	10,04	10,74	10,50	10,35

40	6,85	9,04	9,81	10,42	10,47	11,31
41	6,80	9,00	10,22	10,73	10,02	10,34
42	7,36	8,80	9,80	10,63	10,09	11,34
Średnia	7,01	8,98	10,07	10,54	10,44	10,78
Odchylenie standardowe	0,23	0,12	0,14	0,18	0,29	0,30

Tab.Z.25. Wyniki zawartości kwasu askorbinowego dla borówek poddanych drganiom w trakcie 1-godzinnego testu.

Lp.	Próba wyjściowa	Próba zerowa	12 Hz	28 Hz	46 Hz	50 Hz
1	10,9	11,3	11,7	11,1	11,2	10,9
2	10,8	11,2	11,8	11,1	11,2	11,1
3	11,1	11,4	11,3	11,1	11,2	10,9
4	10,9	11,4	11,8	11,2	11,3	11,1
5	10,7	11,6	11,7	11,5	11,4	11,0
6	11,3	11,6	11,6	11,2	11,5	11,0
7	10,7	11,6	11,6	11,4	11,6	10,9
8	11,2	11,7	11,5	11,4	11,2	11,0
9	11,1	11,5	11,6	11,3	11,1	11,0
10	11,2	11,5	11,7	11,3	11,3	10,8
11	11,0	11,2	11,6	11,1	11,5	11,1
12	11,0	11,3	11,6	11,5	11,2	10,9
13	10,8	11,5	11,3	11,2	11,1	11,0
14	11,2	11,4	11,7	11,2	11,5	11,0
15	10,9	11,7	11,7	11,1	11,6	11,0
16	11,2	11,3	11,4	11,4	11,6	10,8
17	10,8	11,3	11,7	11,4	11,3	11,0
18	11,2	11,4	11,6	11,5	11,1	11,0
19	10,9	11,7	11,5	11,1	11,5	11,0
20	10,9	11,6	11,5	11,3	11,1	10,8
21	11,1	11,5	11,4	11,3	11,4	10,9
22	10,9	11,4	11,4	11,1	11,5	11,0
23	11,2	11,7	11,5	11,4	11,2	11,0
24	10,8	11,2	11,6	11,3	11,4	10,9
25	11,1	11,6	11,8	11,2	11,7	11,0
26	11,2	11,3	11,8	11,0	11,6	10,8
27	10,8	11,6	11,5	11,5	11,3	10,9
28	11,2	11,5	11,5	11,1	11,5	10,8
29	10,9	11,7	11,4	11,4	11,7	10,9
30	10,9	11,7	11,5	11,2	11,3	10,8
31	10,8	11,5	11,7	11,1	11,6	11,0
32	10,8	11,6	11,7	11,2	11,2	10,9
33	10,9	11,7	11,3	11,1	11,5	11,0
34	10,9	11,5	11,4	11,3	11,4	10,8
35	10,8	11,7	11,7	11,4	11,6	10,8
36	11,1	11,8	11,5	11,4	11,3	10,9
37	11,0	11,4	11,4	11,2	11,2	10,9
38	10,8	11,5	11,6	11,5	11,2	10,8
39	11,1	11,5	11,6	11,2	11,2	11,0
40	10,9	11,5	11,4	11,5	11,7	10,8
41	11,0	11,4	11,7	11,2	11,4	10,8
42	10,6	11,8	11,5	11,5	11,5	10,8
Średnia	11,0	11,5	11,6	11,3	11,4	10,9
Odchylenie standardowe	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1