

Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

WYBRANE ASPEKTY PRZECHOWYWANIA BULW ZIEMNIAKA W KONTEKŚCIE JAKOŚCI SUROWCA

Praca zbiorowa pod redakcją

Tomasza Jakubowskiego

**Tomasz Jakubowski, Zygmunt Sobol,
Bogusława Łapczyńska-Kordon, Jakub Sikora,
Dariusz Baran**

Monografia

Kraków 2016

Patronat naukowy: Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

Rada Naukowa Wydawnictwa

Prof. dr hab. Janusz Haman – czł. rzecz. PAN
Prof. dr hab. Rudolf Michałek – czł. rzecz. PAN
Prof. dr hab. Małgorzata Bzowska-Bakalarz
Prof. dr hab. Jan Bronisław Dawidowski
Prof. dr hab. Józef Szlachta
Prof. dr hab. Jerzy Weres
Prof. dr hab. Zdzisław Wójcicki
Prof. Radomir Adamovsky (Rep. Czeska)
Prof. Stefan Cenkowski (Kanada)
Doc. Ing. Ján Frančák, CSc. (Słowacja)
Prof. Jürgen Hahn (Niemcy)
Prof. Dorota Haman (USA)
Doc. Ing. Zuzana Hlaváčová, CSc. (Słowacja)
Prof. Gerard Wiliam Isaacs (USA)
Prof. Vladimir Kosołapov (Rosja)
Prof. Piotr Savinykh (Rosja)
Prof. Oleg Sidorczuk (Ukraina)

Komitety Redakcyjne

Prof. dr hab. inż. Rudolf Michałek, czł. rzecz. PAN	– redaktor naczelny
Prof. dr hab. inż. Janusz Haman, czł. rzecz. PAN	
Prof. dr hab. inż. Maciej Kuboń	– sekretarz
Dr hab. inż. Sławomir Kocira	
Dr hab. Inż. Dariusz Kwaśniewski	

Recenzenci:

Dr hab. Ewa Wachowicz - prof. PK	- Politechnika Koszalińska
Prof. dr hab. Bożena Gładyszewska	- Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

ISBN 978-83-64377-15-0

Druk sfinansowany został z dotacji przyznanej przez MNiSW na działalność statutową.

Wydawca:

Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, ul. Balicka 116B

Druk i oprawa:

NOVA SANDEC
ul. Lwowska 143, 33-300 Nowy Sącz
tel. +48 (18) 547 45 45
e-mail: biuro@novasandec.pl; <http://www.novasandec.pl>
Ark. wyd. 9,5; ark. druk. 8,5
Nakład: 150 egz.

Spis treści:

1.	WPROWADZENIE.....	5
2.	TECHNOLOGIA PRZECHOWYWANIA BULW ZIEMNIAKA W KONTEKŚCIE BEZPIECZNYCH WYROBÓW PIECZONYCH I SMAŻONYCH.....	7
2.1.	Czynniki wpływające na zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka.....	7
2.1.1.	Wpływ odmiany ziemniaka na zawartość cukrów redukujących	7
2.1.2.	Wpływ uprawy ziemniaka na zawartość cukrów redukujących..	11
2.1.3.	Wpływ przechowywania bulw ziemniaka na zawartość cukrów redukujących	12
2.2.	Rekondycjonowanie bulw ziemniaka	15
2.3.	Konsekwencje przechowywania bulw ziemniaka w podwyższonej temperaturze	16
2.3.1.	Ubytki naturalne	16
2.3.2.	Straty powodowane kiełkowaniem	20
2.3.3.	Ubytki objętości – skurcz przechowalniczy	22
2.3.4.	Zmiany właściwości mechanicznych	25
2.3.5.	Zmiany gęstości.....	27
2.4.	Alternatywne podejście do rekondycjonowania bulw ziemniaka.....	31
	Bibliografia	40
3.	ASPEKT APLIKACJI METOD FIZYCZNYCH DLA POLEPSZENIA TRWAŁOŚCI PRZECHOWALNICZEJ BULW ZIEMNIAKA	44
3.1.	Pole elektromagnetyczne jako stan przestrzeni	45
3.2.	Wpływ pola elektrycznego na kształtowanie się strat przechowalniczych.....	47

3.3.	Wpływ pola magnetycznego na kształtowanie się strat przechowalniczych.....	52
3.4.	Wpływ promieniowania mikrofalowego na kształtowanie się strat przechowalniczych	60
	Bibliografia	82
4.	PODSTAWOWE WYTYCZNE DLA PROJEKTOWANIA PRZECHOWALNI ZIEMNIAKA	88
4.1.	Typy konstrukcji obiektów przechowalniczych	91
4.2.	Materiały stosowane na przegrody budowlane obiektów przechowalniczych.....	96
4.3.	Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe.....	97
	Bibliografia	112
5.	MODELOWANIE PROCESÓW PRZECHOWALNICZYCH	113
5.1.	Procesy przechowalnicze.....	113
5.2.	Podstawy teoretyczne wymiany ciepła i masy w przechowalni	114
	5.2.1. Wymiana masy	115
	5.2.2. Wymiana ciepła.....	117
5.3.	Model matematyczny procesu przechowywania ziemniaków.....	120
	Bibliografia	127
	Streszczenie	129
	Abstract	131

1. WPROWADZENIE

Z informacji publikowanych przez Główny Urząd Statystyczny w roku 2015 ogólna powierzchnia zasiewów roślin uprawnych i przemysłowych wyniosła blisko 10,8 mln ha i była większa o ok. 333 tys. ha, czyli o 3,2%, od ubiegłorocznej. Zwiększyła się między innymi, w odniesieniu do roku poprzedniego, o 8,5% powierzchnia zasiewu przeznaczana pod uprawę ziemniaka. Mimo takiej zmiany zebrany plon ziemniaka to około 6,3 mln ton, tj. o 17,9% mniej od zbiorów uzyskanych w roku 2014. Zdaniem analityków rolnictwa tendencji takiej upatrywać należy głównie w niesprzyjających warunkach agrometeorologicznych w trakcie wegetacji i zbioru tej rośliny. W 2015 roku przy zwiększonej powierzchni uprawy ziemniaka, ale przy znacznie niższych plonach spowodowanych suszą, zbiory były niższe i o niższej jakości. Bulwy ziemniaka były drobne, silnie porażone parchem zwykłym oraz uszkodzone przez szkodniki glebowe. Największą produkcję ziemniaków przekraczającą 600 tys. t odnotowano w województwach: łódzkim (681 tys. ton), mazowieckim (658,4 tys. ton) i wielkopolskim (642,9 tys. ton), natomiast najniższe zbiory nieprzekraczające 200 tys. ton odnotowano w województwach: lubuskim (97,6 tys. ton), śląskim (128,7 tys. ton), opolskim (164,6 tys. ton), warmińsko-mazurskim (184,7 tys. ton) i podlaskim (193,7 tys. ton). Za wyjątkiem ziemniaków odmian wczesnych, które przeznaczone są do bezpośredniego spożycia, prawie całość plonu bulw podlega, bez względu na kierunek ich użytkowania, magazynowaniu nawet przez okres 8 miesięcy. Przyjmując straty plonu w wyniku rozwoju chorób przechowalniczych na średnim poziomie około 5% oraz uwzględniając ubytki naturalne powodowane transpiracją, oddychaniem i kiełkowaniem w wysokości 6% uzyskujemy masę około 693 tys. ton straconej masy bulw. Porażone bulwy to nie tylko straty plonu lecz również, w przypadku przechowywania materiału sadzeniakowego, źródło zakażenia plantacji, a w bulwach konsumpcyjnych czynnik obniżający cechy jakościowe materiału biologicznego przeznaczonego do przerobu. Podkreślić należy, że podane wartości strat i ubytków, ze względu na przyjętą technologię przechowywania i układ parametrów klimatycznych (głównie temperaturę i wilgotność) w obiekcie przechowalni mogą ulec zmianie. Z punktu widzenia praktyki spożywczej istotne wydają się być te parametry jakościowe bulw ziemniaka, które w przypadku przeznaczenia ich do przerobu na wyroby smażone, determinowały będą cechy zdrowotne produktu.

Aby zapewnić konsumentowi najlepszą jakość produktu należy kontrolować, czy surowce użyte do produkcji posiadają pełną wartość użytkową, czy ich właściwości odżywcze i skład bio-fizyko-chemiczny nie uległ niekorzystnym zmianom podczas przetwórstwa, utrwalania, pakowania, przechowywania, transportu itp. Bezpieczeństwo zdrowotne konsumenta jest jednym z priorytetowych zagadnień w zarządzaniu łańcu-

chem żywności. Ograniczenie występowania potencjalnych zagrożeń jest zgodne z wymogami obowiązującego prawa żywnościowego i ogranicza ryzyko wprowadzenia na rynek produktów rolnych i żywności o nieprawidłowych parametrach jakościowych. Racjonalne i zgodne z zasadami pro jakościowymi podejście do kwestii logistyki w zakresie magazynowania płodów rolnych umożliwia określenie potencjalnych przyczyn ryzyka i minimalizuje zagrożenia mogące wystąpić w okresie przechowywania plonu. Zapewnienie jakości produktów żywnościowych obejmuje trzy kluczowe elementy:

- zapewnienie higieny żywności,
- zapewnienie jakości poprzez klasyfikowanie i testy jakości,
- zapewnienie mechanizmów wycofania produktu.

Niezbędne jest zatem stosowanie odpowiednich, dedykowanych dla danych procesów, procedur monitoringu na różnych etapach produkcji żywności, procedur dbałości o produkt, systemów śledzenia i znakowanie produktów.

Bezpieczeństwo żywności powinno zapewnić prawidłowe funkcjonowanie organizmu człowieka. Żywność produkowana z bulw ziemniaka w warunkach podwyższonej temperatury (powyżej 120°C) jest obciążona ryzykiem występowania w niej akrylamidu. Powstawanie akrylamidu oraz źródła jego pobrania, jak i negatywne oddziaływanie na organizm ludzi i zwierząt, opisano w wielu pozycjach literatury. Akrylamid powstaje w skutek oddziaływania czynników, które można przypisać do dwóch grup: czynniki związane z produkcją ziemniaka, a wśród nich wpływ odmian, uprawy i przechowywania oraz czynniki wynikające z technologii przetwarzania. Wielu naukowców stwierdza znaczący wpływ cukrów redukujących na zawartość akrylamidu w produktach. Zdaniem niektórych, poziom korelacji pomiędzy zawartością cukrów redukujących w surowych ziemniakach, a zawartością akrylamidu w produktach jest bardzo wysoki i wynosi około 0,97. Na zawartość cukrów redukujących w surowcu jakim są bulwy ziemniaka ma wpływ proces produkcji, ale najistotniejsze jest oddziaływanie cech odmianowych oraz przechowywanie. Problem nowoczesnego magazynowania plonu ziemniaka wymusza nowatorskie spojrzenie na kwestię regulacji klimatu w pomieszczeniu przechowalni, a w szczególności utrzymanie prawidłowych warunków termohigrometrycznych. Podstawą uzyskania bulw ziemniaka, po okresie przechowywania, o odpowiednich parametrach ilościowych i jakościowych, jest między innymi znajomość podstaw teorii wymiany masy i ciepła między obiektami biologicznymi a otoczeniem. W doskonaleniu metod magazynowania ziemniaka duże zastosowanie mają modele matematyczne procesów przechowalniczych.

2. TECHNOLOGIA PRZECHOWYWANIA BULW ZIEMNIAKA W KONTEKŚCIE BEZPIECZNYCH WYROBÓW PIECZONYCH I SMAŻONYCH

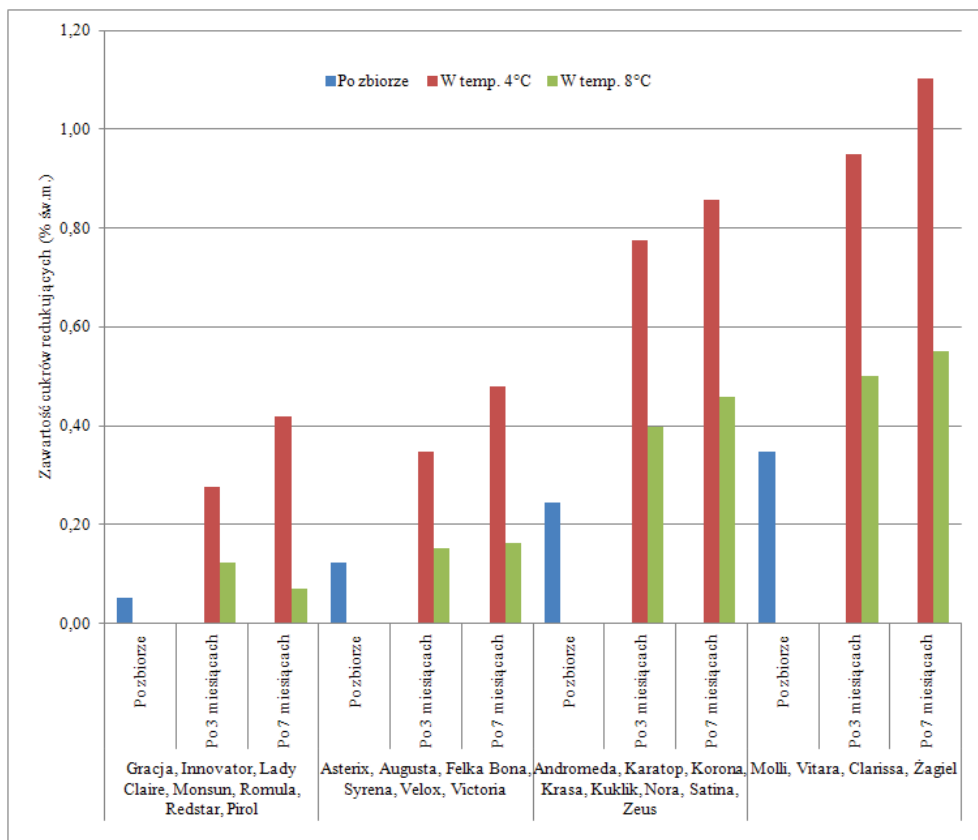
Bezpieczeństwo żywności powinno zapewnić prawidłowe funkcjonowanie organizmu człowieka. Żywność produkowana z bulw ziemniaka w warunkach podwyższonej temperatury (powyżej 120°C) jest obciążona ryzykiem występowania w niej akrylamidu. Powstawanie akrylamidu, źródła pobrania oraz jego oddziaływanie na organizmy ludzi i zwierząt opisano w wielu pozycjach literatury (Mottam i in. 2002; Cummins i in. 2008; Tajner-Czopek i in. 2010; Metody zabezpieczania..., 2015). Akrylamid powstaje w skutek oddziaływania wielu czynników, które można przypisać do dwóch grup: czynniki związane z produkcją ziemniaka, a wśród nich wpływ odmian, uprawy i przechowywania oraz czynniki wynikające z technologii przetwarzania, których znaczenie opisano w (Metody zabezpieczania..., 2015). Wielu naukowców (Mottam i in. 2002; Cummins i in. 2008; Tajner-Czopek i in. 2010) stwierdza znaczący wpływ zawartości cukrów redukujących na stężenie akrylamidu w produktach. Cummins i in. (2008) piszą, że według Amrein i in. oraz Mattha i in. poziom korelacji pomiędzy zawartością cukrów redukujących w surowych ziemniakach a zawartością akrylamidu w produktach jest bardzo wysoki i zawiera się w przedziale od 0,97 do 0,98. Na zawartość cukrów redukujących w surowcu, jakim są bulwy ziemniaka, ma wpływ proces produkcji, a najistotniejsze jest oddziaływanie cech odmianowych oraz przechowywanie. W mniejszym stopniu na poziom cukrów wpływa stosowana uprawa.

2.1. Czynniki wpływające na zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka

2.1.1. Wpływ odmiany ziemniaka na zawartość cukrów redukujących

Cechy odmianowe ziemniaka w sposób zasadniczy wpływają na zawartość cukrów redukujących w bulwach, zarówno tuż po zbiorze jak również w okresie przechowywania. Z badań Zgórskiej i in., (2006) wynika, że zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka różnych odmian jest bardzo zmienna. Autorzy tych badań dzielą odmiany, na grupy o podobnych cechach pod względem badanej właściwości. Wśród czterech przedstawionych grup można zidentyfikować odmiany, które tuż po zbiorze zawierają cukry redukujące na poziomie poniżej dopuszczalnej normy z przeznaczeniem na chipsy (0,15%) (Gracja, Innowator, Lady Claire, Monsun, Romula, Redstar,

Pirol). Odmiany Asterix, Augusta, Felka Bona, Syrena, Velox, Victoria zawierają średnio po zbiorze ok. 0,15% cukrów redukujących. Do grupy o najwyższej zawartości cukrów redukujących po zbiorze Autorzy zaliczyli odmiany, które zawierały średnio około 0,35% (Molli, Vitara, Clarissa, Żagiel) (rys. 1).

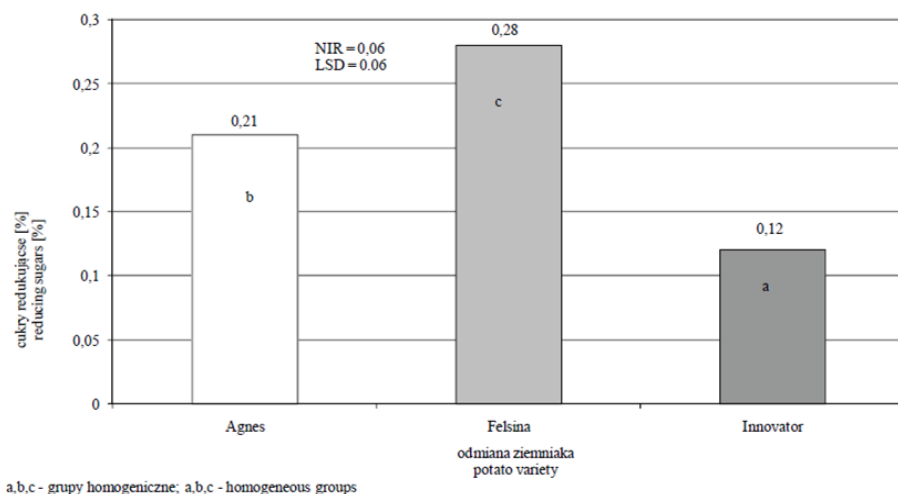


Źródło: Zgórska i in., 2006

Rysunek 1. Zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka po zbiorze, po 3 i 7 miesiącach przechowywania w temperaturach 4°C i 8°C

Tajner-Czopek i in. (2010) przedstawiają zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka odmian powszechnie używanych do produkcji frytek w Europie Zachodniej i Środkowej (rys. 2). Najmniejszą zawartość cukrów redukujących zawierały bulwy odmiany Innovator (0,12%), nieco więcej Agnes (0,21%) i Felsina (0,28%). Wprawdzie zawartość cukrów różni się istotnie ale bulwy dwóch badanych odmian zawierały ich stężenie na poziomie dopuszczalnym w produkcji frytek (max ok.

0,25%), w przypadku trzeciej odmian Felsina, zawartość została nieznacznie przekroczona.

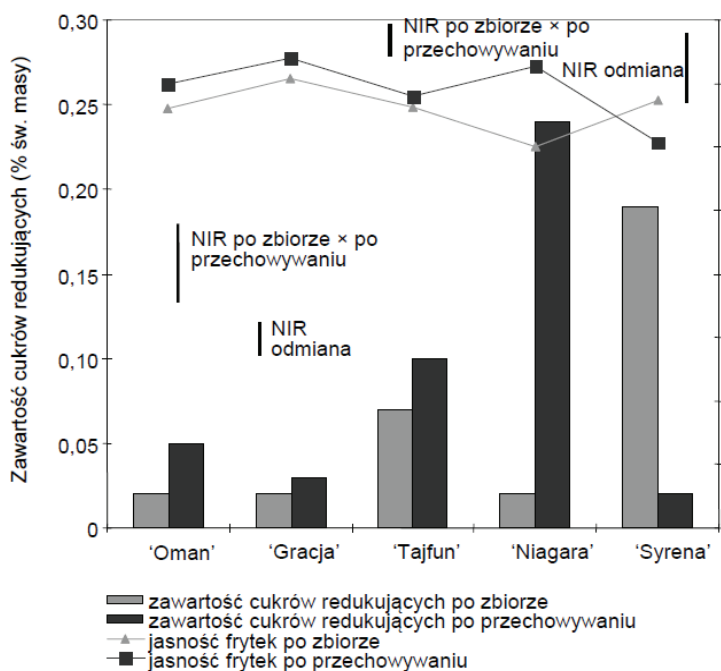


Źródło: Tajner-Czopek i in., 2010

Rysunek 2. Zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka wybranych odmian

Podobne zróżnicowanie zawartości cukrów redukujących w bulwach pięciu odmian wykazały w swoich badaniach Grudzińska i Zgórska (2010) (rys. 3). Zawartości cukrów w bulwach po zbiorze spełniały normy jakościowe dla surowca przeznaczonego do przetwórstwa i wynosiły od 0,02% dla odmiany Oman do 0,19% dla odmiany Syrena.

Cummins i in. (2008) podają dane na temat jednej z najbardziej popularnych w Europie odmian ziemniaka wykorzystywanej w produkcji chipsów Lady Claire. Odmiana ta jest jedną z niewielu, chętnie stosowanych przez producentów chipsów, głównie z powodu otrzymywania produktu dobrej jakości, bez ciemnych przebarwień będących wynikiem reakcji Maillarda. Wynika to z faktu, że rzeczywista zawartość cukrów redukujących jest poniżej dopuszczalnej normy. Na przykład w Irlandii odmiana ta stanowi 40% przerabianych ziemniaków na chipsy. Również Lisińska (2006), powołując się na badania Zgórskiej, wymienia tę odmianę na pierwszym miejscu wśród nielicznych, które obecnie nadają się do produkcji dobrej jakości chipsów (tab. 1).



Źródło: Grudzińska, Zgórska, 2010

Rysunek 3. Zawartość cukrów redukujących w bulwach badanych odmian ziemniaka po zbiorze i po siedmiu miesiącach przechowywania w temperaturze 8°C oraz barwa frytek

Tabela 1. Najbardziej przydatne odmiany ziemniaka w Polsce i Europie do produkcji chipsów

Odmiany zarejestrowane w Polsce w 2004 r.	Odmiany najchętniej stosowane przez producentów	
	UE	Polska
Polskie: Aster, Orlik, Felka Bona, Cedron, Dorota, Gracja, Kuklik, Baszta, Kuba, Monsun, Tokaj Zagraniczne: Foreign, Fresco, Gloria, Karlana, Lady Claire, Augusta, Pirol	Lady Claire, Karlana, Erntestolz, Saturna, Lady Rosetta, Redstar, Albatros, Hermes, Atlantic, Rekord, Brodick, Fresco	Saturna, Karlana, Lady Claire, Lady Rosetta, Cedron, Pirol, Tomensa

Źródło: Lisińska, 2006

Podobnie jak do produkcji chipsów, również do produkcji frytek wykorzystywana jest wąska grupa odmian ziemniaka najchętniej stosowanych przez producentów (tab. 2), pomimo bardzo szerokiej propozycji odmian przydatnych do tej produkcji i oferowanych przez czołowych hodowców Europy (tab. 3).

Tabela 2. Najbardziej przydatne odmiany ziemniaka w Polsce i Europie do produkcji frytek

Odmiany zarejestrowane w Polsce w 2004 r.	Odmiany najchętniej stosowane przez producentów	
	UE	Polska
Polskie: Aster, Orlik, Felka, Bona, Kuklik, Baszta, Monsun, Tokaj, Triada, Wiking Zagraniczne: Foreign, Augusta, Fresco, Gloria, Innovator, Nora, Asterix, Victoria, Redstar, Fian-na	Agria, Bintie, Asterix, Felsina, Innovator, Desiere, Innovator, Premiere, Victoria, Fresco, Amora, Felsina, Santana, Shepody, Russet, Bur-bank	Santana, Asterix, Remarka, Dorado, Monsun

Źródło: Lisińska, 2006

Tabela 3. Liczba odmian ziemniaka przydatnych do przetwórstwa spożywczego

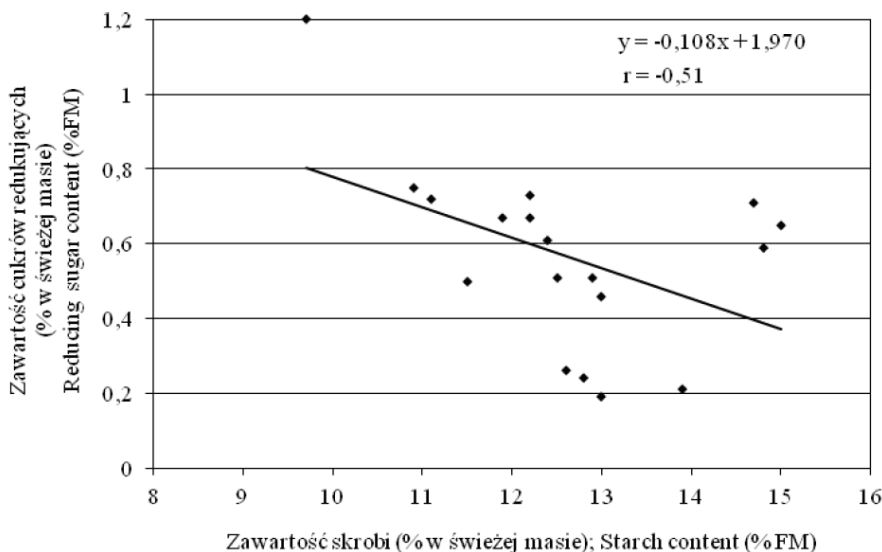
Kraj	Frytki	Chipsy	Susze	Inne	Ogółem
Liczba odmian					
Polska	23	27	30	25	114
Holandia	37	17	4	4	105
Niemcy	43	41	39	20	210

Źródło: Lisińska, 2006

2.1.2. Wpływ uprawy ziemniaka na zawartość cukrów redukujących

Uprawa ziemniaka nie ma istotnego wpływu na poziom cukrów redukujących, a zatem na zawartość akrylamidu w produktach smażonych. Z badań autorów cytowanych przez Cummins i in. (2008) porównanie uprawy klasycznej z uprawą integrowaną i ekologiczną nie przyniosło pozytywnego rozstrzygnięcia, o dominacji którejś z nich w odniesieniu do zawartości cukrów redukujących i poziomu akrylamidu. Również sposób nawożenia, z zastosowaniem obornika i bez jego stosowania, nie miał istotnego wpływu na analizowane parametry surowca i wyrobu. Natomiast z cytowanych przykładowo danych wynika, że poziom cukrów redukujących tej samej odmiany ziemniaków zbieranych w lipcu był pięciokrotnie wyższy od tych zbieranych pod koniec sierpnia. Inne cytowane przez Cummins i in. (2008) badania wskazują wykładniczo zmniejszającą się zawartość cukrów redukujących w okresie od lipca do października. Wyniki badań części autorów potwierdzają zgodnie, że wczesność odmian i stopień dojrzałości bulw mają istotne znaczenie na zawartość cukrów redukujących. Odmiany wczesne i zbierane w fazie niepełnej dojrzałości posiadają podczas zbioru wyższy poziom cukrów redukujących w porównaniu z odmianami średnio późnymi i zbieranymi w fazie pełnej dojrzałości. Podobna, pośrednia zależność wynika z badań

Zgórskiej i Grudzińskiej (2012) (rys. 4). Badania te wskazują na zmniejszającą się zawartość cukrów redukujących wraz ze wzrostem zawartości skrobi w bulwach ziemniaka. Odmiany bardzo wczesne i wczesne zawierają zazwyczaj mniejszą zawartość skrobi w porównaniu z odmianami średnio późnymi i późnymi.



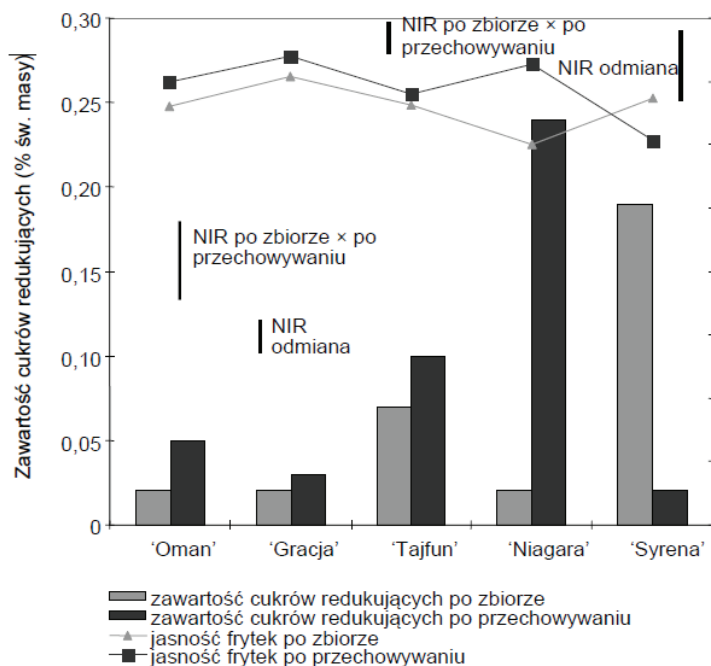
Źródło: Zgórska, Grudzińska, 2012

Rysunek 4. Zawartości cukrów redukujących w zależności od zawartości skrobi

2.1.3. Wpływ przechowywania bulw ziemniaka na zawartość cukrów redukujących

Długotrwałe przechowywanie ziemniaka determinuje w wysokim stopniu jakość bulw, jako surowca dla przetwórstwa spożywczego, szczególnie z przeznaczeniem na wyroby smażone i pieczone. Parametrem decydującym o przydatności bulw do przetwórstwa, szczególnie na wyroby smażone jest poziom zawartości w nich cukrów redukujących. Grudzińska i Zgórska (2010) przedstawiają, że jak podają Cottrell i in.; Nourian i in.; Richardson i in. tworzenie się cukrów redukujących w bulwach ziemniak jest wynikiem uaktywnienia się enzymu inwertazy, która katalizuje rozkład sacharozy do cukrów prostych. Z cytowanych badań wynika, że maksymalna aktywność enzymu i czas jego działania zależą od temperatury otoczenia, w jakim znajdują się bulwy. W przypadku procesu przechowywania stwierdzono, że aktywność tego enzymu jest istotnie większa w temperaturze otoczenia bulw 3-5°C w porównaniu z temperaturą 8-10°C. Z eksperymentu przeprowadzonego przez Grudzińską i Zgórską (2010) wynika, że spośród pięciu odmian przyjętych do badań w czterech nastąpił wzrost zawartości cukrów redukujących w siedniomiesięcznym okresie przechowywania w tempera-

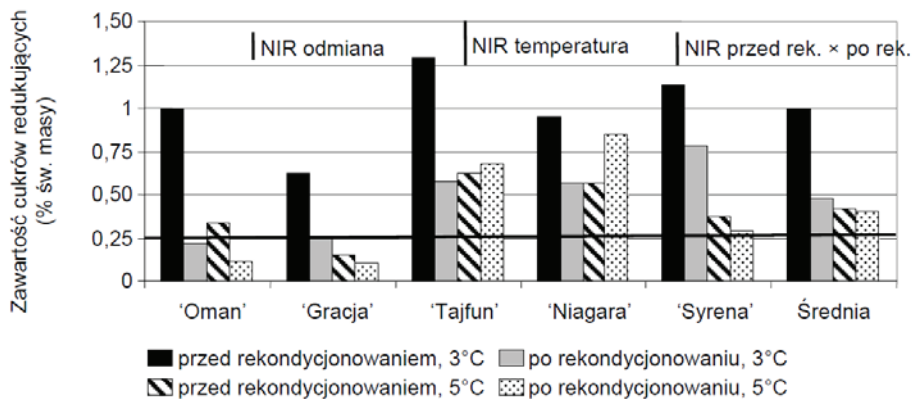
turze 8°C (rys. 5, 6). Największy przyrost o ok. 0,2% nastąpił w przypadku odmiany 'Niagara', natomiast najmniejszy o ok. 0,01% w odmianie 'Gracja'. Z badań tych wynika również, że odmiana 'Gracja' jest odporna na nagromadzenie cukrów redukujących pomimo przechowywania w niskiej temperaturze 5°C. Przechowywanie tej odmiany przez siedem miesięcy w temperaturze 5°C spowodowało przyrost zawartości cukrów redukujących do wartości ok. 0,13%, a jest to poniżej normy (0,25%) wyznaczonej dla surowca przeznaczonego do produkcji frytek (rys. 6).



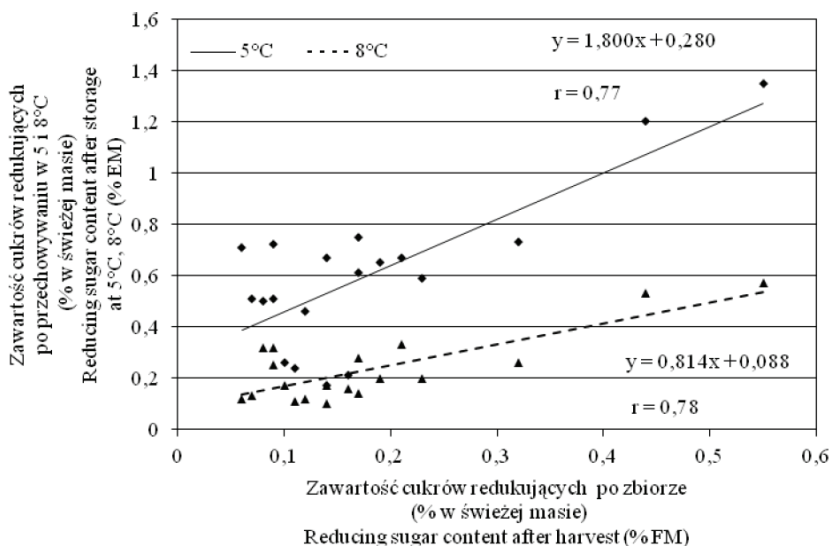
Źródło: Grudzińska, Zgórska, 2010

Rysunek 5. Zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka po zbiorze i po siedmiu miesiącach przechowywania w temperaturze 8°C

Na zawartość cukrów redukujących po okresie przechowywania istotny wpływ oprócz temperatury ma początkowa zawartość tego składnika tuż po zbiorze (rys. 7). Przedstawiane zależności (rys. 7) wskazują na dość ściśle związki wzrostu zawartości cukrów redukujących w przechowywanych bulwach wraz ze wzrostem tego składnika określanego po zbiorze. Również położenie linii trendu dla dwóch stosowanych temperatur przechowywania jest różne i tak wyżej na wykresie położona jest linia odzwierciedlająca przebieg zmian dla temperatury przechowywania 5°C w porównaniu z przechowywaniem w 8°C.



Rysunek 6. Zawartość cukrów redukujących w bulwach badanych odmian ziemniaka po siedmiu miesiącach przechowywania w temperaturze 3 i 5°C przed zabiegiem i po zabiegu rekondycjonowania



Rysunek 7. Wpływ zawartości cukrów redukujących po zbiorze na zawartość cukrów redukujących po przechowywaniu w temperaturach 5 i 8°C

2.2. Rekondycjonowanie bulw ziemniaka

Z dotychczas prowadzonych badań wynika, że głównym sposobem na uzyskanie odpowiedniego stanu bulw (technologicznie przydatnych do konsumpcji (Leszczyński, 1994; 2000a,b; Nowacki, 2000) i przerobu na wyroby spożywcze, o ubytkach naturalnych poniżej 10% po długotrwałym składowaniu), jest przechowywanie ich w niskiej temperaturze (ok. 4°C), a następnie rekondycjonowanie w temperaturze 10-20°C (Zgórska, Frydecka-Mazurczyk, 1994; Frydecka-Mazurczyk, Zgórska, 2000a,b). Ograniczanie strat naturalnych poprzez obniżanie temperatury przechowywania pociąga za sobą ryzyko podwyższenia w bulwach poziomu zawartości cukrów redukujących poza graniczną wartość, która decyduje z kolei o przydatności ziemniaków na cele konsumpcyjne i przetwórcze (Lisińska i in., 1991a,b; Zgórska, 1996, 2003; Frydecka – Mazurczyk, Zgórska, 2000a,b; Lisińska 2000;). Dotychczasowe badania w tym zakresie potwierdzają, że nie wszystkie odmiany ziemniaka są podatne na proces rekondycjonowania. Od ponad 60 lat prowadzi się intensywne badania nad możliwością zmniejszenia zawartości sacharydów poprzez stosowanie zabiegu rekondycjonowania bulw. Zabieg ten jest ciągle wysoce zawodny i w dużej mierze zależy od temperatury, odmiany i terminu jego wykonywania (Mackay i in., 1990; Maag, Rest, 1992; Williams, Cobb, 1992; Putz, 1997, 2004; Zgórska, Frydecka-Mazurczyk, 1999; Zgórska, Czerko, 2006a,b). Nie zawsze w wyniku zabiegu rekondycjonowania następuje konwersja cukrów w skrobię (Zimnoch-Guzowska, Flis, 2006). Zgórska (2004) twierdzi, że „utrzymanie niskiego poziomu cukrów redukujących w bulwach nie jest proste. Nawet dobór odpowiednich odmian nie gwarantuje stabilnej, małej zawartości tych związków”. Z przedstawionych wyników badań Zgórskiej i in. (2006) wynika, że po zabiegu rekondycjonowania z dziewięciu odmian przeznaczonych na chipsy tylko cztery spełniają wymagania technologiczne a wśród jedenastu odmian na frytki tylko trzy są przydatne jako surowiec na ten produkt (tab. 4).

Tabela 4. Odmiany przydatne do przetwórstwa na wyroby smażone, zależnie od sposobu i okresu przechowywania

Przydatność	Odmiany	
	Chipsy	Frytki
Po zbiorze i po 3 miesiącach przechowywania w 8°C	Lady Claire, Augusta, Felka Bona, Gracja, Pirol, Monsun, Nora, Victoria	Asterix, Augusta, Innovator, Kuklik, Nora, Pirol, Redstar, Syrena, Monsun
Po 7 miesiącach przechowywania w 8°C	Lady Claire, Augusta, Gracja, Pirol, Nora, Monsun, Victoria	Asterix, Augusta, Pirol, Redstar, Victoria, Monsun
Rekondycjonowane po przechowywaniu w 4°C	Felka Bona, Pirol, Monsun	Redstar, Nora, Pirol, Monsun

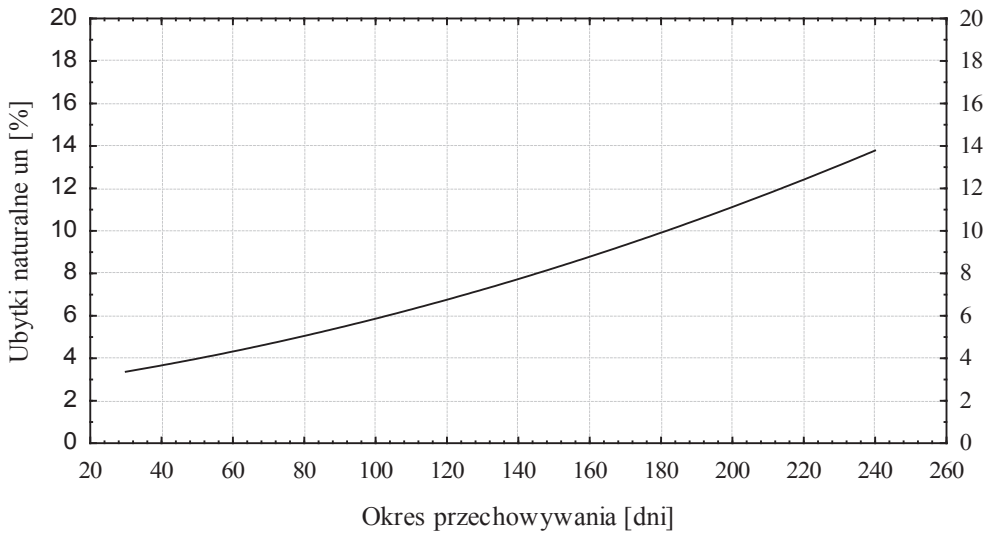
Źródło: Zgórska i in., 2006

2.3. Konsekwencje przechowywania bulw ziemniaka w podwyższonej temperaturze

2.3.1. Ubytki naturalne

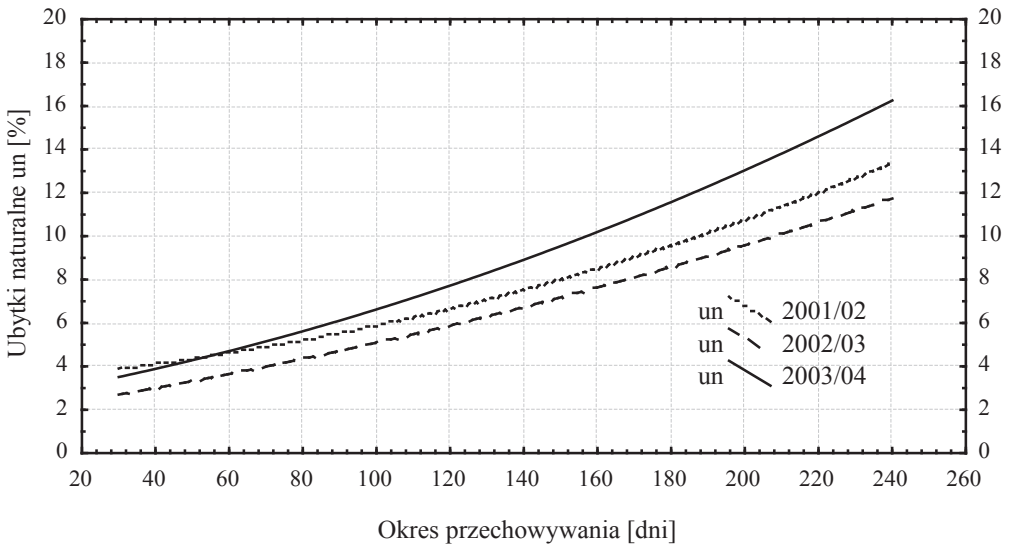
Podczas długotrwałego przechowywania ziemniaków, zachodzą w nich procesy, w wyniku których następują zmiany ilościowe polegające między innymi na zmniejszeniu wyjściowej masy bulw na skutek oddychania, transpiracji i kiełkowania. Straty te nie są możliwe do wyeliminowania, natomiast można je różnymi sposobami ograniczać (Kuźniewicz-Czerko i in., 1992; Sowa-Niedziałkowska, 2000, 2002, 2003, 2005; Zgórska i in., 2006). Z literatury przedmiotu wynika, że poziom tych strat zdeterminowany jest przede wszystkim poprzez temperaturę i wilgotność względną powietrza podczas składowania oraz czas przechowywania. W mniejszym stopniu na poziom strat naturalnych mają wpływ: warunki meteorologiczne panujące podczas okresu wegetacji, cechy genetyczne odmian, uszkodzenia mechaniczne bulw powstałe podczas zbioru i obróbki pozbiorowej (Zgórska, Frydecka-Mazurczyk, 1997; Sowa-Niedziałkowska, 2000; Sowa – Niedziałkowska, Zgórska, 2005). Przy zalecanych warunkach przechowywania (4-12°C), zależnych od kierunków użytkowania, straty naturalne w sześć- ośmiomiesięcznym okresie przechowywania wynoszą od kilku do kilkunastu procent. Z badań Sobola (2005b) wynika, że podczas ośmiomiesięcznego przechowywania bulw ziemniaka w temperaturze ok. 6°C i wilgotności względnej powietrza ok. 90% maksymalne naturalne ubytki przechowalnicze (powodowane oddychaniem i transpiracją) wyniosły 14% (rys. 8). Badania w tym zakresie przeprowadzono według zmodyfikowanej metodyki badawczej, zgodnie z którą zakłada się utrzymanie pożądanych i wyrównanych parametrów przechowywania dla wszystkich badanych bulw. Dlatego przyjęto, że każda badana bulwa będzie traktowana jako oddzielny obiekt badawczy, dla którego wytworzone zostaną wyrównane warunki przechowywania. Autor posługując się tą metodą przyjął, że bulwy będą przechowywane w pojedynczych warstwach na ażurowym podłożu. Przebieg zmian ubytków naturalnych w funkcji czasu przechowywania został wyrażony wielomianem drugiego stopnia, dla którego udział wariancji wyjaśnionej zawierał się od 0,5863 do 0,9019 w zależności od kombinacji doświadczenia.

Przedstawione przez Sobola, (2005b) badania w tym zakresie wskazują, że na wartość ubytków naturalnych statystycznie istotny wpływ miały warunki meteorologiczne panujące w okresie wegetacji, odmiany ziemniaka, frakcje wielkościowe bulw oraz rodzaj stosowanego w uprawie nawożenia. Przedstawione zależności na wykresie (rys. 9) oraz analiza warunków pogodowych w latach prowadzonych badań wskazują, że wartości oraz tempo zmian ubytków naturalnych w trakcie przechowywania są większe po okresach wegetacji o niedostatecznej ilości opadów.



Źródło: Sobol, 2005b

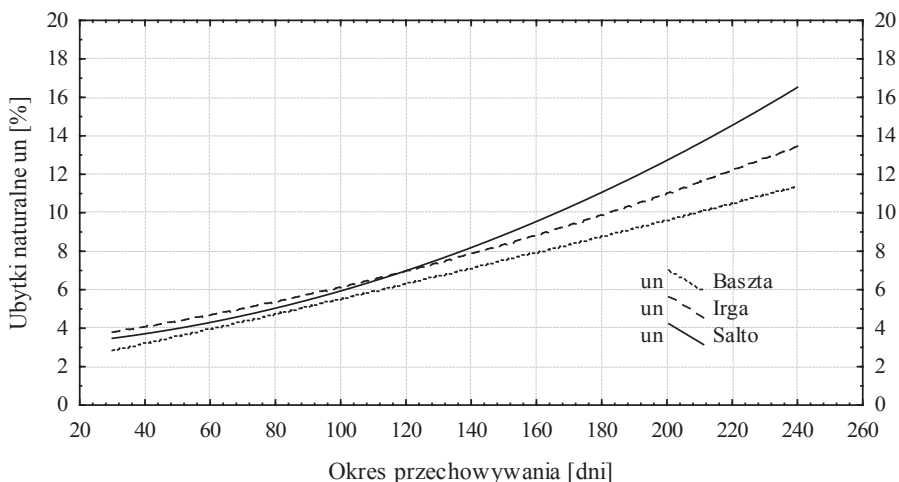
Rysunek 8. Wpływ czasu przechowywania na wartość ubytków naturalnych bulw ziemniaka



Źródło: Sobol, 2005b

Rysunek 9. Wpływ czasu przechowywania na wartość ubytków naturalnych bulw ziemniaka dla lat badań

Przeprowadzony eksperyment potwierdza również wpływ genetycznych cech odmianowych na badaną wielkość. Przedstawione wyniki badań wskazują statystycznie istotny wpływ przyjętych odmian na zmianę ubytków naturalnych (rys. 10). Odmiana Salto charakteryzowała się największymi ubytkami naturalnymi, a ich wartość przyrastała intensywnie po 160 dniach przechowywania. Odmiana Baszta miała najmniejsze ubytki naturalne po 8-miu miesiącach i były one mniejsze o 6 punktów procentowych od odmiany o najwyższych ubytkach.

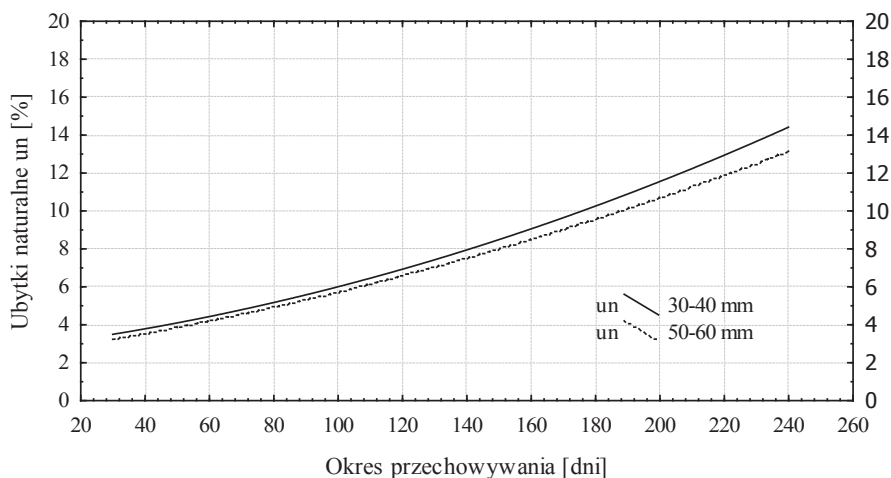


Źródło: Sobol, 2005b

Rysunek 10. Wpływ czasu przechowywania na wartość ubytków naturalnych bulw ziemniaka dla odmian

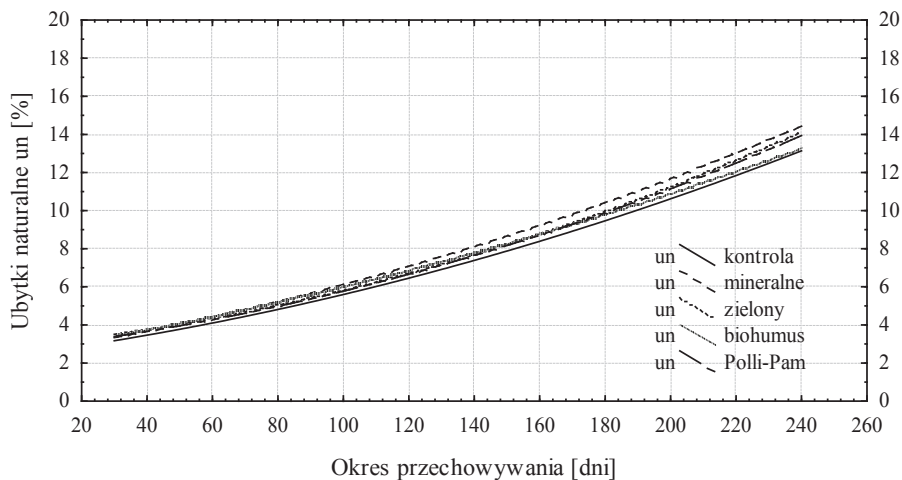
Analizowane badania pokazują, że większe ubytki naturalne posiadają bulwy frakcji wielkościowej mniejszej (30-40mm technologicznie niedojrzałe) w porównaniu z bulwami frakcji większej 50-60mm (rys. 11).

Równocześnie w tym eksperymencie stwierdzono, że większe ubytki naturalne występują w bulwach nawożonych nawozami mineralnymi i chemicznymi w porównaniu z ziemniakami nawożonymi nawozami pochodzenia naturalnego i organicznego (rys. 12).



Źródło: Sobol, 2005b

Rysunek 11. Wpływ czasu przechowywania na wartość ubytków naturalnych bulw ziemniaka dla frakcji wielkościowych



Źródło: Sobol, 2005b

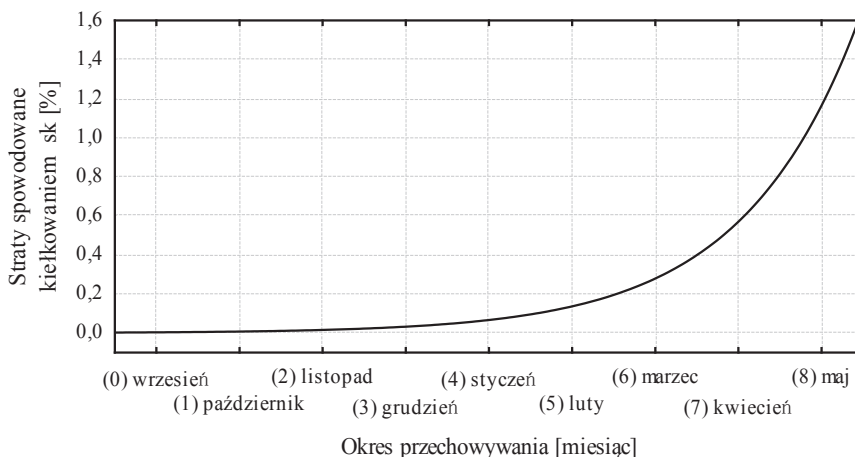
Rysunek 12. Wpływ czasu przechowywania na wartość ubytków naturalnych bulw ziemniaka dla nawożenia

Przeprowadzone badania wykazują, że w grupie strat naturalnych największy udział stanowią straty powodowane transpiracją bulw (75-85%) (Sowa-Niedziałkowska, 2000; Sobol, 2006c,d). Według Chourasia (2004, 2006a,b) utrata wilgotności bulw

ziemniaka jest jednym z najbardziej ekonomicznie znaczących parametrów dla długoterminowego przechowywania. Jest to zjawisko transferu masy, które ma silny związek z transferem ciepła i przepływem cieczy. Transpiracja wody z bulw przebiega poprzez skórę a w końcowym etapie przechowywania również (bardzo intensywnie) przez kielki. Straty te powodują pogorszenie jakości bulw, głównie poprzez utratę jędrności (Cobb i in., 2000).

2.3.2. Straty powodowane kielkowaniem

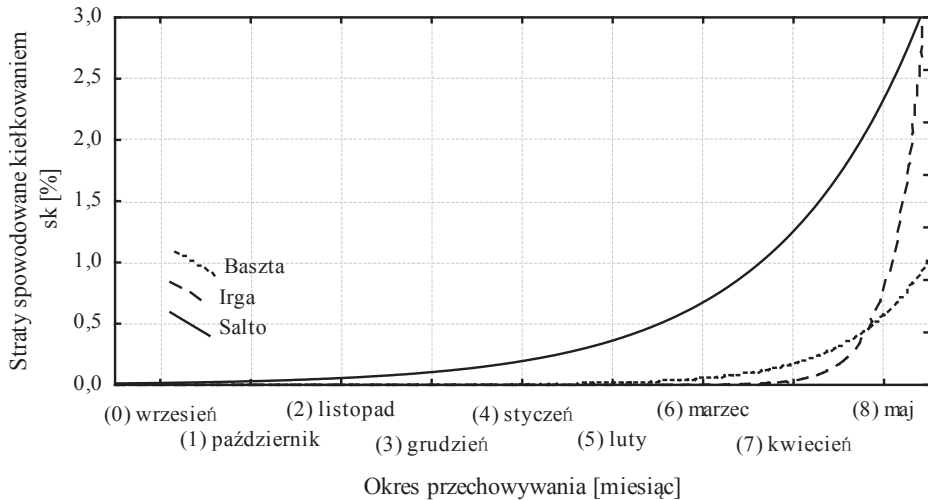
Bulwy ziemniaka zaczynają kiełkować po okresie fizjologicznego uśpienia. Okres ten jest zmienny i zależy od wielu czynników, które można zaliczyć do czterech grup: przechowalniczych, agrotechnicznych, genetycznych i meteorologicznych okresu wegetacji. Za koniec okresu uśpienia przyjmuje się stan bulw gdy około 80% z nich wytworzy kielki o długości co najmniej 3 mm (Sowa-Niedziałkowska, 2003). Wielkość strat spowodowanych kielkowaniem (stosunek masy kielków do masy bulw przed przechowywaniem) ma niewielkie znaczenie bezpośrednie. Natomiast masa kielków decyduje w znaczącym stopniu o poziomie ubytków powodowanych transpiracją, gdyż intensywność transpiracji przez kielki jest wielokrotnie większa niż przez skórę. Z badań Sobola (2005a) wynika, że maksymalne straty spowodowane kielkowaniem po ośmiu miesiącach przechowywania wynoszą 1,2% (rys. 13). Nie są to ilościowo wielkie straty, ale rozpoczęcie okresu kielkowania pociąga za sobą rozpoczęcie szeregu przemian biochemicznych i fizycznych, które negatywnie wpływają na jakość bulw jako surowca przetwórczego i konsumpcyjnego.



Źródło: Sobol, 2005a

Rysunek 13. Wpływ czasu przechowywania na wartość strat spowodowanych kielkowaniem bulw ziemniaka

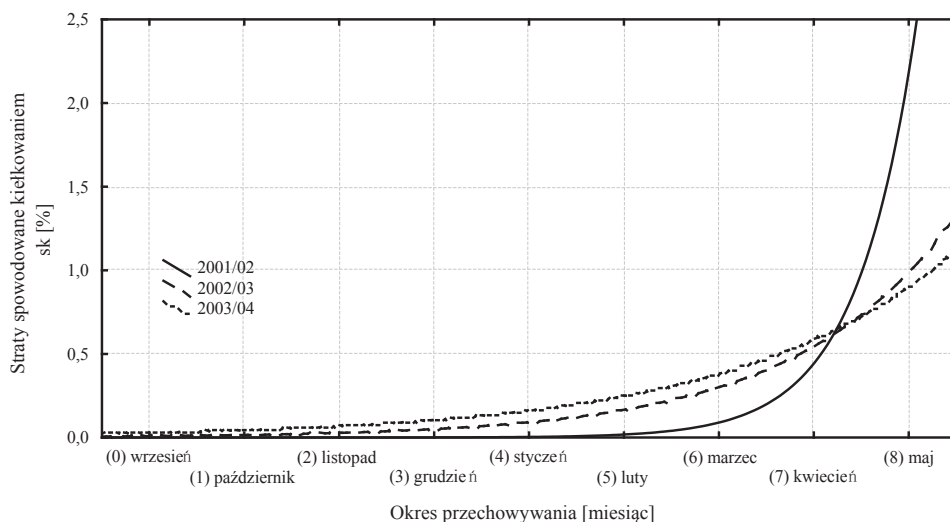
Straty powodowane kiełkowaniem zależą od cech genetycznych odmian. Z wykresu (rys. 14) wynika, że w zależności od odmian zmienia się długość okresu uśpienia bulw oraz tempo przyrostu strat powodowanych kiełkowaniem. Analiza wyników badań dowiodła, że krótszy okres uśpienia miały bulwy odmiany Salto w stosunku do odmian Baszta i Irga. Uzyskane wyniki badań przez Sobol (2005a) są w znacznej części zgodne z wynikami badań Sowcy-Niedziałkowskiej (2002).



Źródło: Sobol, 2005a

Rysunek 14. Wpływ czasu przechowywania na wartość strat spowodowanych kiełkowaniem bulw ziemniaka dla odmian

Długość okresu uśpienia bulw ziemniaka w omawianym eksperymencie zależała również od warunków meteorologicznych panujących w okresie wegetacji. Analiza warunków meteorologicznych panujących na plantacji w latach prowadzenia badań wskazuje, że tempo zmian spowodowanych kiełkowaniem jest wolniejsze po okresach wegetacji o niedostatecznej ilości opadów (rys. 15).



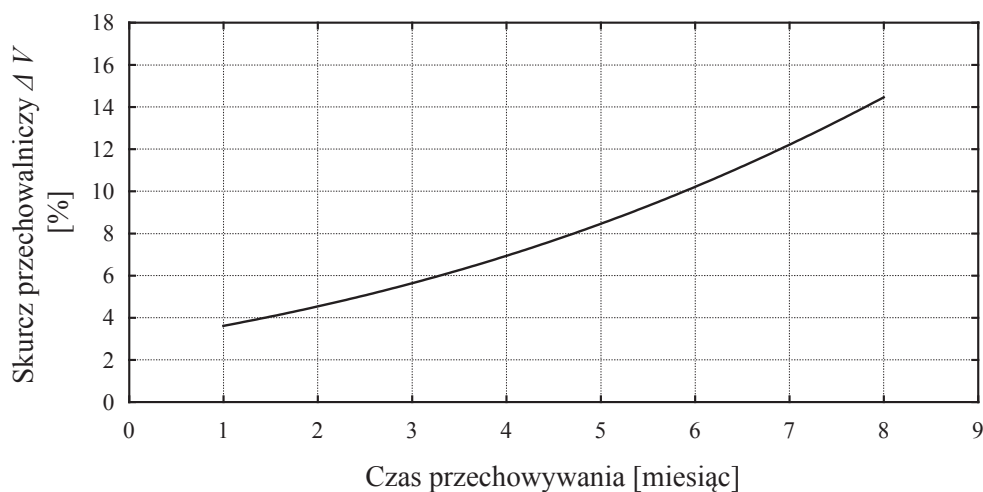
Źródło: Sobol, 2005a

Rysunek 15. Wpływ czasu przechowywania na wartość strat spowodowanych kiełkowaniem bulw ziemniaka dla lat badań

2.3.3. Ubytki objętości – skurcz przechowalniczy

Utrata wody przez bulwy wynikająca z transpiracji w okresie przechowywania wpływa na spadek ich jędrności. Nadmierny spadek jędrności bulw może być przyczyną: zwiększenia strat podczas obierania (zwłaszcza mechanicznego), istotnych zmian kształtów i wymiarów podczas krojenia na chipsy i frytki, pogorszenia stanu powierzchni (powierzchnia szorstka, nierówna, poszarpana, duża liczba otwartych komórek). Powstające nieprawidłowości przy krojeniu plasterków i słupków z bulw, które nadmiernie utraciły jędrność, przekładają się na pogorszenie jakości otrzymywanych z nich chipsów i frytek (zmiana zawartości oleju, nierównomierne jego rozłożenie, pogorszenie tekstury powierzchni). Parametrem dobrze opisującym konsekwencje transpiracji bulw jest zmiana ich objętości. W trakcie długotrwałego przechowywania bulw występuje ubytek objętości, który można określić jako skurcz przechowalniczy. Zmiany skurczu przechowalniczego w ośmiomiesięcznym okresie przechowywania określił Sobol (2006c). Z przeprowadzonych badań wynika, że statystycznie istotne zmiany skurczu przechowalniczego zależą od cech genetycznych odmian ziemniaka, frakcji wielkościowej bulw, stosowanego nawożenia oraz warunków pogodowych panujących na plantacji podczas wegetacji. Trendy zmian skurczu przechowalniczego dla wszystkich kombinacji doświadczenia, w długotrwałym okresie przechowywania

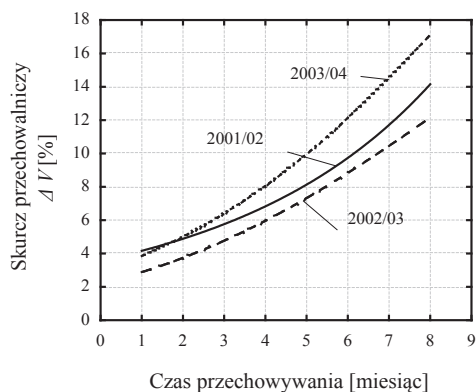
wyrażono za pomocą równań wykładniczych Sobol (2006c). Stopień dopasowania tych funkcji do wartości rzeczywistych eksperymentu dla badanych prób wynosił od 0,576 do 0,898 (rys. 16).



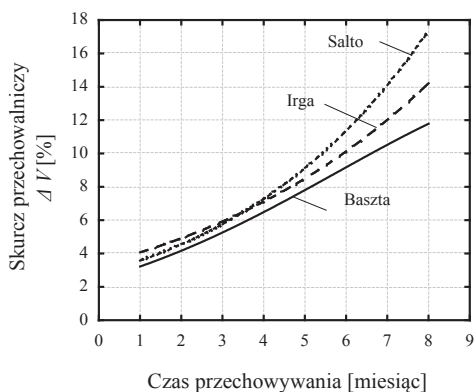
Źródło: Sobol, 2005a

Rysunek 16. Zależność skurczu przechowalniczego bulw ziemniaka od czasu przechowywania

Na wielkość skurczu przechowalniczego według Sobola (2006c) istotny wpływ miała ilość opadów w okresie wegetacji (rys. 17). Po okresie wegetacji o niedostatecznej ilości opadów występował większy skurcz przechowalniczy składowanych bulw. W bulwach odmian, w których okres naturalnego spoczynku jest krótszy a straty powodowane kiełkowaniem są większe, występuje większy skurcz przechowalniczy (rys. 18). Z badanych odmian największym skurczom ulegały bulwy odmiany Salto. W przeprowadzonych badaniach wykazano również, że bulwy frakcji wielkościowych mniejszych (bulwy zazwyczaj młodsze o mniej rozbudowanej warstwie skórki wraz tkanką korkotwórczą) ulegają większym skurczom przechowalniczym w porównaniu z bulwami frakcji większych (rys. 20). Zastosowane nawożenie organiczne i naturalne w uprawie ziemniaka powoduje, że tak wyprodukowane bulwy ulegają mniejszym skurczom podczas przechowywania (rys 19).

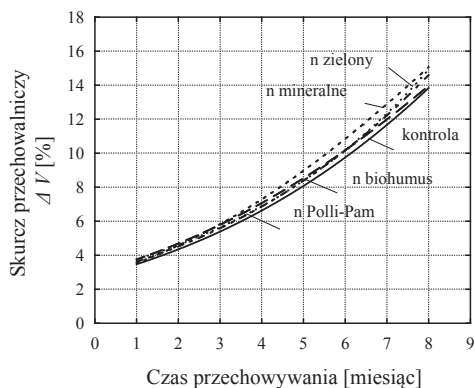


Rysunek 17. Zależność skurczu przechowalniczego bulw ziemniaka od czasu przechowywania dla lat badań

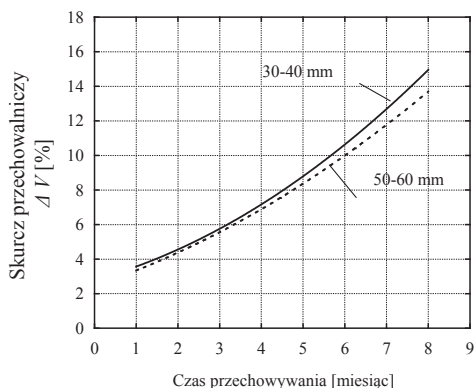


Rysunek 18. Zależność skurczu przechowalniczego bulw ziemniaka od czasu przechowywania dla odmian

Źródło: Sobol, 2006c



Rysunek 19. Zależność skurczu przechowalniczego bulw ziemniaka od czasu przechowywania dla stosowanych nawozów



Rysunek 20. Zależność skurczu przechowalniczego bulw ziemniaka od czasu przechowywania dla frakcji wielkościowych

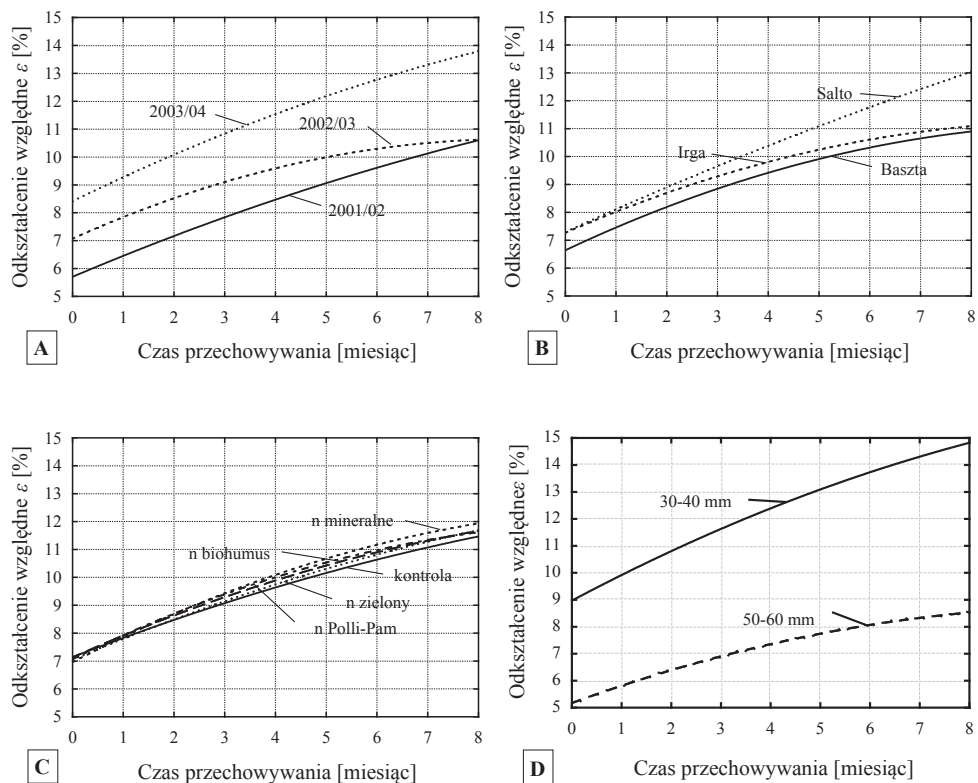
Źródło: Sobol, 2006c

2.3.4. Zmiany właściwości mechanicznych

Problem zmian właściwości mechanicznych bulw ziemniaka z praktycznego punktu widzenia wiąże się z wytrzymałością mechaniczną bulw oraz odkształceniami towarzyszącymi destrukcji skórki wskutek działania naprężeń zewnętrznych. Problem ten ma szczególne znaczenie ze względu na dynamiczny rozwój przetwórstwa ziemniaka na wyroby smażone oraz oferowania ziemniaków konfekcjonowanych dla indywidualnych klientów podczas całego sezonu przechowalniczego (Nowacki, 2000, 2003; Sobol, 2006a). W obu przypadkach podczas przechowywania, w którym bulwy ulegają wielu przemianom fizjologicznym i fizycznym istnieje konieczność wykonania na bulwach wielu operacji mechanicznych, które w konsekwencji generują powstawanie w nich naprężeń zewnętrznych (Frydecka-Mazurczyk, Zgórska, 2000a,b) prowadzących do uszkodzeń mechanicznych. Obecnie znajomość właściwości mechanicznych bulw ziemniaka w trakcie przechowywania jest równie ważna, a może i ważniejsza, jak w okresie zbioru. Przeprowadzone przez Sobolę (2006b) badania polegały na pomiarze siły powodującej przebicie skórki bulw (w teście statycznego obciążenia) oraz odkształceń będących efektem ich działania (w granicy wytrzymałości biologicznej bulw). W tym eksperymencie wartość siły odniesiono do powierzchni przekroju trzpienia penetrometru, uzyskując wartości naprężeń normalnych δ [Pa]. Wartości odkształceń odniesiono do grubości bulwy wyznaczając odkształcenia względne ε [%]. Z przedstawionych zależności wpływu czasu przechowywania na odkształcenia względne bulw ziemniaka w chwili destrukcji skórki wynika, że wartości odkształceń względnych przyrastają wraz z upływem czasu przechowywania. Linie trendu zmian odkształceń w funkcji czasu przechowywania wyznaczono za pomocą równań logarytmicznych z wykorzystaniem estymacji metodą najmniejszych kwadratów. Eksperyment ten wskazuje, że warunki meteorologiczne mają istotny wpływ na badaną wielkość. Zbyt wysoka temperatura podczas zbioru i brak opadów w dłuższym okresie przed zbiorem wpływają niekorzystnie na badaną właściwość (rys. 21A). Przebieg zmian odkształceń względnych zależy również od cech genetycznych odmian ziemniaka. Bulwy odmiany Salto ulegały największym odkształceniom w porównaniu z pozostałymi odmianami (rys. 21B). Bulwy frakcji mniejszej ulegają większym odkształceniom niż bulwy duże (rys. 21D). Stosowane nawożenie w niewielkim stopniu wpływało na przebieg zmian odkształceń względnych powstających w momencie destrukcji skórki (rys. 21C).

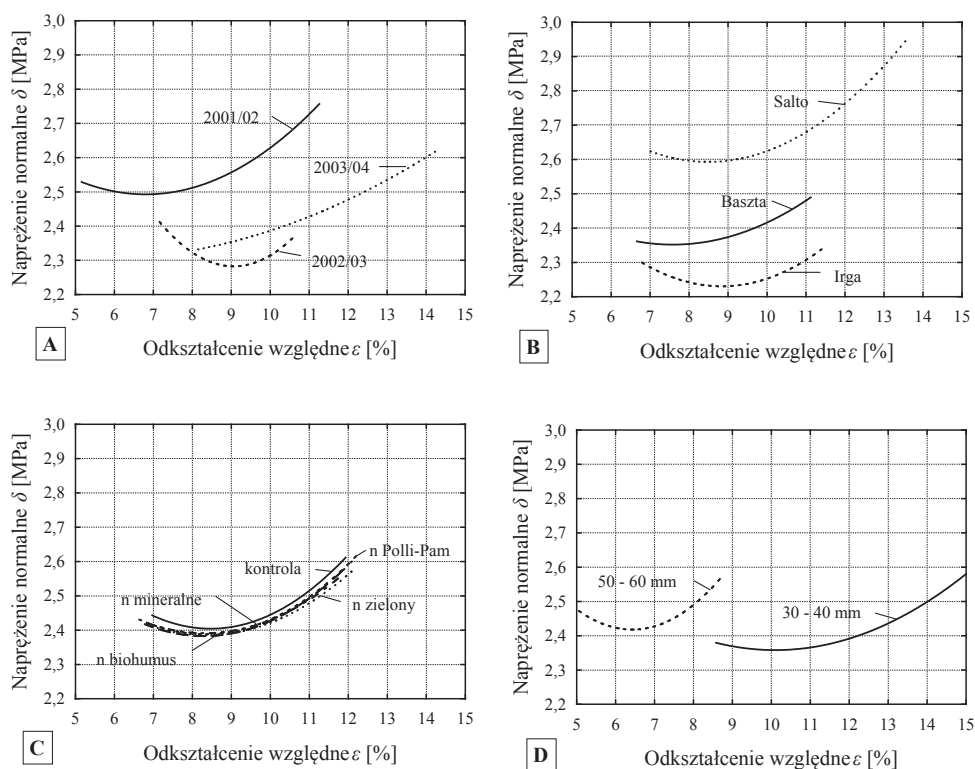
Naprężenia niszczące bulwy ziemniaka osiągają największą wartość w końcowym okresie przechowywania, a w okresie głębokiego spoczynku przyjmują wartość najmniejszą (Sobol, 2006b). Przebieg zmian naprężeń normalnych od odkształceń względnych w całym okresie przechowywania wyrażono wielomianami drugiego stopnia. Deficyt opadów w ostatnim okresie wegetacji i zbyt wysoka temperatura w trakcie zbioru powodowały obniżenie wartości naprężeń normalnych, to znaczy zmniejszenie wytrzymałości mechanicznej bulw (rys. 22A). Bulwy odmiany Salto wytrzymywały największe naprężenia normalne, a zatem były najbardziej wytrzymałe na uszkodzenia mechaniczne w porównaniu z bulwami pozostałych badanych odmian Baszta i Irga

(rys. 22B). Bulwy frakcji wielkościowej większej posiadały większą wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne, a to zostało stwierdzone analizą przebiegu zmian naprężeń normalnych w funkcji odkształceń względnych (rys. 22D). Zastosowane nawożenie nie miało istotnego wpływu na przebieg zmian naprężeń normalnych (rys. 22C).



Źródło: Sobol, 2006b

Rysunek 21. Zależność odkształceń względnych bulw ziemniaka (w chwili destrukcji skórki) od czasu przechowywania: A – dla lat badań, B – dla odmian, C – dla stosowanych nawozów, D – dla frakcji wielkościowych

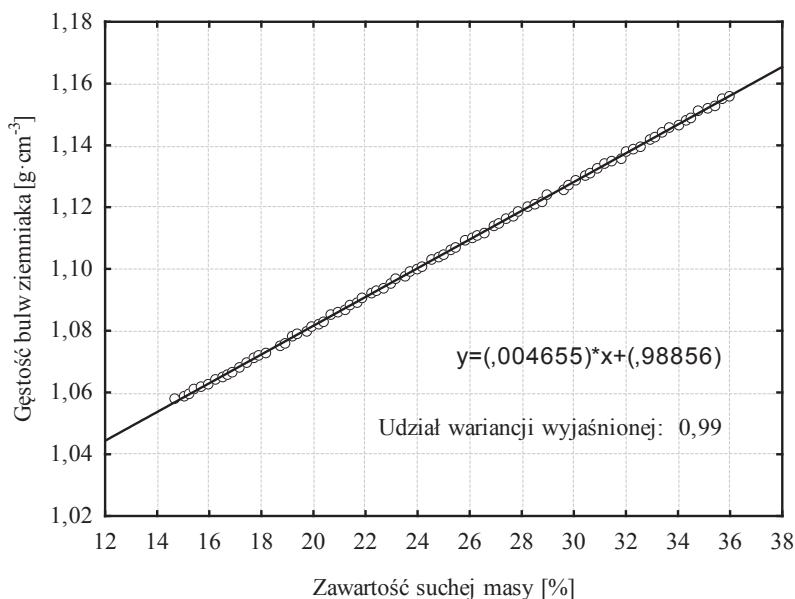


Źródło: Sobol, 2006b

Rysunek 22. Zależność naprężeń normalnych powodujących destrukcję skórki bulw ziemniaka od odkształceń względnych bulw (w podczas ośmiomiesięcznego okresu przechowywania): A – dla lat badań, B – dla odmian, C – dla stosowanych nawozów, D – dla frakcji wielkościowych

2.3.5. Zmiany gęstości

Gęstość jest ściśle skorelowana z zawartością w bulwach skrobi i suchej substancji (rys. 23). Decyduje ona w dużej mierze o wydajności produkcji chipsów i frytek oraz o zawartości w nich tłuszczu. Na gęstość ma wpływ wiele czynników, z których najważniejsze to: cechy genetyczne (odmiana, budowa anatomiczna) oraz czynniki agrotechniczne, a wśród nich: rodzaj gleby, poziom nawożenia (głównie azotem), zabiegi pielęgnacyjne, sposób i warunki zbioru (Sobol, 2006d). Gęstość bulw jest podstawową cechą rozdzielczą, wykorzystywaną w separatorach maszyn do zbioru ziemniaków oraz separatorach stacjonarnych stosowanych w przechowalniach lub firmach przetwórczych. Gęstość bulw jest ściśle skorelowana z zawartością suchej masy (rys. 23).



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Technologia przetwórstwa...*, 1972

Rysunek 23. Zależność gęstości bulw ziemniaka od zawartości suchej masy

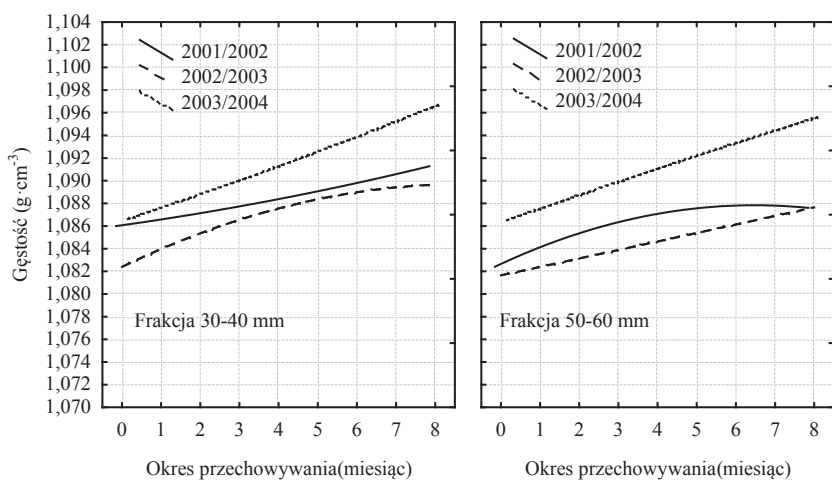
W trakcie przechowywania gęstość bulw zwiększa się istotnie, a wynika to z warunków i długości okresu przechowywania. O wielkości zmian decydują straty naturalne podczas przechowywania, a przede wszystkim transpiracja. Pomimo tego, że podczas oddychania bulw w okresie przechowywania następuje rozkład węglowodanów, to jednak większe wydzielanie wody do otoczenia poprzez skórę i kielki powoduje zwiększenie stężenia składników suchej masy nawet o 16%. Zdaniem niektórych badaczy może to powodować nawet zmianę typu kulinarnego bulw (Trinette i in., 1997; Mozolewski, 1999, 2000; Van Dijk i in., 2002; Sobol, 2006d; Zgórska i in., 2006) (tab. 5).

Z badań Sobola (2006d) wynika, że gęstość bulw ziemniaka podczas przechowywania rośnie. Zachodzące zmiany są wynikiem transpiracji bulw w całym okresie przechowywania, a najintensywniej w ostatnim jego okresie tj. podczas przyrostu kielków. Wzrost gęstości bulw ziemniaka w okresie przechowywania zależy od warunków meteorologicznych okresu wegetacji i przyjmuje większe wartości w latach o niedostatecznej ilości opadów (rys. 24). Bulwy frakcji mniejszej posiadają większą gęstość (rys. 24). Bulwy pochodzące z poletek, na których prowadzono nawożenie nawozami organicznymi i naturalnymi posiadały mniejszą gęstość niż bulwy nawożone mineralnie. Zależność ta jest szczególnie wyraźna w latach suchych (rys. 26). Potwierdzona została również różnica gęstości pomiędzy badanymi odmianami (rys. 25).

Tabela 5. Zmiana zawartości suchej substancji bulw ziemniaka w wyniku ich długotrwałego przechowywania

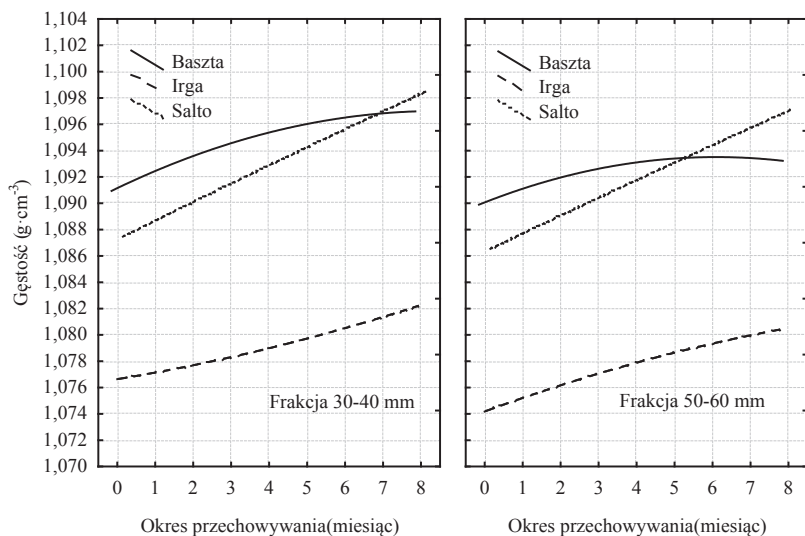
Odmiana	Zawartość suchej substancji (%)			Wzrost zawartości suchej substancji (%)	
	Po zbiorze	4°C	8°C	4°C	8°C
Molli	19,7	20,8	21,9	5,6	11,1
Lady Claire	23,9	24,5	25,1	2,5	5,0
Velox	20,8	22,1	23,1	6,2	11,0
Gracja	24,0	24,9	25,6	3,7	6,7
Felka Bona	22,8	23,8	24,5	4,4	7,4
Innovator	23,1	23,9	25,3	3,5	9,5
Korona	20,8	20,9	22,1	0,5	6,2
Vitara	19,9	20,8	21,4	4,5	7,5
Klara	18,0	20,0	20,9	11,1	16,1
Augusta	21,3	22,5	23,0	5,6	7,9
Kuklik	22,0	22,6	23,0	2,7	4,5
Nora	21,9	22,4	23,1	2,3	5,5
Ditta	18,9	19,5	20,8	3,2	10,0
Satina	19,8	20,0	21,2	1,0	7,1
Zebra	19,5	20,8	21,9	6,7	12,3
Zeus	22,4	23,2	24,5	3,6	9,4
Żagiel	18,9	19,8	20,7	4,8	9,5
Andromeda	19,2	19,9	20,8	3,6	8,3
Astreix	22,8	23,6	24,5	3,5	7,4
Redstar	23,1	23,9	24,5	3,5	4,2
Romula	23,5	23,9	24,5	1,7	4,2
Victoria	22,5	22,9	23,5	1,8	4,4
Syrena	22,2	22,7	24,9	2,2	12,2
Clarisa	21,5	22,0	22,4	2,3	4,2
Pirol	24,8	25,6	26,1	3,2	5,2
Monsun	24,0	24,8	26,1	3,3	8,7
Średnia	21,6	22,4	23,3	3,7	7,9
NIR _{0,05} odmiana	1,1	1,3	1,3	1,4	1,5
NIR _{0,05} temperatura przechowywania		0,8		1,6	

Źródło: Zgórska i in., 2006



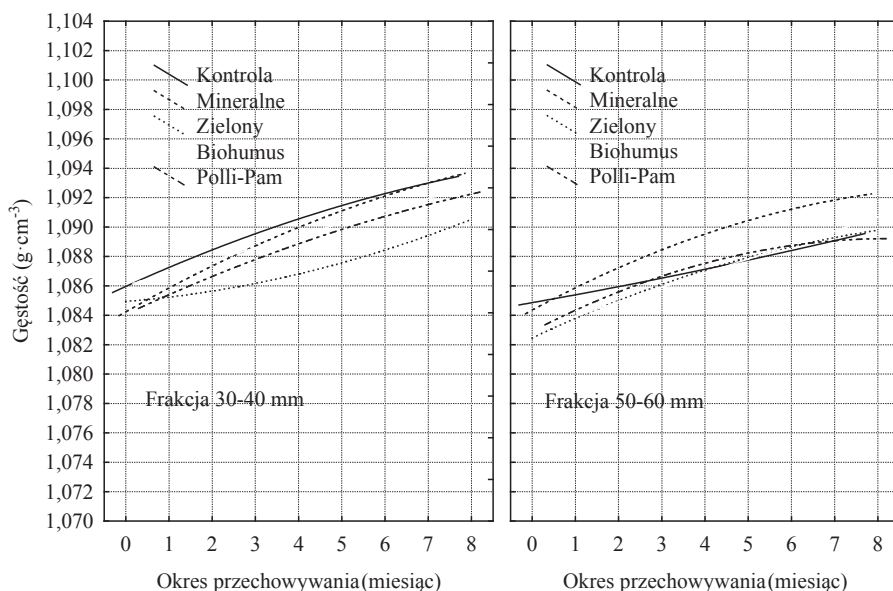
Źródło: Sobol, 2006d

Rysunek 24. Zależność gęstości bulw ziemniaka od okresu przechowywania w latach prowadzonych badań, dla frakcji sadzeniakowej oraz frakcji wykorzystywanej w przemyśle spożywczym i do bezpośredniej konsumpcji



Źródło: Sobol, 2006d

Rysunek 25. Zależność gęstości bulw ziemniaka od okresu przechowywania badanych odmian, dla frakcji sadzeniakowej oraz frakcji wykorzystywanej w przemyśle spożywczym i do bezpośredniej konsumpcji



Źródło: Sobol, 2006d

Rysunek 26. Zależność gęstości bulw ziemniaka od okresu przechowywania przy stosowanym nawożeniu, dla frakcji sadzeniakowej oraz frakcji wykorzystywanej w przemyśle spożywczym i do bezpośredniej konsumpcji

2.4. Alternatywne podejście do rekondycjonowania bulw ziemniaka

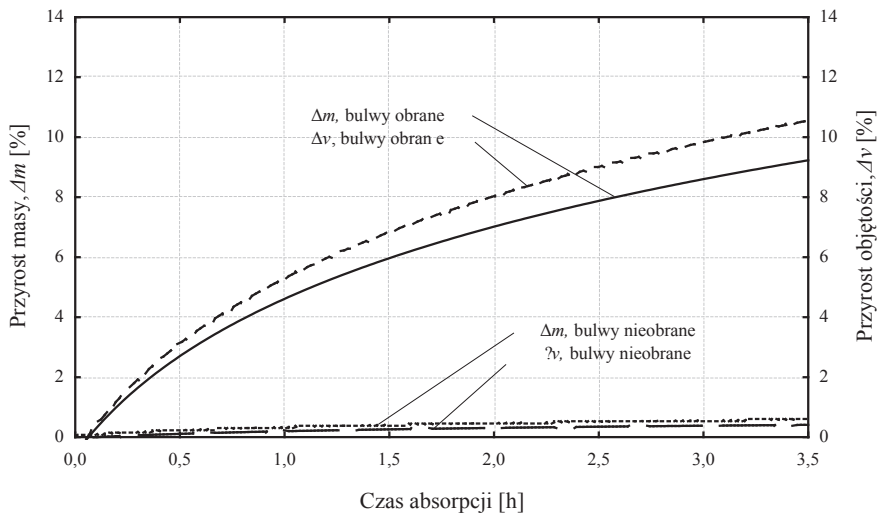
Ziemniaki przeznaczone do przetwórstwa na wyroby smażone nie mogą zawierać więcej niż 0,15-0,25% cukrów redukujących, gdyż w wyniku reakcji Maillarda następuje brązowienie produktów oraz powstaje szkodliwy dla zdrowia akrylamid (Hertog i in., 1997; Sowokinos i in., 2000, 2001; Mottram i in., 2002; Zimnoch-Guzowska, Flis, 2006). Negatywne zmiany jakościowe bulw, wynikające z transpiracji, częściowo ogranicza się poprzez stosowanie inhibitorów wzrostu kiełków. Jednak stosowanie tych środków dla bulw konsumpcyjnych i do przetwórstwa spożywczego w wielu krajach Europy jest ograniczone lub zabronione (Putz 2004). Aby ograniczyć transpirację, Zgórska i Czerko (2006b) badali możliwość przechowywania bulw w atmosferze o podwyższonym stężeniu CO₂ – będącego wynikiem zmniejszenia intensywności wietrzenia przechowalni. Chourasia i Goswami (2006a,b), w poszukiwaniu ograniczenia transpiracji bulw ziemniaka, podjęli próby stworzenia modelu opisującego przepływ powietrza oraz transfer masy i ciepła w przestrzennych opakowaniach, opartych na znanych sposobach przechowywania ziemniaków i warzyw korzeniowych w wor-

kach jutowych. Z przedstawionych faktów wynika, że nadal otwartym pozostaje problem nadmiernej transpiracji bulw ziemniaka. Obecnie, ze względu na ryzyko przekroczenia normy zawartości cukrów redukujących, pomimo wszelkich konsekwencji, coraz częściej zaleca się przechowywanie bulw przeznaczonych na frytki i chipsy, w temperaturze 6-12°C. W różnych technologiach przechowywania, aby ograniczyć transpirację wody z warzyw, oprócz zalecanych warunków przechowywania stosuje się np. foliowanie ogórków szklarniowych, brokułów, sałat; woskowanie owoców papryki. Ogólnie przyjmuje się, że proces transpiracji owoców, warzyw i ziemniaków jest nieodwracalny (Adamicki i Czerko, 2002). Bezpośrednie przeniesienie, wykorzystywanych w przechowywaniu warzyw, sposobów ograniczania transpiracji do metody przechowywania ziemniaków nie znajduje merytorycznego ani racjonalnego uzasadnienia. Stosowanie szczelnych opakowań dla bulw ziemniaka przeznaczonych do długotrwałego przechowywania może doprowadzić do nadmiernego stężenia CO₂, a nawet do oddychania beztlenowego. Zwiększenie zaś wilgotności względnej powietrza przy wyższych temperaturach przechowywania może powodować intensyfikację procesów gnilnych.

Badania Sobola (2006d) wskazują, że w wyniku długotrwałego przechowywania, na skutek transpiracji wzrasta gęstość bulw ziemniaka. Zmiany te zachodzą z różną intensywnością i zależą od wielu czynników. Na przyrost gęstości bulw ziemniaka powodowany transpiracją statystycznie istotny wpływ oprócz warunków przechowywania, ma również czas przechowywania, cechy odmianowe, frakcja wielkościowa bulw oraz stosowane nawożenie (rys. 24, 25, 26).

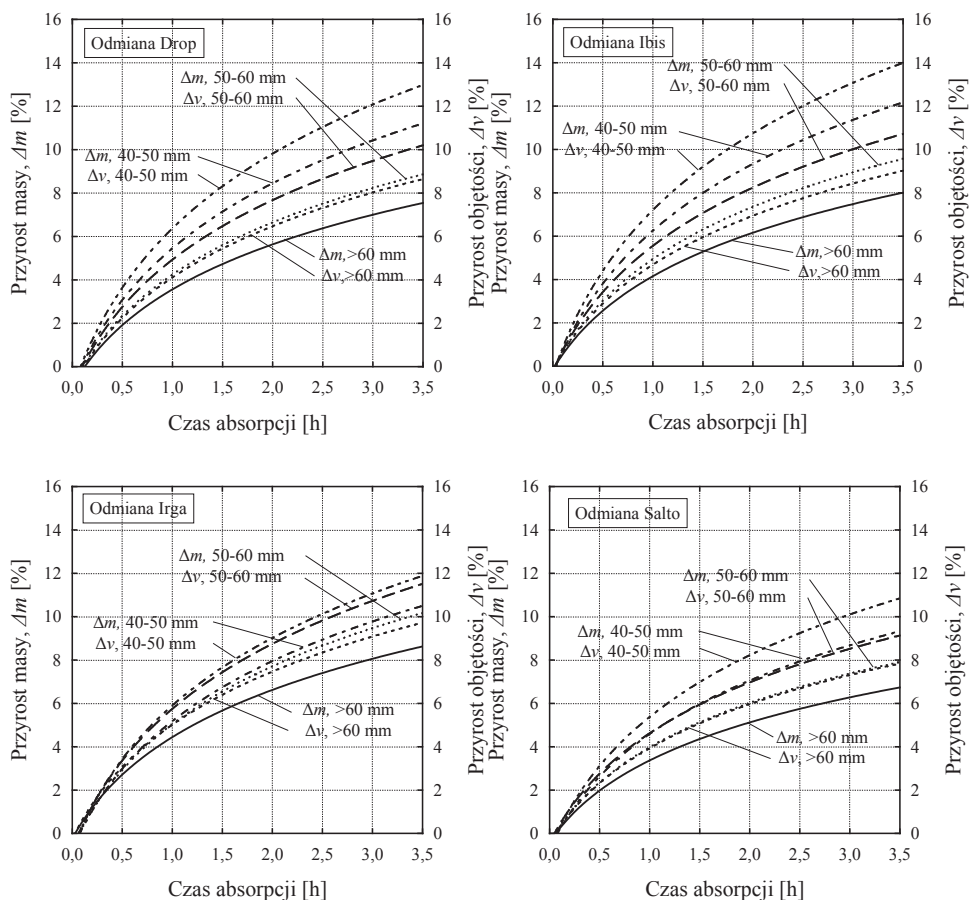
Zdecydowana większość badań i zabiegów dotyczących utrzymania dobrej jakości bulw ziemniaka podczas przechowywania koncentruje się nad optymalizowaniem warunków przechowywania, uwzględniając przy tym: kierunek użytkowania ziemniaków, ich cechy odmianowe, okres przechowywania oraz oddziaływanie wielu czynników zewnętrznych takich jak: agrotechniczne, meteorologiczne itd. (Wachowicz, 1998; Adamicki, Czerko, 2002; Chourasia i in., 2004, 2006a,b; Czerko, 2005, 2006; Zgórska, Czerko, 2006a,b). Dlatego też poszukiwane są ciągle metody umożliwiające poprawę wybranych właściwości fizycznych bulw, które uległy pogorszeniu w wyniku długotrwałego przechowywania (głównie transpiracji). Operacje mechaniczne związane z technologiami: zbioru, obróbki pozbiorowej, przechowywania, przetwarzania, wykonywane są zarówno na bulwach, które posiadają skórkę jak również na bulwach obranych. Wszystkie dotychczasowe badania, zabiegi dotyczące utrzymania dobrej jakości surowca dla przemysłu przetwórczego, wykonywane są w odniesieniu do bulw posiadających skórkę (nieobranych). Z badań Lisińskiej i in. (1991ab), Mozolewskiego (1999) wynika, że wiele operacji przetwarzania (mechanicznych, termicznych) wykonuje się na bulwach pozbawionych skórki (obranych), a o przebiegu i efektach tych operacji decyduje głównie jędrność i gęstość bulw. Sobol (2006e,f, 2007a) założył, że skutecznego rozwiązania problemu pogorszonej jakości bulw, wynikającej z nadmiernej ich transpiracji, należy również poszukiwać w odniesieniu do bulw obranych. Jako podstawę tego założenia Autor przyjął wykorzystanie zjawiska sorpcji wody przez materiały biologiczne (do których zaliczyć należy również bulwy ziemniaka) w celu

zbilansowania deficytu wody będącego następstwem transpiracji. W przedstawionym przez Sobol (2006e) eksperymencie dokonano oceny stopnia absorpcji wody przez bulwy po ich zanurzeniu w kąpeli wodnej o temperaturze pokojowej. Doświadczenie polegało na zanurzaniu bulw w wodzie o temperaturze 18-20°C na okres 0,5 h, a następnie określaniu ich masy i objętości. Eksperyment przeprowadzono na bulwach obranych i nieobраниch czterech odmian ziemniaka, po ośmiomiesięcznym okresie przechowywania. Pomiary prowadzono dla siedmiu (co 0,5 h) odcinków czasowych absorpcji wody. Z przeprowadzonych badań wynika, że przyrost masy bulw obranych w ciągu 3,5 h absorpcji wody wyniósł średnio ok. 9%, a przyrost objętości ponad 10,5%. Zmiany masy i objętości bulw nie obranych nie przekroczyły 0,5% (rys. 27). Przebieg zmian masy i objętości opisano równaniami nieliniowymi za pomocą estymacji metodą najmniejszych kwadratów. Przyrost masy i objętości bulw w wyniku absorpcji wody zależał od frakcji wielkościowej bulw i wzrastał wraz ze zmniejszającą się wartością wielkościową frakcji. Na przyrost masy i objętości bulw powodowany absorpcją wody istotny wpływ miały odmiany ziemniaka (rys. 28).



Źródło: Sobol, 2006e

Rysunek 27. Zależność przyrostu masy i objętości bulw ziemniaka od czasu absorpcji wody

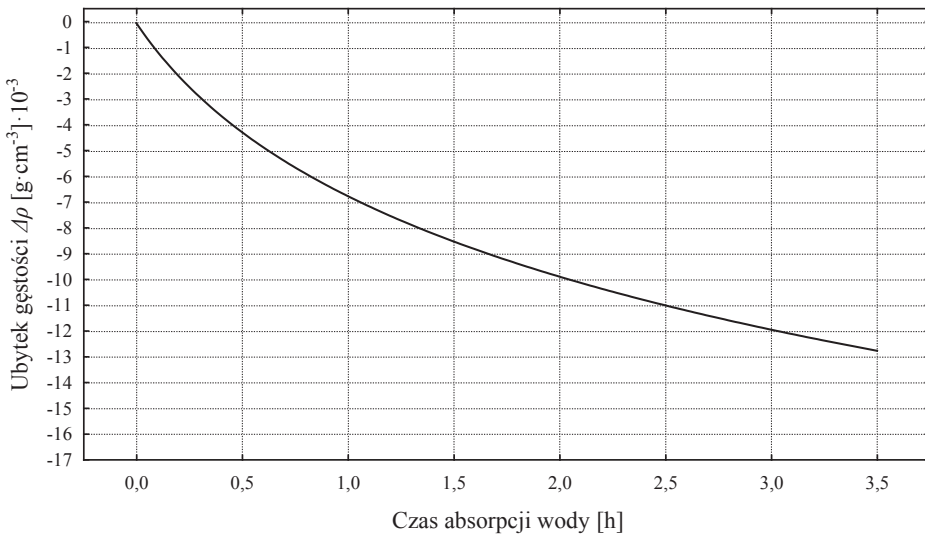


Źródło: Sobol, 2006e

Rysunek 28. Zależność przyrostu masy i objętości bulw ziemniaka od czasu absorpcji wody dla odmian i frakcji wielkościowych

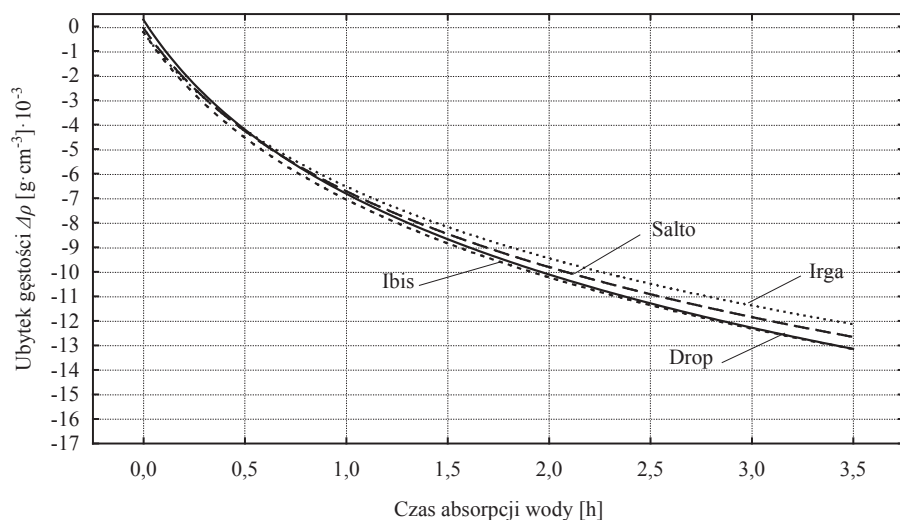
Badania przedstawione przez Sobol (2006e) dowodzą, że istnieje możliwość odwrócenia efektu transpiracji bulw, wynikającej z ich długotrwałego przechowywania, procesem sorpcji przez nie wody. Autor w przeprowadzonym doświadczeniu uzyskał pozytywne wyniki przyrostu masy i objętości obranych bulw w wyniku absorpcji wody. Pozytywny wynik badań dotyczący przyrostu masy i objętości bulw ziemniaka w wyniku procesu sorpcji wody dał impuls do badań jednego z najistotniejszych parametrów bulw, a mianowicie gęstości. Przy produkcji chipsów z technologicznego punktu widzenia wynika, że każda zmiana gęstości bulw o $5 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ powoduje zmianę zawartości tłuszczu o 2% i wydajności produktu o 1%. Tak więc parametr ten istotnie wpływa na zmiany jakościowe i ilościowe smażonych produktów z ziemniaka.

Z badań Sobola (2006f) wynika, że w wyniku absorpcji wody przez obrane bulwy ziemniaka zmniejsza się ich gęstość. Wyniki zaprezentowanego eksperymentu wykazały, że po 3,5 h sorpcji wody przez obrane bulwy (po ośmiomiesięcznym okresie przechowywania) ich gęstość zmniejszyła się o ok. $15 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (rys. 29). Ubytek gęstości w wyniku sorpcji wody po 3,5 h był w przybliżeniu równoważny przyrostowi gęstości na skutek transpiracji bulw w ośmiomiesięcznym przechowywaniu. Wartość ubytku gęstości bulw w wyniku sorpcji wody zależy od ich frakcji wielkościowych i zwiększa się wraz ze zmniejszaniem wymiaru bulw (rys 31). Ubytki gęstości bulw zależą również od cech odmianowych ziemniaka. Z badanych odmian największą dynamiką zmniejszenia gęstości w wyniku sorpcji wody charakteryzowały się bulwy odmian Drop i Ibis, a najmniejszą odmiana Irga (rys. 30).



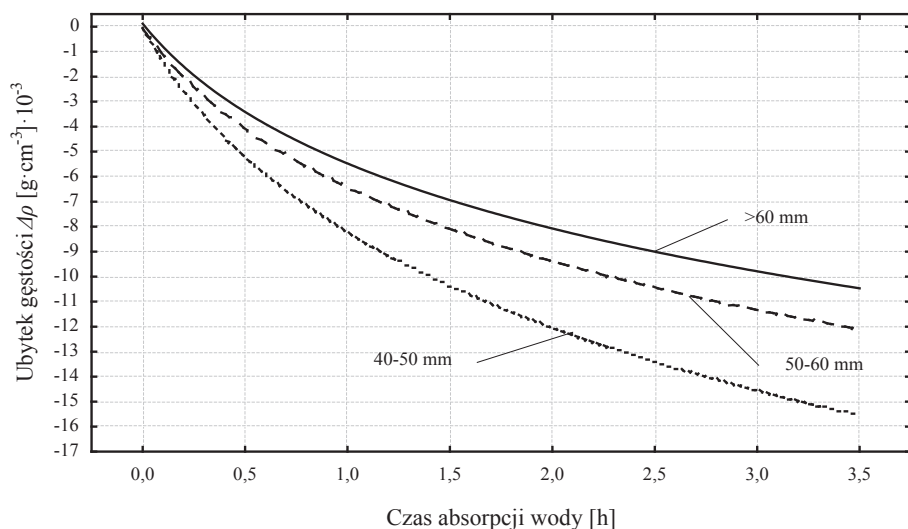
Źródło: Sobol, 2006f

Rysunek 29. Zależność ubytku gęstości bulw ziemniaka od czasu absorpcji wody



Źródło: Sobol, 2006f

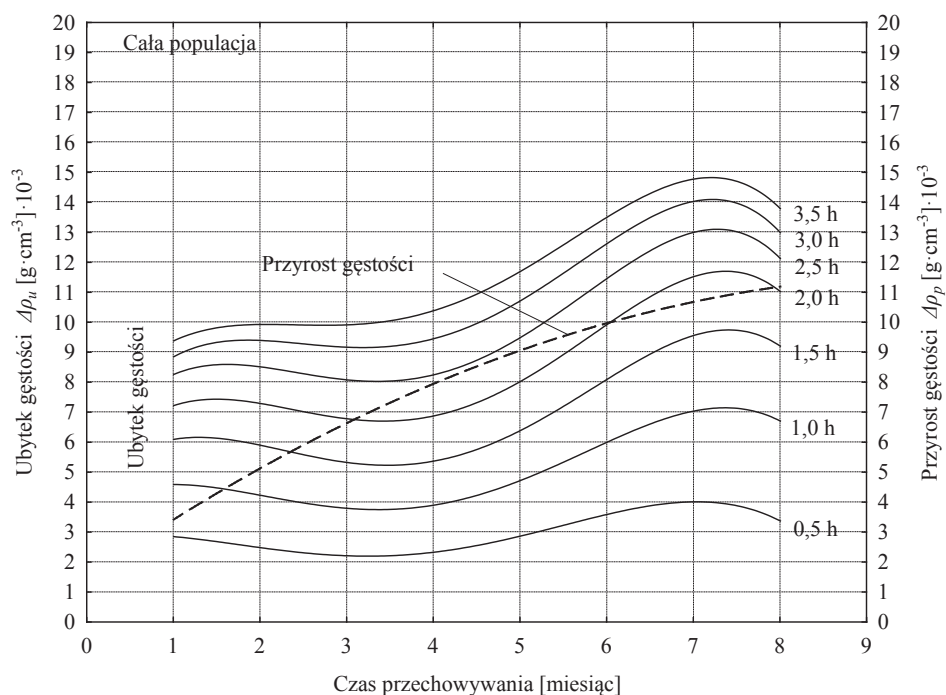
Rysunek 30. Zależność ubytku gęstości bulw ziemniaka od czasu absorpcji wody w obrębie badanych odmian ziemniaka



Źródło: Sobol, 2006f

Rysunek 31. Zależność ubytku gęstości bulw ziemniaka od czasu absorpcji wody w obrębie badanych frakcji wielkościowych

Bulwy ziemniaka na cele przetwórcze i konsumpcyjne są sukcesywnie wykorzystywane w całym okresie długotrwałego składowania, a zatem zmiana ubytku gęstości bulw w wyniku sorpcji wody jest istotna zarówno po całym okresie przechowywania, jak również na każdym jego etapie. Sobol (2007a) przeprowadził badania, w których dowiódł, że ubytki gęstości w wyniku sorpcji wody w czasie przechowywania są zmienne. Przebieg zmian przybliżono wielomianami czwartego stopnia, dla których udział wariancji wyjaśnionej wyniósł od 0,323 do 0,902 (rys. 32). Wśród wszystkich kombinacji doświadczenia tylko dla dwóch, wartość wariancji wyjaśnionej była mniejsza od 0,5. Jednocześnie w tym doświadczeniu badano przyrost gęstości powodowany transpiracją bulw. Przyrost gęstości bulw w okresie przechowywania wyrażono modelami wielomianów drugiego stopnia (rys. 32).

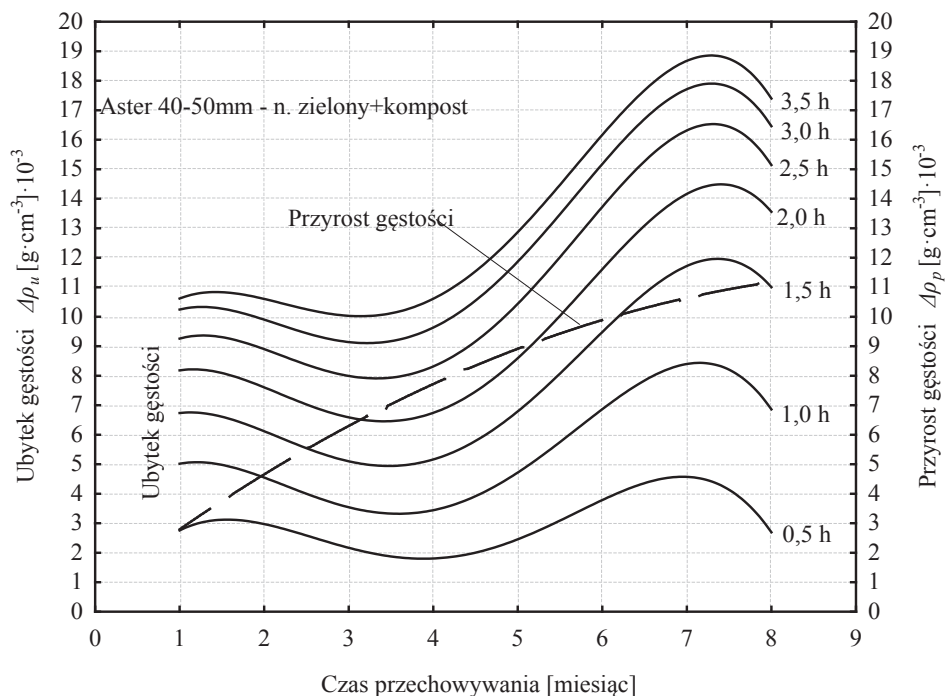


Źródło: Sobol, 2007a

Rysunek 32. Zależność przyrostu gęstości (powodowanego transpiracją) i ubytku gęstości (wynikającego z absorpcji wody) od czasu przechowywania bulw ziemniaka i czasu absorpcji

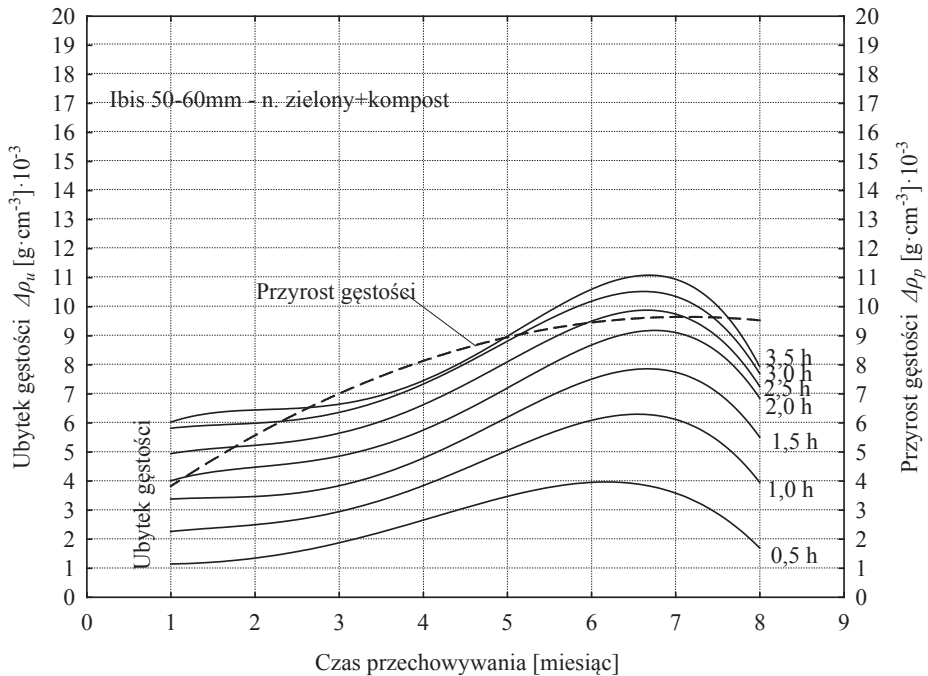
Na przyrost gęstości bulw w okresie przechowywania (Sobol, 2007a) statystycznie istotny wpływ ma czas przechowywania, cechy odmianowe, frakcja wielkościowa oraz stosowane nawożenie (rys. 33, 34). Ubytek gęstości bulw w wyniku absorpcji wody

zależy od czasu absorpcji, czasu przechowywania, cech odmianowych oraz stosowanego nawożenia. Z przeprowadzonego eksperymentu (Sobol, 2007a) wynika, że największym przyrostom i ubytkom gęstości podlegają bulwy frakcji mniejszej odmiany Aster (rys. 33). Analiza zmian przyrostu i ubytku gęstości w okresie długotrwałego przechowywania wskazuje na to, że aby doprowadzić do zmniejszenia gęstości bulw do stanu początkowego (po zbiorze) należy w pierwszej fazie przechowywania zastosować proces sorpcji trwający ok. 0,5 do 1,5h. Najdłuższy czas sorpcji na zbilansowanie przyrostu gęstości należy zastosować w fazie głębokiego spoczynku bulw (ok. 2,0-3,5h) (rys. 32).



Źródło: Sobol, 2007a

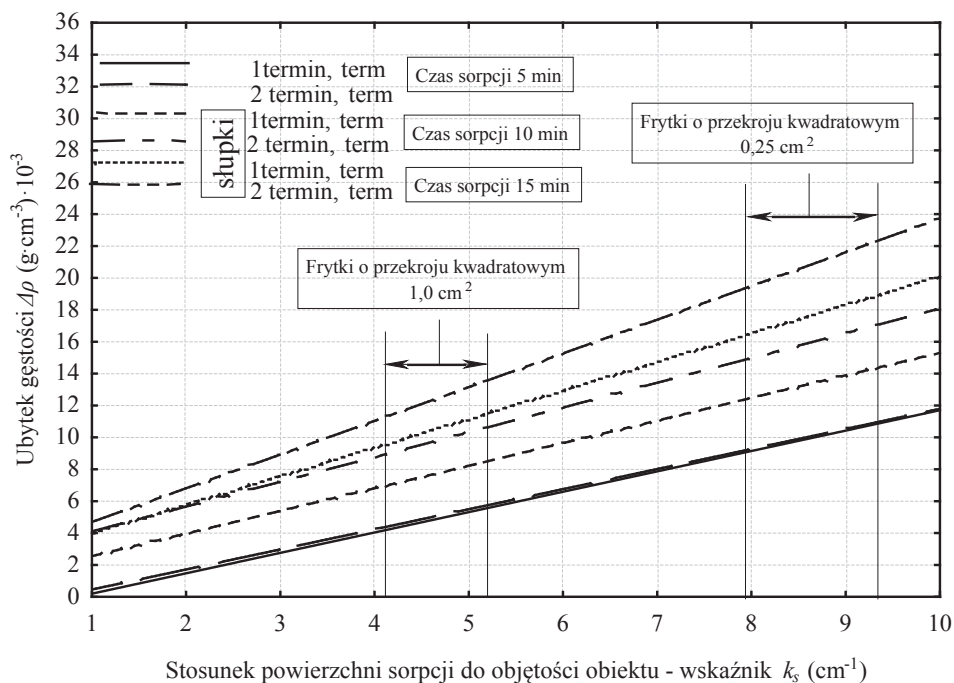
Rysunek 33. Zależność przyrostu gęstości (powodowanego transpiracją) i ubytku gęstości (wynikającego z absorpcji wody) od czasu przechowywania bulw ziemniaka i czasu absorpcji dla kombinacji o największej dynamice zmian



Źródło: Sobol, 2007a

Rysunek 34. Zależność przyrostu gęstości (powodowanego transpiracją) i ubytku gęstości (wynikającego z absorpcji wody) od czasu przechowywania bulw ziemniaka i czasu absorpcji dla kombinacji o najmniejszej dynamice zmian

Analogiczne zmiany gęstości w wyniku absorpcji wody dotyczą półproduktów na wyroby smażone z ziemniaka. Na przykład zanurzone w wodzie półprodukty w postaci słupków w czasie od 5 do 15 min w zależności od wartości współczynnika k_s (wyrażającego stosunek powierzchni sorpcji do objętości badanych obiektów) tracą na gęstości nawet do $24 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (rys 35) (Sobol, 2007b). W przypadku czasów sorpcji 10 i 15 min widać wyraźną różnicę zmian gęstości pomiędzy terminami pomiarów 1 (wykonanym w lutym) i 2 (wykonanym w marcu) (rys 35).



Źródło: Sobol, 2007b

Rysunek 35. Zmiany ubytku gęstości słupków wyciętych z bulw ziemniaka w zależności od wskaźnika k_s w obrębie badanych czasów przechowywania

Bibliografia

- Adamicki F., Czerko Z. (2002). Przechowalnictwo warzyw i ziemniaków. *Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań*.
- Chourasia M.K., Goswami T.K. (2006a). Simulation of Transport Phenomena during Natural Convection Cooling of Bagged Potatoes in Cold Storage, Part I: Fluid Flow and Heat Transfer. *Biosystems Engineering, Vol. 94(1)*, 33-45.
- Chourasia M.K., Goswami T.K. (2006b). Simulation of Transport Phenomena during Natural Convection Cooling of Bagged Potatoes in Cold Storage, Part II: Mass Transfer. *Biosystems Engineering, Vol. 94(2)*, 207-219.
- Chourasia M.K., Saha R., De A., Sahoo P.K. (2004). Evaluation of storage losses in a commercial potato cold storage. *Journal of Food Science and Technology*, 41, 507-510.
- Copp L.J., Blenkinsop R. W., Yaada R.Y., Marangoni A.G. (2000). The relationship between respiration and chips colour during long term storage of potato tubers. *American Journal of Potato Research*, 279-287.

- Cummins E., Butler F., Gormley R., Brunton N. (2008). A methodology for evaluating the formation and human exposure to acrylamide through fried potato crisps. *LWT- Food Science and Technology*, 41, 854-867.
- Czerko Z. (2005). Zasada utrzymywania niskiego stężenia CO₂ w przechowalniach ziemniaka. *Ziemniak Polski*, 3, 39-41.
- Czerko Z. (2006). Technika wietrzenia obniżająca straty ziemniaków w przechowalniach. *Ziemniak Polski*, 3, 32-34.
- Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. (2000a). Przydatność odmian ziemniaka do przetwórstwa spożywczego po przechowywaniu w niskiej temperaturze. *Żywność*, 4(25), 53-59.
- Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. (2000b). Wpływ zabiegu rekondycjonowania na jakość bulw ziemniaków przeznaczonych do przetwórstwa. *Biuletyn Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 214, 213-219.
- Grudzińska M., Zgórska K. (2010). Wpływ efektywności zabiegu rekondycjonowania wybranych odmian bulw ziemniaka na barwę frytek. *Nauka Przyroda Technologia*, 4(2), 1-8.
- Hertog M.L.A., Tijskens L.M.M., Hak P.S. (1997). On the effects of temperature and senescence on the accumulation of reducing sugars during storage of potato tubers. *Postharvest Biology and Technology*, 10, 67-79.
- Kuźniewicz-Czerko M., Sowa-Niedziałkowska G. (1992). Trwałość przechowalnicza odmian przydatnych do przetwórstwa. *Ziemniak Polski* 3, 21-23.
- Leszczyński W. (1994). Ziemniak jako produkt spożywczy. *Post. Nauk Roln.* 1, 15-29.
- Leszczyński W. (2000a). Jakość ziemniaka konsumpcyjnego. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość*, 4(25), 5-27.
- Leszczyński W. (2000b). Kryteria oceny jakości ziemniaka konsumpcyjnego i skrobiowego. *Mat. Konf. Nauk. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie” Polanica Zdrój, 10-13 V 2000*, 41-57.
- Lisińska G. (2000). Czynniki surowcowe i technologiczne kształtujące jakość przetworów ziemniaczanych. *Mat. Konf. Nauk. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie” Polanica Zdrój, 8-11 V 2000*, 51-57.
- Lisińska G. (2006). Wartość technologiczna i jakość konsumpcyjna polskich odmian ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 511(I), 81-94.
- Lisińska G., Pęksa A., Leszczyński W. (1991a). Wpływ warunków przechowywania na skład chemiczny bulw i jakość otrzymanych z nich chipsów. Cz. II. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, 244, *Technologia Żywności VII*, 9-28.
- Lisińska G., Pęksa A., Leszczyński W. (1991b). Wpływ warunków przechowywania na jakość frytek. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, 215, *Technologia Żywności*, 41-52.
- Maag W., Reust W. (1992). Lagerung und rekonditionierung von Chipskartoffeln. *Kartoffelbau*, 10, 443-448.
- Mackay G.R., Brown J., Torrence C.J.W. (1990). The processing potential of tuber of the cultivated potato after storage at low temperature. *Potato Research*, 33, 211-218.
- Metody zabezpieczania i utrwalania surowców oraz produktów żywnościowych – studium przypadku. (2015). Praca zbiorowa pod red. Krzysztofik B. Monografia, *Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, WIPiE UR Kraków, Kraków*.
- Mottram D.S., Wedzicha B.L., Dodson A.T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419, 448-449.
- Mozolewski W. (1999). Przydatność odmian ziemniaka do przetwórstwa w zależności od czasu przechowywania. *Ziemniak jadalny dla przetwórstwa spożywczego – czynniki agrotechniczne i przechowalnicze warunkujące jakość. Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Konferencja Naukowa Radzików, 23-25 lutego*, 89-91.

- Mozolewski W. (2000). Przydatność odmian ziemniaka do przetwórstwa w zależności od czasu przechowywania. Cz. I. Wpływ czasu przechowywania ziemniaków na przydatność do wyrobu chipsów. *Biuletyn Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 213, 261-266.
- Nowacki W. (2000). Parametry jakości bulw w konfekcjonowaniu ziemniaka jadalnego. *Ziemniak Polski*, 3, 2-8.
- Nowacki W. (2003). Perspektywy produkcji ziemniaków w Polsce. *Ziemniaki nowe wyzwania. Agro Serwis, IHAR, Stowarzyszenie Polski Ziemniak, Warszawa*, 9-13.
- Putz B. (1997). Erste 4°C – Typen bei Kartoffeln aus deutschen Züchtung. *Granum-Verlag Detmold*, 25-30.
- Putz B. (2004). Reduzierende Zucker in Kartoffel. *Kartoffelbau*, 5, 188-192.
- Sobol Z. (2005a). Określenie strat ilościowych bulw ziemniaka cz.1. Straty spowodowane kiełkowaniem. *Inżynieria Rolnicza*, 10(70), 341-348.
- Sobol Z. (2005b). Określenie strat ilościowych bulw ziemniaka cz.2 Ubytki naturalne. *Inżynieria Rolnicza*, 10(70), 349-357.
- Sobol Z. (2006a). Wpływ integrowanego nawożenia na wybrane właściwości mechaniczne bulw ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 508, 159-166.
- Sobol Z. (2006b). Wpływ wybranych czynników na wartość odkształceń względnych i naprężeń niszczących bulwy ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 511 część II, 397-404.
- Sobol Z. (2006c). Określenie „skurczu przechowalniczego” bulw ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 511 część II, 539-546.
- Sobol Z. (2006d). Wpływ wybranych czynników na gęstość bulw ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 139, Vol. 8(1), 219-228.
- Sobol Z. (2006e). Zmiany masy i objętości bulw ziemniaka w wyniku absorpcji wody. *Inżynieria Rolnicza*, 11(86), 437-445.
- Sobol Z. (2006f). Zmiana ubytku gęstości bulw ziemniaka w wyniku absorpcji wody. *Acta Agrophysica*, 142, Vol. 8 (4), 985-993
- Sobol Z. (2007a). Zmiany gęstości bulw ziemniaka powodowane transpiracją i absorpcją wody w okresie przechowywania. *Inżynieria Rolnicza*, 6(94), 231-240.
- Sobol Z. (2007b). Zmiany ubytków gęstości słupków i plastrów wyciętych z bulw ziemniaka wynikające z absorpcji wody. *Acta Agrophysica*, 151, Vol. 10(1), 219-228.
- Sowa-Niedziałkowska G. (2000). Wpływ warunków wzrostu roślin i magazynowania bulw odmian jadalnych ziemniaka na ich trwałość przechowalniczą. *Biuletyn Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 213, 225-232.
- Sowa-Niedziałkowska G. (2002). Warunki ograniczania strat ilościowych w przechowalnictwie i obróbce ziemniaka jadalnego. Produkcja i rynek ziemniaków jadalnych. Praca zbiorowa pod red. Chotkowskiego J., *Wież Jutra*, 212-219.
- Sowa-Niedziałkowska G. (2003). Straty Przechowalnicze i ich ograniczanie. *Ziemniaki nowe wyzwania. Agro Serwis, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Stowarzyszenie Polski Ziemniak, Warszawa*, 73-77.
- Sowa-Niedziałkowska G. (2005). Wpływ temperatury przechowywania i uwarunkowań genetycznych na długość uspienia i intensywność kiełkowania bulw ziemniaka. *Ziemniak Polski* 4, 29-34.
- Sowa-Niedziałkowska G., Zgórska K. (2005). Wpływ czynnika termicznego i odmianowego na zmiany ilościowe w czasie długotrwałego przechowywania ziemniaków. *Pamiętnik Puławski* 139, 233-243.
- Sowokinos J.R. (2001). Allele and isozyme patterns of UDP-glucose pyrophosphorylase as a marker for cold-sweetening resistance in potatoes. *American Journal of Potato Research*, 78, 57-64.
- Sowokinos J.R., Shock C.C., Stieber T.D., Eldredge E.P. (2000). Compositional and enzymatic changes associated with sugar-end defect in Russet Burbank potatoes. *American Journal of Potato Research*, 77, 47-56.

- Tajner-Czopek A., Kita A., Lisińska G., Pęksa A., Rytel E. (2010). Zawartość akrylamidu we frytkach sporządzonych z różnych odmian ziemniaka. *Biuletyn Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 257/258, 237-244.
- Technologia przetwórstwa ziemniaczanego. (1972). Praca zbiorowa pod red. Nowotny F. *Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa*.
- Trinette van Merle J., Vander Wurst de Vries R.J.A., Clare Wilkinson E., Yuksel D. (1977). Sensory evaluation of the texture of steam-cooked table potatoes. *Potato Research*, 40, 79-90.
- Van Dijk C., Fischer M., Beekhuizen J.G., Stolle-Smits M. (2002). Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*). I. Relationship between dry matter content, sensory – perceived texture and near infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5082-5088.
- Wachowicz E. (1998). Modelowanie wybranych procesów w przechowalniach ziemniaków - (rozprawa habilitacyjna). *Inżynieria Rolnicza*, 4(5).
- Williams R., Cobb A.H. (1992). The relationship between storage temperature, respiration, reducing sugar content and reconditioning regime in stored potato tubers. *Aspects of Applied Biology*, 33, 213-220.
- Zgórska K. (2003). Przydatność odmian ziemniaka do przetwórstwa na cele spożywcze. *Ziemniaki nowe wyzwania. Agro Serwis, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Stowarzyszenie Polski Ziemniak, Warszawa*, 35-38.
- Zgórska K. (2004). Wymagania jakościowe wobec odmian ziemniaka do przetwórstwa spożywczego. *Ziemniak Polski*, 4, 26-28.
- Zgórska K. 1996. Zmiany cech jakości ziemniaków w czasie przechowywania. *Ziemniak Polski* 1, 24-27.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A. (1997). Temperatura przechowywania ziemniaków w zależności od kierunków użytkowania. *Ziemniak Polski*, 4, 16-21.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A. (1999). Zmiany zawartości cukrów redukujących i sacharozy podczas przechowywania bulw ziemniaka w zróżnicowanych temperaturach. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 499, 165-172.
- Zgórska K., Czerko Z. (2006a). Rekondycjonowanie bulw przechowywanych w niskiej temperaturze – metoda ograniczająca zawartość cukrów w bulwach ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 511 część II, 547-556.
- Zgórska K., Czerko Z. (2006b). Zmiany jakości ziemniaków przechowywanych w atmosferze podwyższonego stężenia CO₂. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 511 część II, 513-522.
- Zgórska K., Czerko Z., Grudzińska M. (2006). Wpływ warunków przechowywania na niektóre cechy kulinarne i technologiczne bulw wybranych odmian ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 511 część II, 567-578.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A. (1994). Możliwość ograniczania zawartości cukrów redukujących w bulwach ziemniaka. *Ziemniak Polski* 2, 27-30.
- Zgórska K., Grudzińska M. (2012). Zmiany wybranych cech jakości bulw ziemniaka w czasie przechowywania, *Acta Agrophysica*, 19(1), 203-214.
- Zimnoch-Guzowska E., Flis B. (2006). Genetyczne podstawy cech jakościowych ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 511 część I, 23-36.

3. ASPEKT APLIKACJI METOD FIZYCZNYCH DLA POLEPSZENIA TRWAŁOŚCI PRZECHOWALNICZEJ BULW ZIEMNIAKA

Następstwem wprowadzania nietermicznych metod zabezpieczenia żywności przed procesami gnilnymi było opracowanie fizycznych sposobów ograniczenia strat przechowalniczych powstających w wyniku rozwoju chorób bulw ziemniaka podczas ich długotrwałego magazynowania (Borodin, 1991; Miller, 1993; Borodin i Szczerbakow, 1998; Marks 2005ab; Marks i in., 2005). Z punktu widzenia praktyki rolniczej, dla procesów magazynowania bulw ziemniaka, istotne wydają się być metody fizyczne, których istota oparta jest o zjawisko działania fali elektromagnetycznej: pola elektryczne i magnetyczne, oraz promieniowanie mikrofalowe (Kasyanov i in., 2013). Obok wyżej wymienionych metod istnieją także inne fizyczne sposoby oddziaływania na materiał biologiczny, którego efektem jest modyfikacja cech napromienianego obiektu: podczerwień (Nam i in., 2004; Lee i in., 2005), naświetlanie wysokoenergetyczną formą promieniowania elektromagnetycznego (gamma) (Rahimi i Bahrani, 2011), ultrafioletem czy wiązką wzmocnionego światła spójnego lub spolaryzowanego poprzez wymuszoną emisję promieniowania (laser) (Gładyszewska i in., 1998ab; 2005; Gładyszewska, 2006; Muszyński, 2008; Aguilar i in., 2015). Warto wspomnieć, że w odniesieniu do roślin, również i ziemniaka, prowadzone są prace dotyczące zabezpieczenia plonu poprzez stosowanie metod fizycznych opartych o działanie fali mechanicznej (Li i Sun, 2002; Wu i Lin, 2002; Wu, 2007; Sawicka i Dolatowski, 2007; Sawicka i Pszczółkowski, 2012). Na uwagę zasługuje fakt, że pierwsze wzmianki o stosowaniu ultradźwięków w odniesieniu do materiału biologicznego pojawiają się w pracach Hesse (1952) oraz Halicz i in. (1964), w których opisano pozytywne wyniki stosowania tej techniki do sonikacji bulw i nasion ziemniaka. Prawie całość plonu, za wyjątkiem ziemniaków wczesnych, podlega przechowywaniu i w zasadzie dotyczy to wszystkich kierunków użytkowania bulw (Wachowicz, 2007; 2011). W tym czasie bulwy ziemniaka narażone są na infekcje wywoływane przez agrofagi i ubytki naturalne: parowanie, oddychanie i kiełkowanie. Zwalczanie chorób na etapie przechowywania bulw jest niezwykle istotne, bowiem porażone bulwy są nie tylko źródłem strat, ale również zakażenia plantacji i obniżki cech jakościowych bulw przeznaczonych do przerobu i bezpośredniej konsumpcji. W przypadku sadzeniaków, oprócz strat bezpośrednich, choroby mogą powodować deformację kielków i opóźnienie wschodów (Marks, 2005ab). Tradycyjne zwalczanie chorób, polega głównie na profilaktycznym niszczeniu źródeł zakażenia oraz stosowaniu preparatów chemicznych zarówno podczas wegetacji roślin, jak i przed zmagazynowaniem bulw w przechowalniach. Nie wszystkie ze stosowanych obecnie metod są dopuszczane do stosowania w rolnictwie ekologicznym a metody chemiczne nie są wskazane z punktu widzenia bezpieczeństwa żywności. Celowym zatem jest stosowanie proekologicznych, bezpiecznych dla kon-

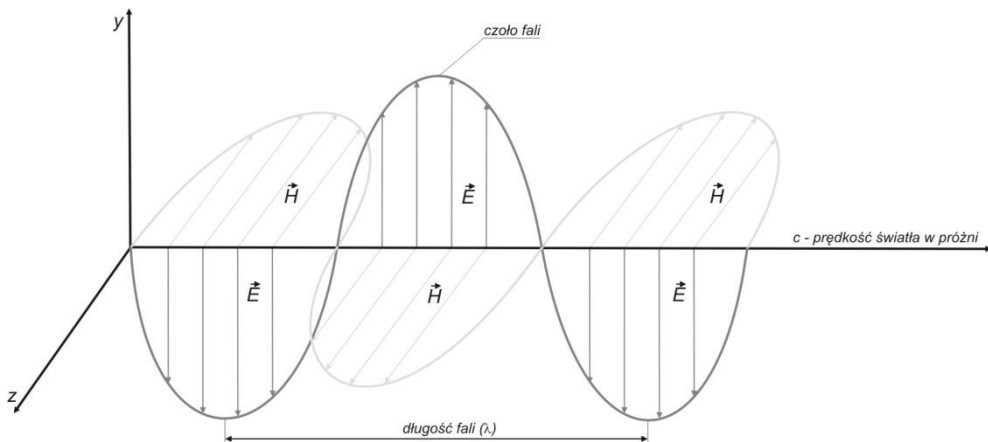
sumenta i łatwych w stosowaniu fizycznych metod ograniczania strat przechowalniczych bulw ziemniaka (Marks i in. 2005).

3.1. Pole elektromagnetyczne jako stan przestrzeni

Pole elektromagnetyczne można definiować jako stan przestrzeni, w której na obiekt fizyczny mający określony ładunek elektryczny działają siły o naturze elektromagnetycznej. Wynika z tego, że w polu elektromagnetycznym na każdy ładunek elektryczny lub dipol magnetyczny działa określona siła (Purcell, 1974; Gryz i in., 2011; Kasprzyk i Butlewski, 2013). Pole elektromagnetyczne jako pole fizyczne może być również definiowane jako układ pól elektrycznego i magnetycznego wzajemnie ze sobą powiązanych. Natężenie pola magnetycznego wyraża się w układzie SI w amperach na metr ($A \cdot m^{-1}$). Istotne dla omawianej problematyki wydają się również pojęcia gęstości mocy (wielkość wektorowa charakteryzująca promieniowanie elektromagnetyczne) pola ($W \cdot m^{-2}$) oraz częstotliwości pól (Hz). Pola elektromagnetyczne mogą być stałe lub zmienne w czasie, a zmienność tę wyraża się przez liczbę zmian cyklu na sekundę, czyli częstotliwość f , wyrażaną w hercach (Hz). W każdym punkcie pola elektromagnetycznego możliwe jest określenie wektorów natężenia pola elektrycznego $\vec{E}$ i magnetycznego $\vec{H}$ (rys. 36).

Charakterystyka pola elektromagnetycznego obejmuje opis podstawowych jego parametrów:

- częstotliwość, (Hz)
- natężenie pola elektrycznego, ($V \cdot m^{-1}$); pola magnetycznego, ($A \cdot m^{-1}$)
- gęstość mocy promieniowania, ($W \cdot m^{-2}$)
- czas działania na obiekt będący w jego zasięgu, (s)



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 36. Uproszczony model fali elektromagnetycznej

Składowa elektryczna pola elektromagnetycznego oznacza oddziaływanie między naładowanymi elektrycznie cząstkami lub ciałami poruszającymi się w dowolny sposób względem inercjalnego układu odniesienia. Pole elektryczne opisuje wektor natężenia pola elektrycznego:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

gdzie:

- $\vec{F}$ – siła wywierana w danym miejscu pola elektrycznego na jednostkowy ładunek punktowy, (N)
- q – wartość tego ładunku, (C)

W układzie SI jednostką natężenia pola elektrycznego jest niuton na kulomb. Składowa magnetyczna pola elektromagnetycznego to pole wytwarzane na skutek zmian pola elektrycznego w czasie przez układ poruszających się ładunków. Pole magnetyczne charakteryzuje wektor natężenia pola magnetycznego $\vec{H}$.

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I \quad (2)$$

gdzie:

- $\vec{H}$ – natężenie pola magnetycznego, (A·m⁻¹)
- $d\vec{l}$ – wektorowy element długości konturu całki,
- I – prąd przepływający przez dowolną powierzchnię rozpiętą na zamkniętym konturze C, (A)

Fale elektromagnetyczne są nośnikiem energii. Rozchodzą się w przestrzeni jako zaburzenia pól elektrycznego i magnetycznego i zawierają dwie składowe: elektryczną $\vec{E}$ i magnetyczną $\vec{H}$. Oba te wektory ($\vec{E}$ i $\vec{H}$) są nierozzerwalnie ze sobą związane. Relacje między tymi wektorami opisują równania Maxwella (3 i 4):

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + I \quad (3)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_H}{dt} \quad (4)$$

gdzie:

- $d\vec{l}$ – wektorowy element długości konturu całki
- ϵ_0 – stała dielektryczna, (-)
- $d\Phi_E$ – strumień pola elektrycznego, (V·m)
- $d\Phi_H$ – strumień pola magnetycznego, (Wb)
- I – natężenie prądu, (A)
- t – czas, (s)

Prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w ośrodkach materialnych określa się zależnością (5):

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (5)$$

gdzie:

- c – prędkość światła, ($2,99 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- ϵ_r – względna przenikalność elektryczna ośrodka, (-)
- μ_r – względna przenikalność magnetyczna ośrodka, (-)

Z punktu widzenia praktycznego istotne jest zjawisko występujące w polu elektromagnetycznym, w którym zmienny w czasie strumień indukcji pola magnetycznego Φ_B indukuje siłę elektromotoryczną ε (prawo Faradaya). Im większa szybkość zmian strumienia pola magnetycznego tym większa siła elektromotoryczna. Występujący w równaniu 6 znak „-” informuje, że powstały efekt przeciwdziała zmianom, które były jego przyczyną (zgodnie z tzw. regułą przekory Lenza).

$$\varepsilon = - \frac{d \Phi_B}{dt} \quad (6)$$

gdzie:

- ε – siła elektromotoryczna, (V)
- Φ_B – strumień indukcji pola magnetycznego, ($\text{Wb} = \text{T} \cdot \text{m}^2$)
- t – czas, (s)

3.2. Wpływ pola elektrycznego na kształtowanie się strat przechowalniczych

Pole elektryczne, wg koncepcji Michaela Faradaya (1791-1867), to przestrzeń w której działają siły elektryczne. Szczególnym przypadkiem pola elektrycznego w obszarze którego ładunki się nie poruszają jest pole elektrostatyczne. W dużej mierze istotę pola elektrycznego opisuje i wyjaśnia prawo Charlesa Augustiana de Coulomba (1736-1806). Według prawa Coulomba siła F oddziaływania dwóch ładunków punktowych q_1 i q_2 jest wprost proporcjonalna do wielkości każdego z ładunków i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi r .

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (7)$$

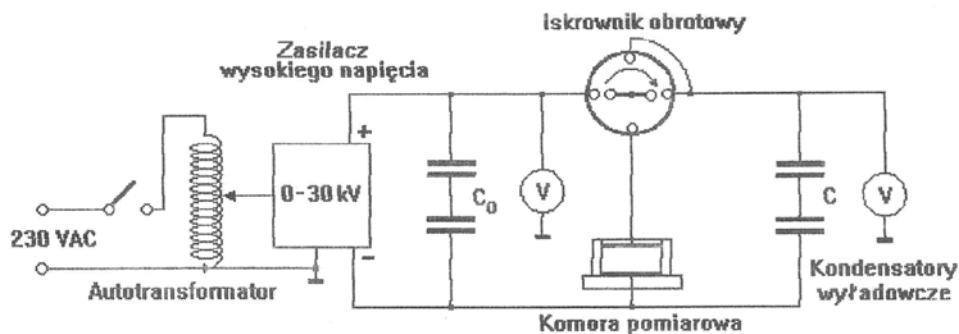
przy czym:

- k – współczynnik proporcjonalności wyrażany w układzie SI przez:

$$k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0} \quad (8)$$

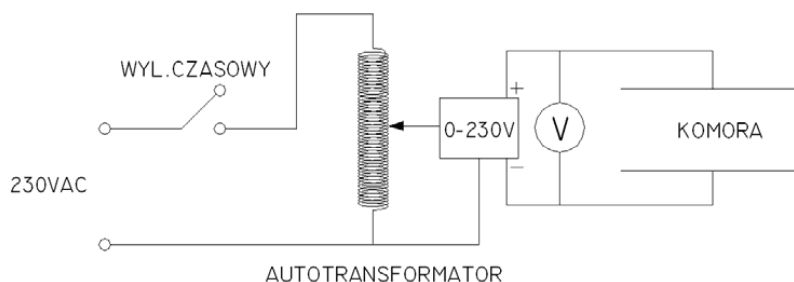
gdzie:

- ε – przenikalność elektryczna ośrodka, (-)
- ε_r – względna przenikalność elektryczna ośrodka, (-)
- ε_0 – przenikalność elektryczna próżni, (-)



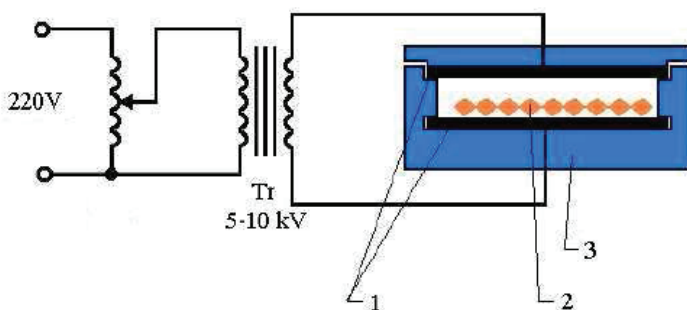
Źródło: Marks i in., 2005

Rysunek 37. Schemat ideowy stanowiska do badania wpływu impulsowego pola elektrycznego na rozwój chorób przechwalniczych bulw ziemniaka



Źródło: Gut, 2007

Rysunek 38. Schemat ideowy stanowiska do badania wpływu przemiennego pola elektrycznego na rozwój chorób przechwalniczych bulw ziemniaka



Źródło: Pietruszewski i in., 2003

Rysunek 39. Schemat układu do biostymulacji nasion zmiennym polem elektrycznym
(1 – okładki kondensatora powietrznego, 2 – nasiona, 3 – izolator)

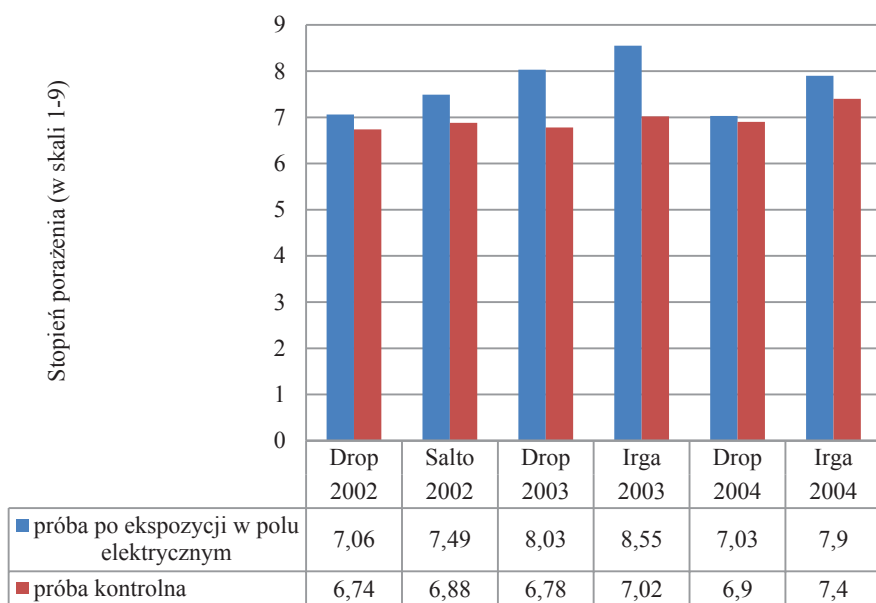
Wyniki doświadczeń Martensa i Knorra (1992) oraz Castro i in. (1993) wskazują, że poddanie bakterii (*Lactobacillus brevis*) i grzybów (*Saccharomyces cerevisiae*), przez okres kilkudziesięciu mikrosekund działaniu impulsowego pola elektrycznego o natężeniu $100 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, prowadzi do redukcji ich populacji o blisko cztery rzędy wielkości. Ten antymikrobiologiczny efekt zastosowania impulsowego pola elektrycznego tłumaczony jest jego zdolnością do trwałego uszkodzania błon komórkowych, prowadzących do śmierci komórek. Pod wpływem działania pola elektrycznego na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni błony komórkowej indukują się ładunki elektryczne o przeciwnych znakach. Wzajemne przyciąganie ładunków prowadzi do powstawania porów w błonie komórkowej, a zastosowanie pola o odpowiednich parametrach może prowadzić do otwarcia porów i ich późniejszego zamknięcia. Proces ten zwany jest elektroporacją i został opisany w pracach Zimmermana (1986) oraz Fiedurka i in. (2006). Krajowe badania dotyczące wpływu stymulacji elektrycznej na poprawę jakości bulw ziemniaka rozpoczęto ponad 20 lat temu (Szorc i in., 1996). Marks i in. (2005) przeprowadził doświadczenie, w którym badano wpływ impulsowego pola elektrycznego na rozwój chorób przechowalniczych ziemniaka. Bulwy odmian Salto, Drop i Irga poddawano działaniu pola o natężeniu $24 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, $30 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, $40 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, i $60 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$ i czasach ekspozycji 100 μs , 200 μs i 600 μs (rys. 37). Stwierdzono, że impulsowe pole elektryczne istotnie zmniejsza porażenie bulw ziemniaka ryzoktoniozą.

Bardzo podobną metodykę i aparaturę stosował Gut (2007) w zakresie wpływu niskonapięciowego (do 230 V), przemiennego pola elektrycznego o częstotliwości 50 Hz do stymulacji sadzeniaków (rys. 38). Badano wzrost i plonowanie roślin ziemniaka po ekspozycji sadzeniaków przez czas 1-1800 s w polu elektrycznym o natężeniu w zakresie $312\text{-}2875 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$. Uzyskane wyniki badań wykazały, że interakcja obejmująca napięcie i czas stymulacji ma statystycznie istotny wpływ na liczbę pędów, tempo wzrostu i masę bulw jednej rośliny. Podkreślić należy, że pole elektryczne, jako metoda biostymulacji materiału roślinnego, było stosowana również i przez innych badaczy

(Pietruszewski i in., 2003; Yusupov i Yusupova, 2004; Pałow i in., 2012; Kowalyszyn i Konyk, 2015) (rys. 39).

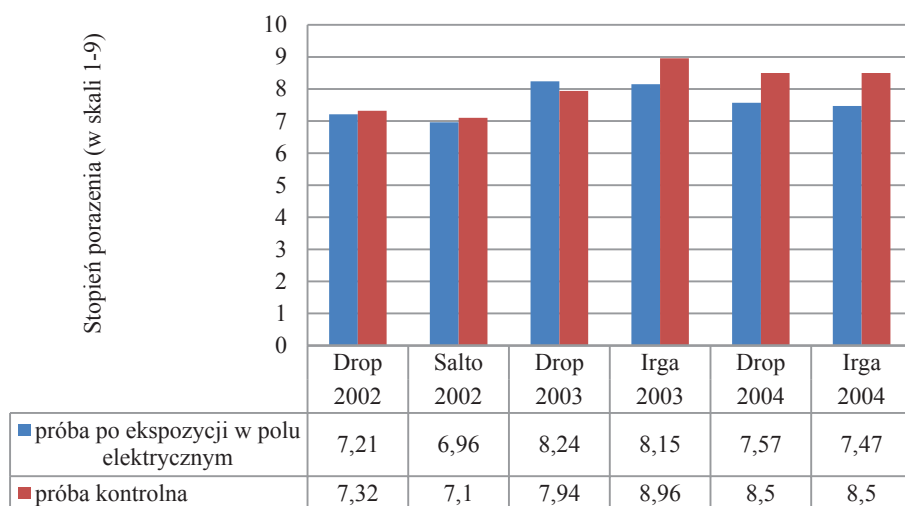
Badania dotyczące wpływu impulsowego pola elektrycznego na straty przechowalnicze bulw ziemniaka odmian Drop, Salto i Irga były kontynuowane przez Marksa (2005a). Zrealizowane doświadczenie obejmowało tożsame parametry pracy stanowiska doświadczalnego, jak w eksperymencie opisanym powyżej (Marks i in., 2005) z tym wyjątkiem, że czas ekspozycji bulwy ziemniaka 200 ms zastąpiono czasem 300 ms. W doświadczeniu badano m. in.: straty powstałe w wyniku rozwoju chorób przechowalnych (w tym straty odpadowe), straty powodowane kiełkowaniem i ubytkami naturalnymi oraz straty całkowite.

Marks i in. (2005a) oceniając wpływ impulsowego pola elektrycznego na stopień porażenia bulw ryzoktoniozą (rys. 40) stwierdził, że wartości średnich trzyletnich (wyrażone w skali 9-cio stopniowej – 1-porażenie największe, 9-porażenie najmniejsze) wynoszą przy porażeniu bulw ryzoktoniozą 7,84 a dla próby kontrolnej 6,95. W przypadku parcha zwykłego reakcja nie była tak wyraźna, jak w przypadku ryzoktoniozy, gdyż uzyskane średnie wynoszą 8,05 dla próby kontrolnej i 7,96 dla impulsowego pola elektrycznego (rys. 41). W doświadczeniu tym bulwy ziemniaka poddawano działaniu pola elektrycznego o natężeniu 24 kV m^{-1} , 30 kV m^{-1} , 40 kV m^{-1} , i 60 kV m^{-1} i czasach ekspozycji 100 μs 200 μs i 600 μs .



Źródło: Marks i in., 2005a

Rysunek 40. Wpływ pola elektrycznego na stopień porażenia perydermy bulw ziemniaka odmian Drop, Salto i Irga ryzoktoniozą (lata badań 2002-2004)



Źródło: Marks i in., 2005a

Rysunek 41. Wpływ pola elektrycznego na stopień porażenia perydermy bulw ziemniaka odmian Drop, Salto i Irga parchem zwykłym (lata badań 2002-2004)

Tabela 6. Ocena trwałości przechowalniczej bulw ziemniaka odmian Drop, Salto i Irga poddanych działaniu impulsowego pola elektrycznego

Pole elektryczne	Straty całkowite (%)	Ubytki naturalne (%)	Straty na kiełkowanie (%)	Straty chorobowe (%)
SALTO 2002				
Kontrola	17,01	7,55	1,50	7,96
24 kV/m - 600 μ s	13,37	7,19	1,53	4,65
24 kV/m - 300 μ s	12,73	7,26	1,38	4,09
24 kV/m - 100 μ s	17,62	7,38	1,54	8,70
DROP 2002				
Kontrola	18,02	7,82	1,76	8,44
24 kV/m - 600 μ s	17,67	7,06	1,86	8,75
24 kV/m - 300 μ s	18,07	7,58	1,84	9,51
24 kV/m - 100 μ s	20,58	8,63	1,70	11,30
IRGA 2003				
Kontrola	16,00	7,60	1,65	6,75
24 kV/m- 100 μ s	15,10	6,63	1,77	6,70
DROP 2003				
Kontrola	18,50	7,96	1,70	8,84
24kV/m- 100 μ s	18,80	10,25	1,69	6,86
IRGA 2004				
Kontrola	12,70	8,11	1,51	3,08
60 kV/m - 100 μ s	12,11	7,05	1,62	3,44

Pole elektryczne	Straty całkowite (%)	Ubytki naturalne (%)	Straty na kiełkowanie (%)	Straty chorobowe (%)
40 kV/m - 100 μ s	11,04	8,19	1,71	1,14
30 kV/m - 100 μ s	9,86	8,21	1,65	0,00
DROP 2004				
Kontrola	14,28	7,98	1,70	4,60
60 kV/m - 100 μ s	14,31	7,91	1,95	4,45
40 kV/m - 100 μ s	12,70	7,82	1,76	3,12
30 kV/m - 100 μ s	12,86	8,12	1,73	3,00

Źródło: Marks, 2005a

Wynik eksperymentu wskazał na pozytywny wpływ impulsowego pola elektrycznego na trwałość przechowalniczą badanych bulw ziemniaka co głównie objawiało się niższymi, w odniesieniu do próby kontrolnej, stratami całkowitymi i chorobowymi. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu pola elektrycznego na wielkość ubytków powodowanych kiełkowaniem, parowaniem i oddychaniem bulw w trakcie ich przechowywania. Wynik doświadczenia pozwolił na określenie wartości natężenia pola elektrycznego oraz czasu ekspozycji bulwy mających wpływ na obniżenie strat przechowalniczych. Przy zastosowaniu natężeń o wartościach 30 i 40 kV·m⁻¹ oraz czasów 300 i 600 μ s stwierdzono istotnie niższe straty całkowite i chorobowe w odniesieniu do prób kontrolnych (tab. 6).

3.3. Wpływ pola magnetycznego na kształtowanie się strat przechowalniczych

Pole magnetyczne to przestrzeń, w której działają siły magnetyczne. Nazewnictwo pól magnetycznych zależy od parametrów fizycznych tych pól, a w szczególności od wartości i kształtu przebiegu zmian indukcji magnetycznej oraz ich częstotliwości. Uogólniając, pola magnetyczne podzielić można na: stałe, wolnozmiennie i zmienne.

Stałe pole magnetyczne to czynnik fizyczny, którego źródłem są elementy o trwałym momencie magnetycznym i które w danym określonym punkcie przestrzeni nie ulegają zmianom czasowym w swojej wielkości i kierunku. Pole takie charakteryzowane jest wartością wektora indukcji magnetycznej, jego przestrzennym rozkładem oraz polaryzacją. Pole to można otrzymać poprzez zastosowanie nieruchomych stałych magnesów lub induktorów zasilanych stałym prądem elektrycznym (Pasek i in., 2007; 2013). Działanie biologiczne stałych pól magnetycznych jest następstwem ich oddziaływania na prądy jonowe oraz na cząsteczki posiadające określony moment magnetyczny. Oddziaływanie to powoduje pewne ukierunkowanie bodźców fizykalnych, wpływając na właściwości błon komórkowych i układów elektrolitowych. Ogólna reakcja na bodźce moduluje złożone reakcje na różnych poziomach przemian metabolicznych. Dokładniejszy opis tego zjawiska znaleźć można w pracach wspomnianego wcześniej Paska i in. (2007; 2013). Autor ten stwierdza, że pola magnetyczne, oddzia-

lując na poruszające się w organizmie jony za pośrednictwem siły Lorentza skierowanej prostopadle do kierunku strumienia jonów oraz kierunku linii sił pola magnetycznego, powodują zjawisko odchylenia się toru ruchu jonów ujemnych i dodatnich w przeciwnych kierunkach. Ponadto, w polu magnetycznym jony gromadzą się na barierach biologicznych, np. na błonach komórkowych, w wyniku czego dochodzi do polaryzacji jonowej i zmiany szybkości dyfuzji jonów pomiędzy wnętrzem komórki i przestrzenią zewnątrzkomórkową. Konsekwencją wspomnianych zjawisk jest zmiana wewnątrzkomórkowego stężenia, m.in. jonów wapnia, sodu i potasu, co ma istotny wpływ na intensywność wielu procesów metabolicznych. Zdaniem Pietruszewskiego i Kani (2010) istnieją dwa podstawowe parametry, które mogą oddziaływać na obiekty roślinne: gęstość energii pola magnetycznego i czas ekspozycji. Wielkość, która charakteryzuje wpływ pola magnetycznego na organizmy żywe, określa się mianem dawki ekspozycyjnej D . Jest to iloczyn wspomnianych parametrów (wzór 9).

$$D = \rho_{em} \tau_e \quad (9)$$

gdzie:

- ρ_{em} – gęstość energii pola magnetycznego, ($\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$)
- τ_e – czas ekspozycji, (s)

Średnią gęstość energii pola magnetycznego (wzór 10) można przedstawić jako:

$$\rho_{em} = \frac{1}{2} \mu_0 H_m^2 = \frac{1}{2 \mu_0} B_m^2 \quad (10)$$

przy czym:

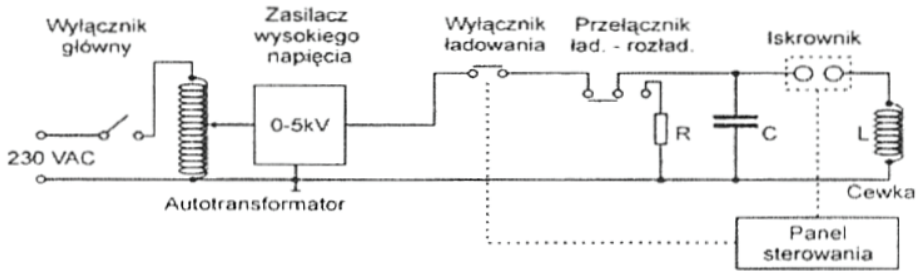
- H_m – natężenie pola magnetycznego, ($\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$)
- B_m – wartość indukcji magnetycznej, (T)
- μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni, ($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$)

W obrębie zmiennego pola magnetycznego wyróżnić można wolnozmiennne pole magnetyczne wykazujące, przy niewielkich wartościach częstotliwości, zbliżone właściwości do magnetycznego pola stałego. Dokonanie precyzyjnego rozgraniczenia między wolnozmiennym a zmiennym polem magnetycznym jest dość trudne i różnie interpretowane przez naukowców poszczególnych dyscyplin. Dla potrzeb niniejszego opracowania przyjęto za Zmysłonym (2006), że górna granica pól wolnozmiennych wynosi około 1 MHz. Jedne z pierwszych prac, traktujących kompleksowo wpływ pola magnetycznego na rośliny, są autorstwa Pitmana (1963; 1965; 1967) oraz współpracowników (Pitman i in., 1970; 1971; 1979). Krajowe badania, dotyczące wpływu zmiennych pól magnetycznych na materiał roślinny, reprezentowane są głównie przez prace Pietruszewskiego (1998; 2000; 2001), Kornarzyńskiego i Pietruszewskiego (2008), Marksa (2005b) i Wójcik (2006). Pietruszewski i in. (2007) oraz Pietruszewski i Martínez (2015) określali również pośredni wpływ pola magnetycznego na rozwój

roślin. Działanie pola magnetycznego na umieszczone w nim obiekty biologiczne jest wielorakie (Adair 2002; Rosen 2010; Cieśla i in., 2011):

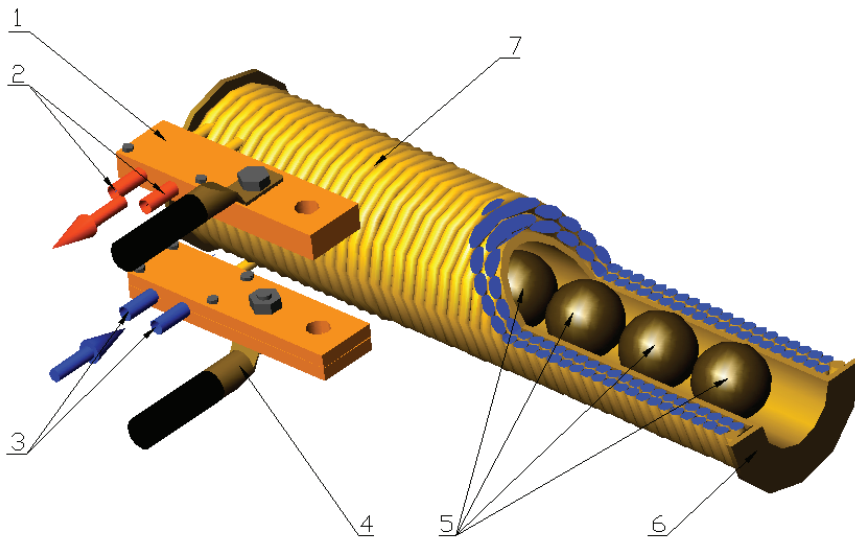
- oddziaływanie elektrodynamiczne z występującymi w organizmach prądami elektrycznymi (siła Lorentza i efekt Halla),
- powstawanie efektów magnetomechanicznych wewnątrz organizmów, polegających na orientacji struktur o anizotropii magnetycznej w polach jednorodnych oraz przesunięciu substancji ferromagnetycznych i paramagnetycznych w polach mających niezerowe gradienty,
- oddziaływanie na nieskompensowane spiny magnetyczne pierwiastków paramagnetycznych i wolnych rodników,
- efekt Dorfmana, polegający na przeorientowaniu się protein w polu magnetostaticznym wskutek anizotropii tych molekuł,
- niektóre składniki organizmów żywych wykazują właściwości magnetostrykcyjne - istnieje zatem możliwość oddziaływania na takie składniki,
- pole magnetyczne zmienia energię oddziaływań wewnątrz i między atomami w organizmach żywych,
- sinusoidalnie zmienne pole magnetyczne powoduje indukowanie się prądów wewnątrz żywych organizmów.

Dodatkowo pole magnetyczne może wywierać wpływ na depolaryzację komórek. Zjawiska rezonansowe (wskutek przenikania pola magnetycznego) mogą zachodzić nie tylko w przestrzeni pozakomórkowej lecz także w błonie komórkowej (w kanałach jonowych) oraz we wnętrzu komórki. Pole magnetyczne ma wpływ również na wodę, która poddana działaniu zewnętrznego pola magnetycznego zmienia swoje właściwości, między innymi wzrasta: szybkość krystalizacji, stężenie rozpuszczonych gazów, szybkość koagulacji i osiadania zawiesin. Zmianie ulega również wartość pH i zdolności zwilżania (Adey, 1993; Binhi, 2001; Zhadin, 2001; Barnes, 2005). Zdaniem Pittmana (1972) poprzez działanie stałym polem magnetycznym na oczka bulwy sadzenia ziemniaka uzyskać można zwiększenie powierzchni asymilacyjnej rośliny potomnej oraz wzrost plonu handlowego o około 20%. Marks i Szczówka (2010) stwierdzili pozytywny wpływ: indukcji magnetycznej, czasu stymulacji i dawki ekspozycyjnej na wartości współczynników kształtu bulw ziemniaka. Zmienne pole magnetyczne działało hamująco na deformację bulw wywołaną czynnikami modyfikującymi, przy czym największe odchylenie od wzorca odmianowego zaobserwowano dla bulw niestymulowanych magnetycznie (rys. 42-46).



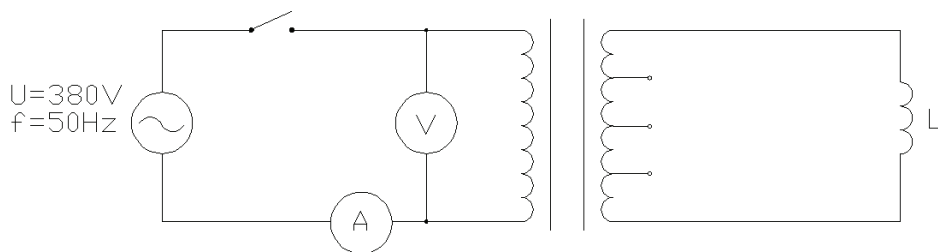
Źródło: Marks, 2005b

Rysunek 42. Stanowisko do stymulacji bulw ziemniaka w zmiennym polu magnetycznym



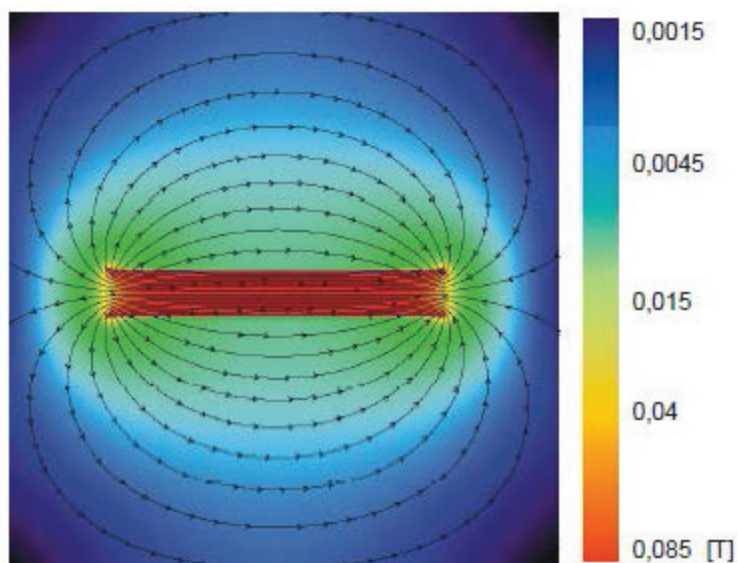
Źródło: Marks i Szczówka, 2010

Rysunek 43. Solenoid stosowany do stymulacji bulw ziemniaka w zmiennym polu magnetycznym (1 – klamra zasilająca; 2 – wylot cieczy chłodzącej; 3 – wlot cieczy chłodzącej; 4 – przewody zasilające; 5 – bulwy ziemniaka; 6 – karkas; 7 – uzwojenie)



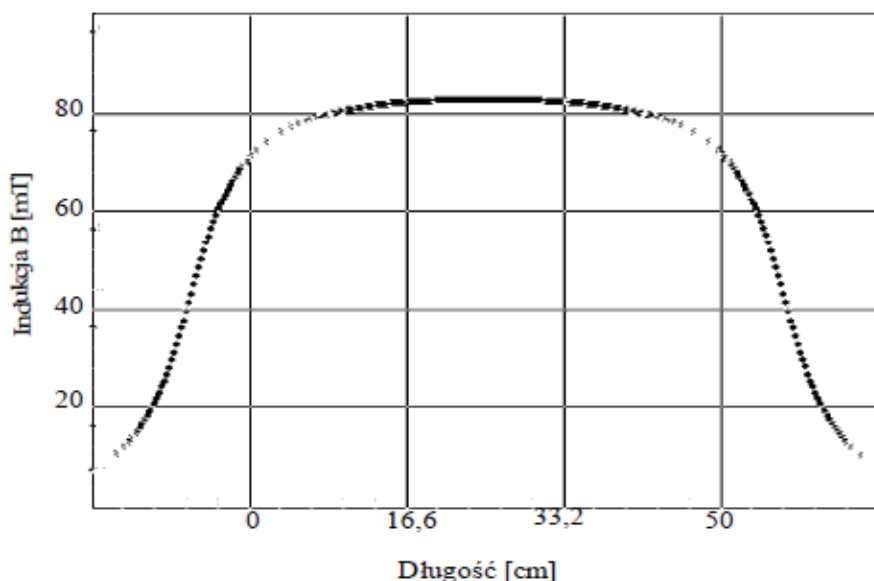
Źródło: Marks i Szczówka, 2010

Rysunek 44. Schemat układu elektrycznego solenoidu stosowanego do stymulacji bulw ziemniaka w zmiennym polu magnetycznym



Źródło: Marks i Szczówka, 2010

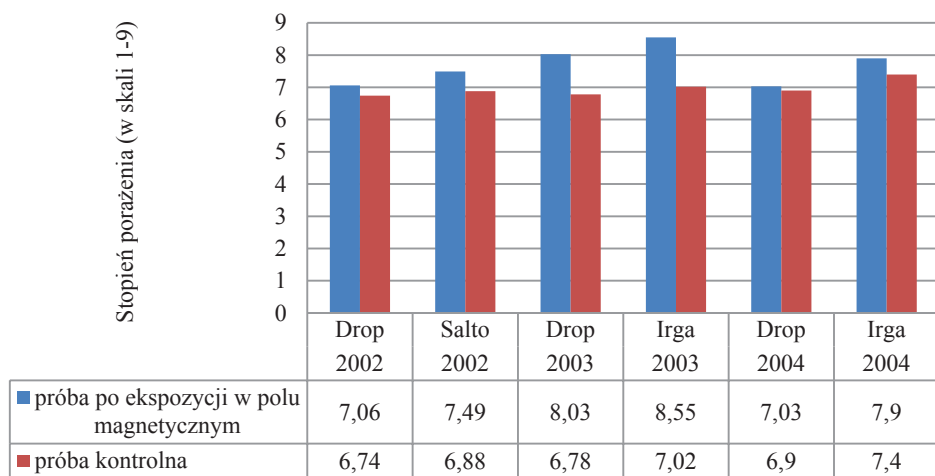
Rysunek 45. Wizualizacja rozkładu pola magnetycznego wykonana programem Vizmag 3.15 w solenoidzie stosowanym do stymulacji bulw ziemniaka w zmiennym polu magnetycznym



Źródło: Marks i Szczówka, 2010

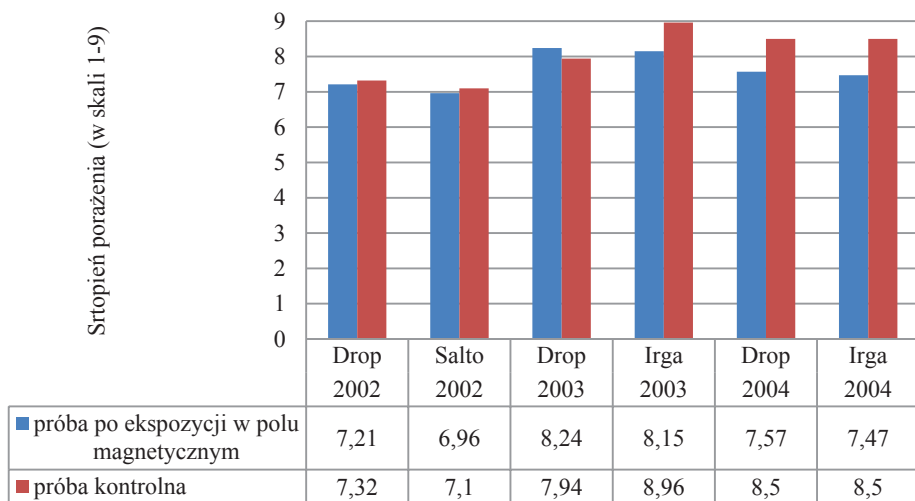
Rysunek 46. Charakterystyka indukcji magnetycznej solenoidu wykonana teslomierzem SMS 102 (*Smart Magnetic Sensor*) w solenoidzie stosowanym do stymulacji bulw ziemniaka w zmiennym polu magnetycznym

Marks i in. (2005b) oceniając wpływ zmiennego pola magnetycznego na stopień porażenia bulw rizoktoniozą (rys. 47) stwierdził, że wartości średnich trzyletnich (wyrażone w skali 9-cio stopniowej, 1-porażenie największe, 9-porażenie najmniejsze) wynoszą przy porażeniu bulw rizoktoniozą 7,68 a dla próby kontrolnej 6,95. W przypadku parcha zwykłego reakcja nie była tak wyraźna jak w przypadku rizoktoniozy gdyż uzyskane średnie wynoszą 8,05 dla kontroli i 7,60 dla zmiennego pola magnetycznego (rys. 48). W doświadczeniu tym bulwę poddawano ekspozycji pola magnetycznego o indukcjach 0,9 T, 1,8 T, 3,6 T, 5,5 T w czasie 100 μ s 300 μ s i 600 μ s oraz 1 μ s i 3 μ s.



Źródło: Marks i in., 2005b

Rysunek 47. Wpływ pola magnetycznego na stopień porażenia perydermy bulw ziemniaka odmian Drop, Salto i Irga ryzoktoniozą (lata badań 2002-2004)



Źródło: Marks i in., 2005b

Rysunek 48. Wpływ pola magnetycznego na stopień porażenia perydermy bulw ziemniaka odmian Drop, Salto i Irga parchem zwykłym (lata badań 2002-2004)

Marks (2005b) badał wpływ zmiennego pola magnetycznego o indukcji 0,9, 1,8, 3,6, 5,5 T i czasie ekspozycji 100, 300, 600 μ s na kształtowanie się strat przechowalniczych bulw ziemniaka odmian Drop, Irga i Salto podczas ich długotrwałego magazynowania. W doświadczeniu określano straty chorobowe, kiełkowanie bulw oraz ubytki powodowane transpiracją i oddychaniem. Parametry pracy stanowiska do badań dobrano na podstawie wyników prac laboratoryjnych przeprowadzone przez Lipca i in. (2004) na wyizolowanych kulturach grzybów i bakterii chorobowych ziemniaka (*Erwinia carotovora*, *Streptomyces scabies*, *Alternaria solani*). Poddanie grzybów i bakterii chorobowych ziemniaka działaniu zmiennego pola magnetycznego prowadziło do zniszczenia lub ograniczenia ich rozwoju. Wyniki badań Marksa (2005b) wykazały pozytywny wpływ zmiennego pola magnetycznego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka odmian Drop, Irga i Salto. Zarówno straty całkowite, jak i chorobowe oraz ubytki naturalne, w odniesieniu do próby kontrolnej, były niższe w próbach poddanych działaniu pola magnetycznego. Nie stwierdzono natomiast istotnych zmian w procesach kiełkowania bulw. Wyniki doświadczenia pozwoliły na określenie wartości indukcji magnetycznej oraz czasu ekspozycji bulwy mających wpływ na obniżenie strat przechowalniczych. Przy zastosowaniu indukcji o wartościach 1,8 T oraz czasów 100 i 300 μ s stwierdzono istotnie niższe straty całkowite i chorobowe w odniesieniu do prób kontrolnych. Najlepszy efekt w postaci redukcji strat odnotowano dla interakcji indukcji magnetycznej i czasu ekspozycji 1,8 T i 100 μ s (tab. 7).

Tabela 7. Ocena trwałości przechowalniczej bulw ziemniaka odmian Drop, Salto i Irga poddanych działaniu zmiennego pola magnetycznego

Pole magnetyczne	Straty całkowite (%)	Straty naturalne (%)	Straty na kiełkowanie (%)	Straty chorobowe (%)
SALTO 2002				
Kontrola	17,01	7,55	1,50	7,96
0,9 T - 600 μ s	17,08	7,64	1,81	7,63
0,9 T - 300 μ s	16,14	7,31	1,43	7,40
0,9 T - 100 μ s	15,48	7,33	1,67	6,48
DROP 2002				
Kontrola	18,02	7,82	1,76	8,44
0,9 T - 600 μ s	14,51	6,99	1,72	5,80
0,9 T - 300 μ s	11,24	5,72	2,26	3,26
0,9 T - 100 μ s	13,86	8,63	1,60	3,54
IRGA 2003				
Kontrola	16,00	7,15	1,65	7,20
5,5 T - 100 μ s	15,40	7,05	1,55	6,80
DROP 2003				
Kontrola	18,50	10,00	1,70	6,80
5,5 T - 100 μ s	16,30	8,25	1,45	6,60

Pole magnetyczne	Straty całkowite (%)	Straty naturalne (%)	Straty na kiełkowanie (%)	Straty chorobowe (%)
IRGA 2004				
Kontrola	12,70	8,11	1,51	3,08
3,6 Tx3 - 100 μ s	12,11	7,05	1,62	3,44
1,8 Tx3 - 100 μ s	11,04	8,19	1,71	1,14
1,8 Tx1 - 100 μ s	9,86	8,21	1,65	0,00
DROP 2004				
Kontrola	14,28	7,98	1,70	4,60
3,6 Tx3 - 100 μ s	14,01	7,91	1,65	4,45
1,8 Tx3 - 100 μ s	12,76	7,88	1,76	3,12
1,8 Tx1 - 100 μ s	12,15	7,42	1,73	3,00

Źródło: Marks 2005b

3.4. Wpływ promieniowania mikrofalowego na kształtowanie się strat przechowalniczych

Mikrofale są częścią widma fal elektromagnetycznych, zajmującym położenie między radiowymi falami ultrakrótkimi a promieniowaniem podczerwonym. Promieniowanie mikrofalowe podlega wszystkim zjawiskom fizycznym charakterystycznym dla ruchu falowego. Oddziałując z materią może ono ulec odbiciu, załamaniu, absorpcji, dyfrakcji, transmisji, interferencji czy polaryzacji. Promieniowanie mikrofalowe wykazuje również właściwości kwantowe – tym wyraźniejsze, im krótsza jest długość fali. Obecna technologia pozwala na konstruowanie generatorów fal elektromagnetycznych i kontrolowane wytwarzanie mikrofal w zakresie częstotliwości 300 MHz - 300 GHz. Promieniowanie mikrofalowe znajduje zastosowanie m. in. w medycynie, łączności, procesach grzewczych oraz rolnictwie. Wraz ze wzrostem częstotliwości promieniowania wartość względnej przenikalności dielektrycznej maleje, a wzrasta przewodność właściwa. Wraz ze wzrostem tych wielkości występuje większa absorpcja w danym ośrodku i mniejsze przenikanie energii promieniowania mikrofalowego. Wielkością opisującą zjawisko pochłaniania fali elektromagnetycznej w ośrodku jest głębokość wnikania (ξ) (wzór 11) zdefiniowana jako droga, po przebyciu której natężenie fali maleje e-krotnie (2,72 razy). Głębokość wnikania mikrofal w tkankę jest odwrotnie proporcjonalna do ilości zawartej w niej wody.

$$\xi = \sqrt{\frac{2}{f \sigma_i \epsilon_i}} \quad (11)$$

gdzie:

- f – częstotliwość promieniowania elektromagnetycznego, (Hz)
- σ_t – przewodność właściwa napromienianej tkanki, ($S \cdot m^{-1}$)
- ε_t – stała dielektryczna napromienianej tkanki, (-)

Działanie promieniowania mikrofalowego na obiekt biologiczny jest skutkiem pochłaniania przez niego energii. W trakcie ekspozycji organizmu na tego typu promieniowanie, część energii docierającej do obiektu zostaje pochłonięta i zamieniona na ciepło (Chen i in. 1993). Ilość pochłanianej energii oraz jej rozkład przestrzenny w obiekcie biologicznym zależne są od częstotliwości promieniowania oraz parametrów elektrycznych napromienianych tkanek: głównie przewodności elektrycznej i stałej dielektrycznej. Oba te parametry wykazują właściwości dyspersyjne i uzależnione są od stopnia uwodnienia tkanek. Efekty biologiczne towarzyszące pochłanianiu promieniowania mikrofalowego zależą zarówno od ilości pochłoniętej energii, jak i od szybkości jej pochłaniania. Zależność ta charakteryzowana jest wielkością *SAR* (ang. *specific absorption rate*). Wielkość ta określana jest jako szybkość pochłaniania energii przez jednostkę masy. Wartość *SAR* można określić na podstawie pomiarów natężenia pola elektromagnetycznego w tkankach lub za pomocą metod kalorymetrycznych. Energia pochłaniana przez obiekt biologiczny, zdaniem Szarycza (2001), Pietrzyka (2006) oraz Kubackiego i in. (2007), określana powinna być poprzez formuły uwzględniające między innymi: natężenie pola elektrycznego, przewodność i przenikalność elektryczną obiektu, gęstość napromienianej tkanki, częstotliwość fali elektromagnetycznej i współczynnik strat dielektrycznych. W doświadczeniach związanych z napromienianiem roślin ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) mikrofalami, Marks i in. (2003), aby określić energię jaką pochłania bulwa, posługiwał się: parametrami będącymi kompilacją mocy urządzenia generującego mikrofałę, czasem ekspozycji oraz masą ogrzewanego materiału. Efektem były dwa parametry wyrażające wartości teoretyczne: dawka całkowita promieniowania mikrofalowego (będącą iloczynem mocy urządzenia generującego mikrofałę i czasu ekspozycji) oraz dawka jednostkowa promieniowania mikrofalowego (będącą ilorazem dawki całkowitej promieniowania mikrofalowego i masy bulwy ziemniaka). Lewicki (1999), Szarycz i in. (2002), Pietrzyk (2006), Łapczyńska-Kordon (2007) oraz Łuczycka (2009) sugerują jednak, aby energię absorbowaną przez obiekt biologiczny, wyrażać również z uwzględnieniem właściwości elektrycznych napromienianego materiału biologicznego. W odniesieniu do procesów mikrofalowych stosowanych w przemyśle rolno-spożywczym wielu badaczy (Metaxas i Meredith, 1983; Marshall i Metaxas, 1999; Lewicki, 1999; Szarycz, 2001; Lisowski, 2004; Barba i in. 2008; Jakubowski, 2011) posługuje się formułami uwzględniającymi pole elektryczne, pomijając pole magnetyczne. Według wymienionych wyżej autorów, szacując energię absorbowaną przez bulwę ziemniaka w trakcie jej napromieniania mikrofalami, przyjąć można, że dostarczenie do pustej (V_k) komory (mikrofalowej wnęki rezonansowej) mikrofal o mocy P_0 (i częstotliwości f) spowoduje wytworzenie się we wnętrzu pola elektrycznego o natężeniu E_0 (wzór 12).

$$E_0 = \sqrt{\frac{P_0}{2\pi f \varepsilon_0 V_k}} \quad (\text{V} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (12)$$

Jednocześnie, po umieszczeniu w komorze dielektryka (bulwy ziemniaka), wytworzy się w nim pole kompensacyjne o znaku przeciwnym do pola E_0 . Napromieniowanie bulwy ziemniaka znajdującej się we wnętrzu mikrofalowej w początkowej fazie procesu związane będzie z doprowadzeniem do tej wnęki mocy P_{B0} (wzór 13), a wtedy w bulwie wytworzy się pole elektryczne o natężeniu E_B zależne od wartości współczynnika strat dielektrycznych ε''_B stymulowanego materiału (wzór 14).

$$P_{B0} = \frac{m_B \cdot c_{wB} \cdot \Delta T}{t} \quad (\text{W}) \quad (13)$$

$$E_B = \frac{E_0}{\varepsilon''_B} \quad (\text{V} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (14)$$

Pole elektryczne w bulwie spowoduje indukowanie się w niej mocy, której wartość opisać można poprzez zależności (15 i 16).

$$P_B = 2\pi f \varepsilon_0 E_B^2 V_B \varepsilon''_B \quad (\text{W}) \quad (15)$$

$$P_B = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \varepsilon_0 \cdot (E_B)^2 \cdot \left(\frac{m_B}{\rho_B}\right) \cdot \varepsilon''_B \quad (\text{W}) \quad (16)$$

gdzie:

$$\varepsilon_0 = \text{przenikalność próżni; } 8,85 \cdot 10^{-12} \quad (\text{F} \cdot \text{m}^{-1})$$

Promieniowanie mikrofalowe może oddziaływać na materiał roślinny, powodując skutki termiczne i atermiczne. Według Dewiatkova (1987) efekt termiczny ma miejsce wówczas, gdy w wyniku absorpcji energii promieniowania elektromagnetycznego następuje wzrost temperatury obiektu, większy niż $0,2^\circ\text{C}$. Wnikające w głąb bulwy ziemniaka mikrofały mogą wywoływać oscylację drobin w spolaryzowanych dielektrykach (polaryzacja dipolowa) oraz jonów w elektrolitach (polaryzacja jonowa). W przypadku polaryzacji dipolowej fala elektromagnetyczna ustawia cząsteczki zgodnie z kierunkiem i zwrotem przyłożonego pola elektrycznego, a przy polaryzacji jonowej (przewodnictwo jonowe) jony przemieszczają się zgodnie z kierunkiem pola elektrycznego. Efekt termiczny, w przypadku polaryzacji dipolowej, powodowany jest rotacją cząsteczek wody, a w przypadku polaryzacji jonowej przesunięciami (zderzeniami) jonów swobodnych z innymi molekułami (Chelkowski, 1979; Czarczyński, 2003; Szóstka, 2006). Skutki termiczne zależą także od stosunku rozmiarów napromie-

nianego ciała do długości fali oraz ułożenia obiektu w stosunku do kierunku wektora pola elektrycznego. Wyniki badań Dewiatkova i in. (1991), Grundlera (1992) oraz Belajewa i in. (1996) wskazują, że promieniowanie mikrofalowe wpływa na przebieg wielu procesów życiowych także wtedy, gdy natężenie pola jest znacznie niższe od dolnej granicy efektu cieplnego. Zdaniem Twardowskiego (1990) przyczyn tego zjawiska należy upatrywać we: wpływie zewnętrznego pola elektrycznego i magnetycznego na zmianę wartości parametrów elektrycznych w obiektach ożywionych, w wysycaniu dielektrycznym roztworów białek, w działaniu siły Lorentza na jony elektrolitu, we wpływie relaksacyjnym na ładunki i dipole oraz w oddziaływaniu rezonansowym na poziomie molekularnym. Nietermiczny charakter oddziaływania promieniowania mikrofalowego na organizmy żywe obserwowany jest szczególnie w milimetrowym zakresie długości fal. W tym zakresie częstotliwości, wydaje się możliwe oddziaływanie poprzez efekty rezonansowe, gdyż według Weeba (1983) oraz Belajewa i in. (1994) częstotliwości drgań własnych niektórych makrocząsteczek materiałów biologicznych leżą w zakresie częstotliwości odpowiadających zakresowi fal milimetrowych. Zdaniem Didenko i in. (1985), Dewiatkova (1987) oraz Olchowik (2002b) energia kwantu promieniowania mikrofalowego (10^{-4} - 10^{-3} eV) jest znacznie mniejsza od energii wiązania wodorowego (10^{-1} - 10^{-2} eV). Oznacza to, że jego działanie na struktury biologiczne nie może powodować rozerwania najsłabszych nawet wiązań wodorowych, może natomiast prowadzić do zmian konformacyjnych cząsteczek i przez to wpływać na procesy biochemiczne zachodzące w komórce.

Według Pichko i in. (1996ab) energia promieniowania mikrofalowego może, w niektórych warunkach, powodować pobudzenie metabolizmu komórek i mieć działanie stymulujące dla układów adaptacyjnych organizmu. Na znaczenie wysokoefektywnych sposobów polepszania wartości materiału nasiennego, w procesach zarówno przedsiwnej jak i pozbiorowej obróbki wskazywali m.in. Horyński (2005), Siarkowski i in. (2005), Gadzało (2009), Kowalyszyn i in. (2015). Mikrofałe (jako metoda stymulacji materiału biologicznego) stosowane były z powodzeniem jako czynnik wpływający na zwiększenie wigoru materiału nasiennego. Badania Olchowik i in. (1994ab; 1996ab; 1997; 2001; 2002a) oraz Wójcika i in. (2004) prowadzone na nasionach roślin wykazały, że zastosowanie mikrofal w przedsiwnej obróbce nasion powoduje wzrost zdolności i energii kiełkowania przy dyskretnych wartościach częstotliwości. Zaznaczyć należy, że oprócz częstotliwości o pozytywnym efekcie działania istniały również takie, które wpływały destrukcyjnie na parametry vitalne nasion i roślin. W doświadczeniu wykorzystywano generator mikrofal G4-141 (rys. 49) wytwarzający (poprzez lampę fali wstecznej) fale o częstotliwości od 37,50 do 54,04 GHz, o regulowanej mocy wyjściowej od 0-20 mW·cm⁻². Generator wyposażony był w falowód zakończony anteną będącą emitery mikrofal.

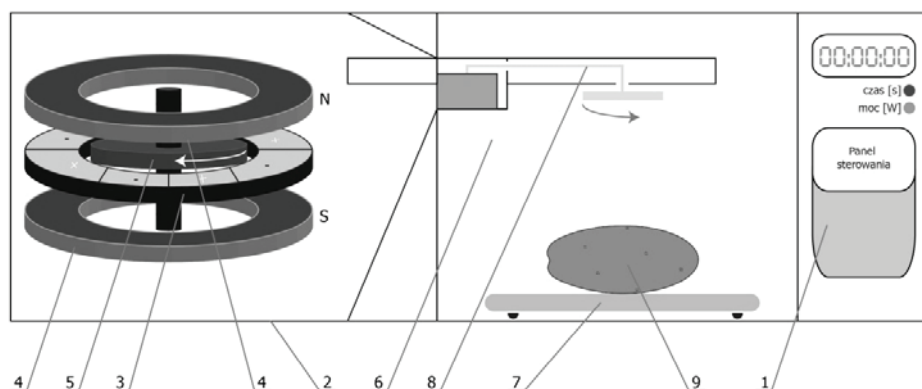


Źródło: opracowanie własne

Rysunek 49. Generator sygnałów wysokiej częstotliwości G4-141 (moc wyjściowa 0-20 mW, częstotliwość = 37,5-54,55 GHz)

Hamada (2007) prowadził badania związane z wpływem promieniowania mikrofalowego o długości fali 2,85 cm, częstotliwości 10,525 GHz na nasiona pszenicy (*Triticum aestivum* L. Sakha 61). Wyniki badań wskazują, że 75 minutowa ekspozycja nie modyfikuje długości kielków oraz zawartości świeżej i suchej masy napromieniowanych ziaren pszenicy. Napromieniowanie nasion mikrofalami powoduje natomiast podwyższenie zawartości związków białkowych i aminokwasów, a obniżenie węglowodanów, kwasów nukleinowych i fenoli. Określano również wpływ promieniowania mikrofalowego na plonowanie i jakość technologiczną korzeni buraka cukrowego (Wójcik i in., 2004) oraz na kinetykę kiełkowania nasion łubinu białego i grochu konsumpcyjnego (Pietruszewski i Kania, 2011) stwierdzając, że mikrofałe istotnie modyfikują niektóre procesy życiowe badanych roślin. W badaniach krajowych, pierwsze doświadczenia dotyczące wpływu promieniowania mikrofalowego na rośliny ziemniaka zostały przeprowadzone przez Marksa i in. (2003). W badaniach tych przez jeden rok oceniano mikrofalową stymulację sadzeniaków ziemniaka odmiany Irga pod kątem: ich wschodów, plonowania oraz wskaźnika mechanicznych uszkodzeń. Sadzeniaki ziemniaka stymulowano mikrofalami o częstotliwości 2,45 GHz w okresie jesienno-wiosennym, przy czym moc urządzenia generującego mikrofałe wynosiła 900 W. Jakubowski (2010e) określał wpływ promieniowania mikrofalowego o częstotli-

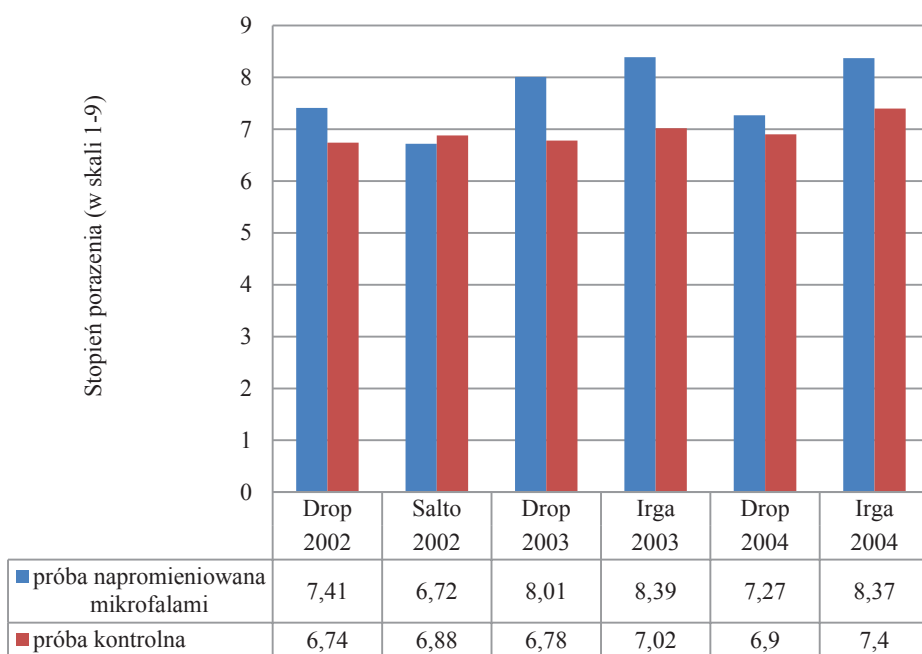
wościach w zakresie 2,45-54 GHz na wybrane procesy życiowe roślin ziemniaka odmiany Felka Bona. W doświadczeniu wykorzystano generator mikrofal wyposażony w lampę fali wstecznej (rys. 49) oraz generator wyposażony w magnetron (rys. 50). W celu napromieniowania bulwy ziemniaka (9) mikrofalami umieszczano ją we wnętrzu komory generatora (6). Urządzenie działało w zakresie mocy 100-1000 W i wyposażone było w precyzyjny wyłącznik czasowy (1). Zasadniczym elementem generatora był magnetron (2) zbudowany z bloku anodowego (3) z wnękami próżniowymi, których liczba i kształt implikowała żadaną charakterystykę lampy mikrofalowej. Anoda umieszczona była między biegunami silnego magnesu (4), co powodowało, że tory elektronów wylatujących z rozżarzonej katody (5) ulegały zakrzywieniu. Drgania elektryczne wzbudzane we wnękach zamieniały powstałą chmurę elektronów w elektromagnetyczną falę stojącą, a elektrony znajdujące się we wnękach oddawały swoją energię (w postaci mikrofal) na zewnątrz w polu elektrycznym wnęk. Mikrofałe o częstotliwości 2,45 GHz transportowane były do wnętrza szczelnej komory (pełniącej funkcję siatki Faradaya), wyposażonej w obrotowe dno (7), poprzez falowód (8) (Marton i in., 1980; Czarczyński, 2003; Dvurechenskaya i in., 2010; Ziaja i in., 2010). W doświadczeniu tym wykazano pozytywny wpływ promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 2,45 GHz na masę kielków napromieniowanych sadzeniaków oraz na masę bulw w plonie. Wpływu takiego nie stwierdzono dla promieniowania mikrofalowego o częstotliwościach 38 GHz, 46 GHz i 54 GHz.



Źródło: opracowanie własne

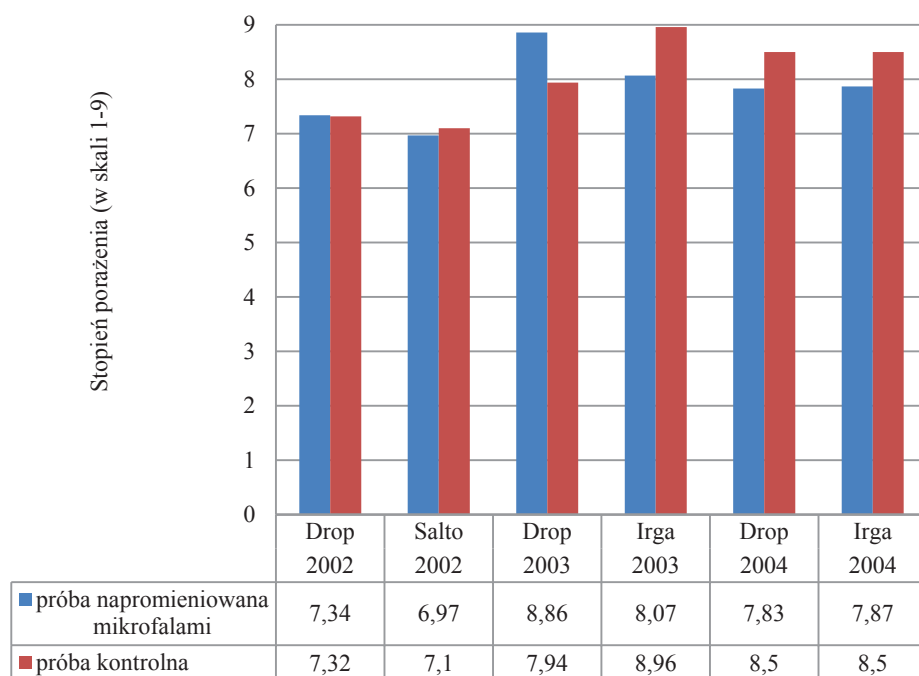
Rysunek 50. Schemat urządzenia do stymulacji materiału biologicznego mikrofalami (moc wyjściowa 100-1000 W, częstotliwość = 2,45 GHz)

Zagadnienie wpływu mikrofal na proces przechowywania bulw ziemniaka poruszany był w pracach Marksa i in. (2005), Marksa i Jakubowskiego (2006) oraz Jakubowskiego (2008ab; 2009ab; 2010abcde). Marks i in. (2005) oceniając wpływ promieniowania mikrofalowego na stopień porażenia bulw ryzoktoniozą (rys. 51) stwierdzili, że wartości średnich trzyletnich (wyrażone w skali 9-cio stopniowej, 1-porażenie największe, 9-porażenie najmniejsze) wynoszą przy porażeniu bulw ryzoktoniozą 7,70 a dla próby kontrolnej 6,95. W przypadku parcha zwykłego reakcja nie była tak wyraźna jak w przypadku ryzoktoniozy, gdyż uzyskane średnie wynoszą 8,05 dla kontroli i 7,82 dla zmiennego pola magnetycznego (rys. 52). W doświadczeniu tym stosowano następujące dawki promieniowania: 10 J g^{-1} , $13,5 \text{ J g}^{-1}$, 20 J g^{-1} , 27 J g^{-1} , 40 J g^{-1} oraz 54 J g^{-1} , które wprowadzone jednorazowo oraz w dawkach podzielonych czasowo.



Źródło: Marks i in., 2005

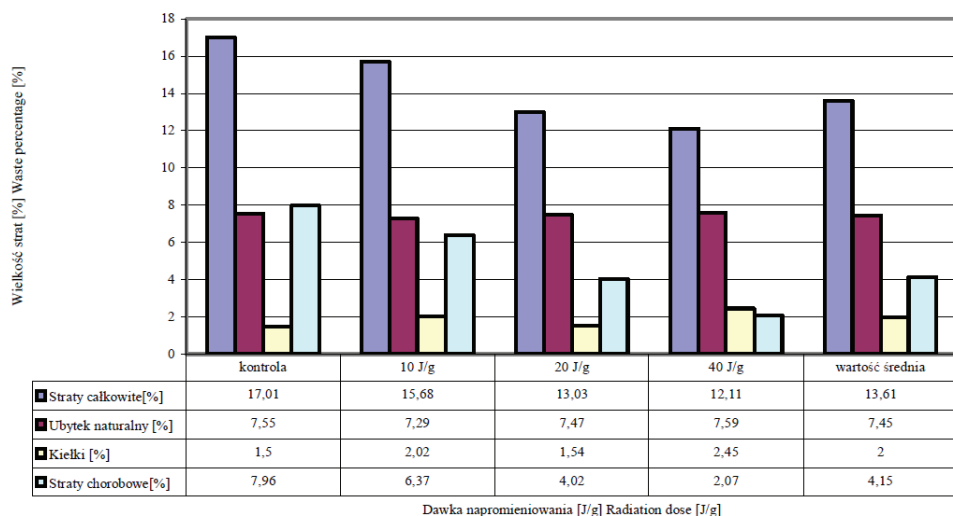
Rysunek 51. Wpływ promieniowania mikrofalowego na stopień porażenia perydermy bulw ziemniaka odmian Drop, Salto i Irga ryzoktoniozą (lata badań 2002-2004)



Źródło: Marks i in., 2005

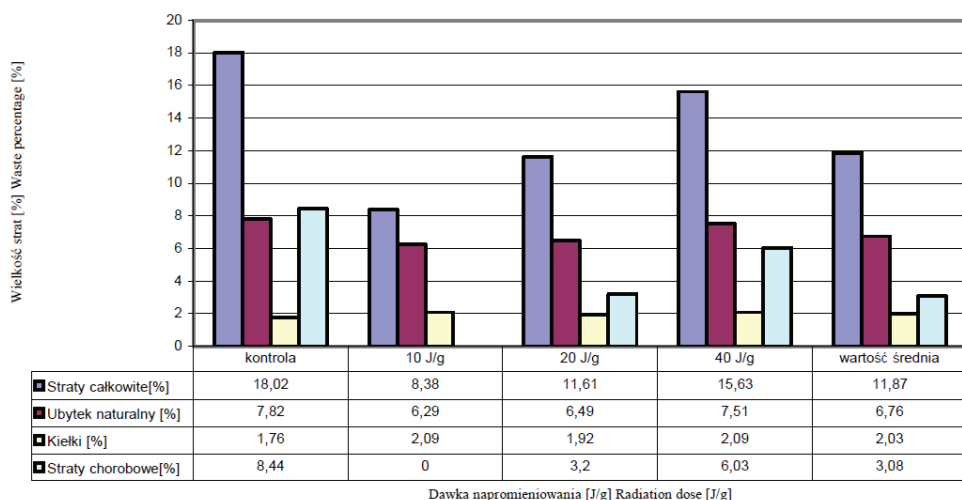
Rysunek 52. Wpływ promieniowania mikrofalowego na stopień porażenia perydermy bulw ziemniaka odmian Drop, Salto i Irga parchem zwykłym (lata badań 2002-2004)

Marks i Jakubowski (2006) realizowali doświadczenie dotyczące wpływu promieniowania mikrofalowego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka odmian: Drop, Irga i Salto. Określano ubytki masy magazynowanego plonu bulw powstałe w wyniku: parowania, oddychania, kiełkowania i rozwoju chorób przechowalniczych ziemniaka. Bulwy stymulowano na stanowisku emitującym fale o częstotliwości 2,45 GHz i mocy 0,9 kW zaopatrzone w precyzyjny wyłącznik czasowy. Stosowano następujące dawki promieniowania: 10 Jg⁻¹, 13,5 Jg⁻¹, 20 Jg⁻¹, 27 Jg⁻¹, 40 Jg⁻¹, 54 Jg⁻¹, 100 Jg⁻¹, 300 Jg⁻¹. Wyniki eksperymentu wykazały, że bulwy odmiany Drop we wszystkich latach badań (2002-2004), a odmiany Salto i Irga w latach 2002 i 2003, pozytywnie zareagowały na promieniowanie mikrofalowe obniżką strat całkowitych i ubytków naturalnych. W stosunku do wszystkich badanych odmian w okresie badawczym odnotowano pozytywny wpływ promieniowania mikrofalowego o wartości 10 - 20 Jg⁻¹ na wielkość naturalnego ubytku masy bulwy w wyniku parowania i oddychania. Jednocześnie stymulacja bulw ziemniaka promieniowaniem mikrofalowym powodowała zwiększenie masy kielków w stosunku do próby kontrolnej (rys. 53-58).



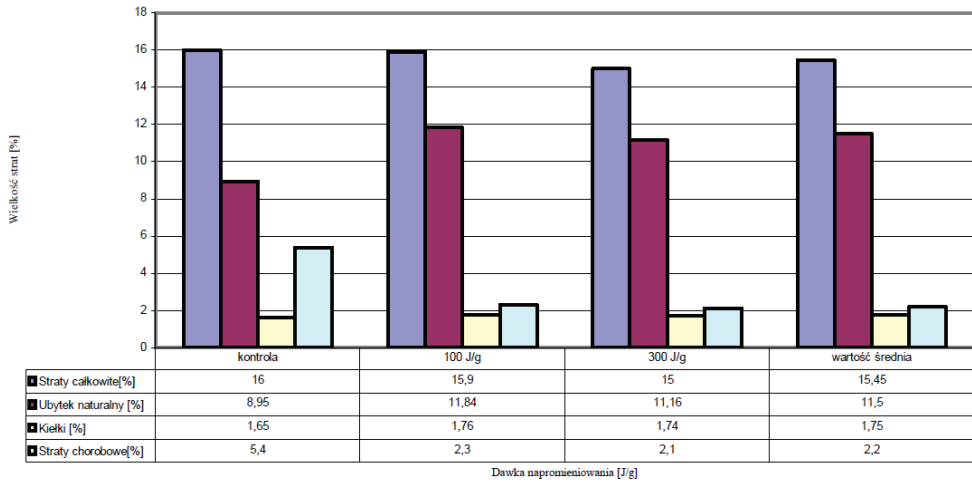
Źródło: Marks i Jakubowski, 2006

Rysunek 53. Wielkość strat przechowalniczych bulw ziemniaka odmiany Salto (rok badań 2002)



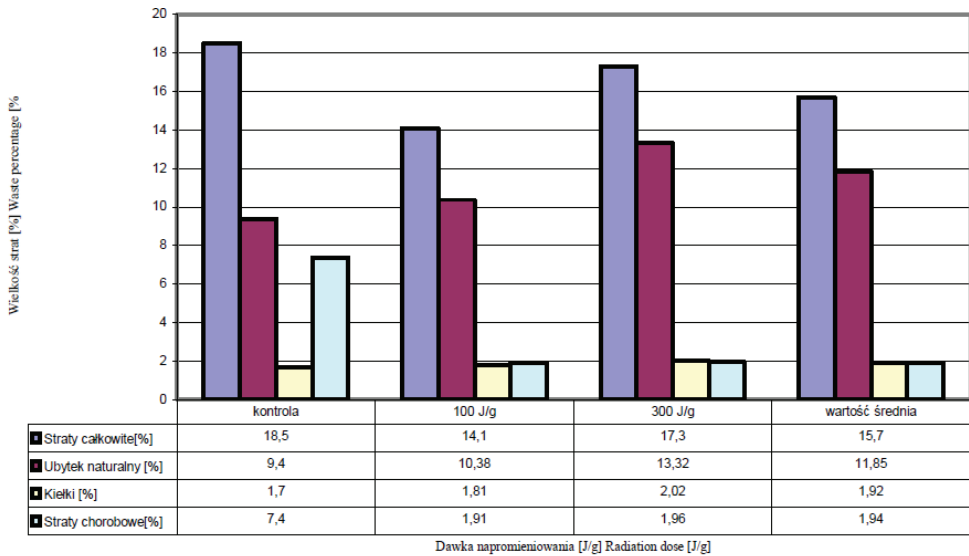
Źródło: Marks i Jakubowski, 2006

Rysunek 54. Wielkość strat przechowalniczych bulw ziemniaka odmiany Drop (rok badań 2002)



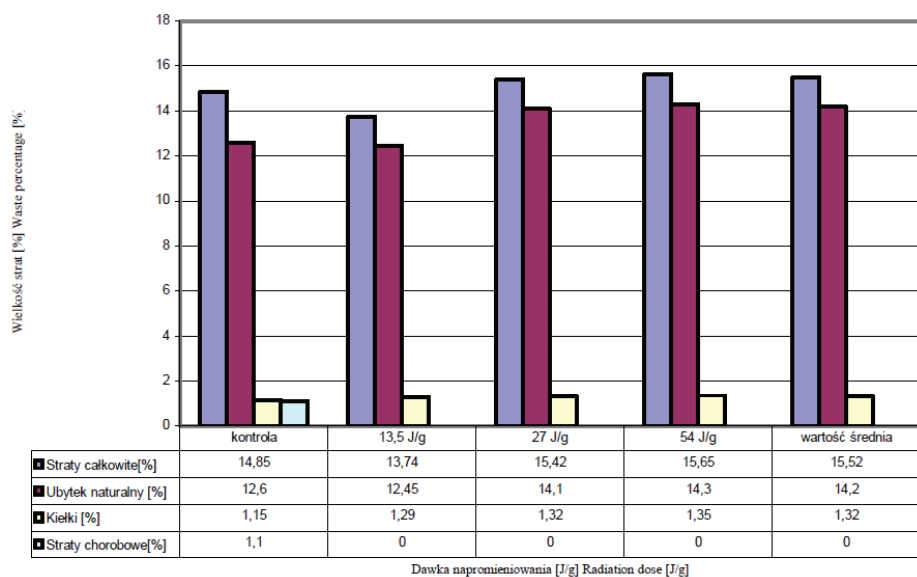
Źródło: Marks i Jakubowski, 2006

Rysunek 55. Wielkość strat przechowalniczych bulw ziemniaka odmiany Irga (rok badań 2003)



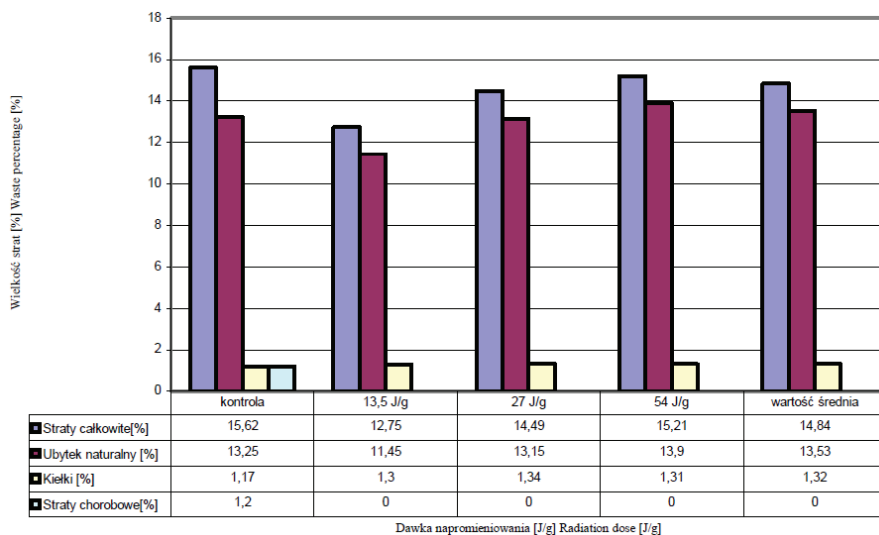
Źródło: Marks i Jakubowski, 2006

Rysunek 56. Wielkość strat przechowalniczych bulw ziemniaka odmiany Drop (rok badań 2003)



Źródło: Marks i Jakubowski, 2006

Rysunek 57. Wielkość strat przechowalniczych bulw ziemniaka odmiany Irga (rok badań 2004)



Źródło: Marks i Jakubowski, 2006

Rysunek 58. Wielkość strat przechowalniczych bulw ziemniaka odmiany Drop (rok badań 2004)

W pracy Jakubowskiego (2008b) badano wpływ promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 2,45 GHz na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka odmian Velox, Felka Bona oraz Vineta. Zakresem pracy objęto straty masy przechowywanych bulw powstałe w wyniku transpiracji i oddychania, kiełkowania i działania chorób przechowalniczych typu *Rhizoctonia solani* i *Streptomyces scabies* oraz oceniono podatność bulw na uszkodzenia mechaniczne. Uzyskane wyniki badań wskazują, że promieniowanie mikrofalowe istotnie zmniejszało ubytki masy bulw ziemniaków powodowane parowaniem i transpiracją oraz wpływało na zwiększenie masy kiełków. Bulwy ziemniaka badanych odmian, w trakcie ich przechowywania, pozytywnie zareagowały, mniejszym stopniem porażenia przez *Rhizoctonia solani*, na przyjęte w doświadczeniu dawki promieniowania mikrofalowego. Efektu takiego nie odnotowano w przypadku porażenia przez *Streptomyces scabies*. W tej części wyniki doświadczenia są zbieżne z wynikami eksperymentów Marksa i in. (2005; 2006). Nie stwierdzono istotnego wpływu promieniowania mikrofalowego, w przyjętych dawkach i czasach ekspozycji, na siłę przebicia perydermy bulwy ziemniaka odpowiadającej granicy jej wytrzymałości biologicznej (tab. 8).

Tematyka kolejnych doświadczeń (Jakubowski 2010bc) skupiła się na zagadnieniach związanych z wpływem mikrofal na ospowatość (ryzoktoniozę) przechowywanych bulw ziemniaka i proces ich kiełkowania. Podatność na ospowatość określano przez stopień porażenia bulw przez *Rhizoctonia solani* Kühn (tab. 9), a proces kiełkowania poprzez masę i liczbę kiełków. Wynik nieparametrycznego testu Kruskala-Wallisa oraz porównania wielokrotne badanych kombinacji wykazały statystycznie istotny wpływ mikrofal na rozwój ospowatości bulw (Jakubowski, 2010b). Przechowywanie bulw ziemniaka powodowało zwiększenie stopnia ich porażenia rizoktoniozą. Stwierdzono, że napromieniowanie mikrofalami bulw ziemniaka przed ich przechowywaniem istotnie wpływa, w odniesieniu do próby kontrolnej, na zmniejszenie stopnia ich porażenia rizoktoniozą po przechowywaniu. Uściślić jednak należy, że pozytywny efekt działania mikrofal na przechowywane bulwy ziemniaka w postaci zmniejszenia stopnia ich porażenia rizoktoniozą (w stosunku do próby kontrolnej) odnotowano w odniesieniu do prób które napromieniano przez czas 20 i 60 s (tab. 10).

W doświadczeniu, w którym badano wpływ promieniowania mikrofalowego na proces kiełkowania bulw ziemniaka wykazano, że ekspozycja znacząco modyfikuje liczbę i masę kiełków pojawiających się na bulwach ziemniaka w czasie przechowywania (Jakubowski 2010c). Badania obejmowały trzy wczesne odmiany ziemniaka: Felka Bona, Velox i Rosara, których bulwy poddano emisji mikrofal o częstotliwości 2,45 GHz w czasie 10, 20 i 60 s. Wynik eksperymentu wykazał, że wynoszący 10 i 20 s czas napromieniania powoduje wzrost masy kiełków, a 20 s dodatkowo zwiększa liczbę oczek aktywnie kiełkujących (liczbę kiełków). Stwierdzono podobną reakcję odmian Rosara i Velox na mikrofałe. Reakcja ta mierzona była masą i liczbą kiełków (tab. 11-13).

Tabela 8. Zmiany (%) wskaźników oceny przechowalności bulw ziemniaka badanych odmian (próba kontrolna = 100%)

Wskaznik oceny przechowalności	Ubytki w wyniku oddychania i transpiracji			Straty w wyniku kiełkowania			Stopień porażenia przez <i>Rhizoctonia solani</i>			Stopień porażenia przez <i>Streptomyces scabies</i>			Siła przebiccia perydermy		
	Velox	Felka	Vineta	Velox	Felka	Vineta	Velox	Felka	Vineta	Velox	Felka	Vineta	Velox	Felka	Vineta
100	10	-1,4*	-2,1*	-1,0	0,4*	0,3*	0,6*	-19,0*	-30,0*	-12,7*	-12,5	-13,6	-1,5	-0,4	0,9
	15	-1,2	-1,9*	-0,9	0,3*	0,2*	0,3*	-17,4*	-32,1*	-17,2*	-12,8	-14,3*	-4,0	-0,8	5,2
	30	-0,2	-0,8	0,2	0,2*	0,1	0,3*	-12,5	-27,9*	-11,6	-11,5	-12,4	-4,9	5,5	-3,2
500	10	-0,4	-0,8	-0,2	0,2*	0,1	0,4*	-3,4	-15,8*	-3,3	-12,2	-5,0	0,8	6,5	-1,1
	15	-0,5	-0,2	-0,3	0,1	0,0	0,3*	-5,6	-17,9*	-8,6	-11,1	-5,4	1,8	1,6	-0,1
	30	-0,3	-0,1	0,1	0,0	-0,2	0,2	-6,7	-5,4	-5,7	-9,3	-5,0	3,4	-17,8	-6,9
1000	10	-0,3	0,2	0,3	0,0	0,0	0,1	-3,6	-13,0	2,9	-3,6	2,4	8,4	-15,9	-5,4
	15	0,1	0,0	0,5	0,0	-0,1	0,2	-6,1	-5,5	-6,0	-2,4	-0,9	9,4	-7,8	1,9
	30	0,6	0,1	1,1	-0,1	-0,1	0,1	-5,5	-4,1	-5,0	-2,5	-1,2	8,9	-7,5	0,7

*Różnice statystycznie istotne ($\alpha = 0,05$)

Źródło: Jakubowski, 2008b

Tabela 9. Układ i opis doświadczenia, w którym badano wpływ mikrofal na ospowatość bulw ziemniaka

Symbol etapu doświadczenia	Charakterystyka etapu doświadczenia	Moc generator mikrofal i czas ekspozycji	Odmiany ziemniaka
E1	Określenie stopnia zainfekowania bulw ziemniaka przez <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn przed przechowywaniem	nie dotyczy	Felka Bona, Rosara, Velox
E2	Napromieniowanie bulw ziemniaka mikrofalami. przechowywanie, po okresie przechowywania określenie stopnia zainfekowania bulw ziemniaka <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn	100 W i 10 s, 100 W i 20 s, 100 W i 60 s, kontrola	

Źródło: Jakubowski, 2010b

Tabela 10. Wpływ czasu ekspozycji na stopień porażenia bulw ziemniaka rizoktoniozą po okresie przechowywania (z – wartość testu post-hoc, p – wartość prawdopodobieństwa testowego), porównania wielokrotne dla testu Kruskala-Wallisa

Zmienna grupująca	Średnie rangi (R)							
	kontrola R:550,50		10 s R:492,59		20 s R:448,59		60 s R:670,32	
Wartość z i p	z	p	z	p	z	p	z	p
Czas ekspozycji	kontrola		2,157	0,186	3,796	0,001	4,463	0,001
	10 s	2,157 0,186			1,639	0,607	6,620	0,000
	20 s	3,796 0,001	1,639 0,607				8,260	0,001
	60 s	4,463 0,001	6,620 0,000	8,260 0,001				

Źródło: Jakubowski, 2010b

Tabela 11. Wpływ odmiany ziemniaka na masę kiełków przechowywanych bulw ziemniaka (wynik testu Duncana dla jednorodnych grup zmiennych)

Odmiana	Masa (g)	Grupa homogeniczna	
		1	2
Felka Bona	2,97		****
Velox	4,33	****	
Rosara	4,62	****	

Źródło: Jakubowski, 2010c

Tabela 12. Wpływ czasu promieniowania mikrofalowego na masę kielków przechowywanych bulw ziemniaka (wynik testu Duncana dla jednorodnych grup zmiennych)

Czas ekspozycji (s)	Masa (g)	Grupa homogeniczna	
		1	2
Kontrola	3,33	****	
60	3,65	****	
20	4,25		****
10	4,66		****

Źródło: Jakubowski, 2010c

Tabela 13. Wynik testu post-hoc dla analizy wariancji Kruskala-Wallisa; wpływ roku uprawy, odmiany ziemniaka i czasu promieniowania na liczbę kielków przechowywanych bulw ziemniaka

Wartość oczekiwana		Suma rangi	Liczba pędów	Wartość testu Kruskala- Wallisa	Wartość testu praw- dopodobieństwa
Rok badań	2006	190424,0	2,6	H = 0,85 (nieistotny)	p = 0,653
	2007	195524,5	2,7		
	2008	197791,5	2,8		
Odmiana ziemniaka	Felka Bona	170921,5	2,3	H = 25,33	p = 0,000
	Velox	208243,0	2,9		
	Rosara	204575,5	2,9		
Czas ekspozycji (s)	kontrola	133847,0	2,5	H = 12,92	p = 0,000
	60	158440,0	2,6		
	20	148976,5	2,7		
	10	142476,5	2,9		

Źródło: Jakubowski, 2010c

Badania związane z reakcją roślin ziemniaka na mikrofałe obejmowały również doświadczenia związane z wpływem tego czynnika na wielkość i rodzaj uszkodzeń mechanicznych bulw ziemniaka. W doświadczeniu (tab. 14), w którym badano zmianę wartości siły przebiccia skórki ziemniaków napromieniowanych mikrofalami, w zależności od stopnia dojrzałości bulwy, obserwowano pozytywny wpływ ekspozycji, jedynie w przypadku bulw, które pobrano do badań w fazie niepełnej dojrzałości (Jakubowski, 2009b). W przypadku bulw podlegających zmagazynowaniu (etap III doświadczenia – E₃) istotnych różnic, między kombinacjami, nie stwierdzono. W kolejnym doświadczeniu (tab. 15), bulwy ziemniaka, po napromieniowaniu mikrofalami, przechowywano przez okres 7 miesięcy. Po założonym okresie przechowywania nie

stwierdzono statystycznie istotnego wpływu promieniowania mikrofalowego na wartość siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka, odpowiadającej granicy jej biologicznej wytrzymałości (rys. 59). W porównaniu z próbą kontrolną, po założonym okresie przechowywania, przyjęty w doświadczeniu czas napromieniowania 60 s spowodował obniżenie wartości siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka odpowiadającej granicy jej biologicznej wytrzymałości – a więc efekt negatywny i niepożądany (Jakubowski, 2010d).

Tabela 14. Układ i opis doświadczenia, w którym badano wpływ mikrofal na wartość siły uszkadzającej perydermę bulwy ziemniaka na granicy jej wytrzymałości biologicznej po krótkotrwałym przechowywaniu plonu (30 dni)

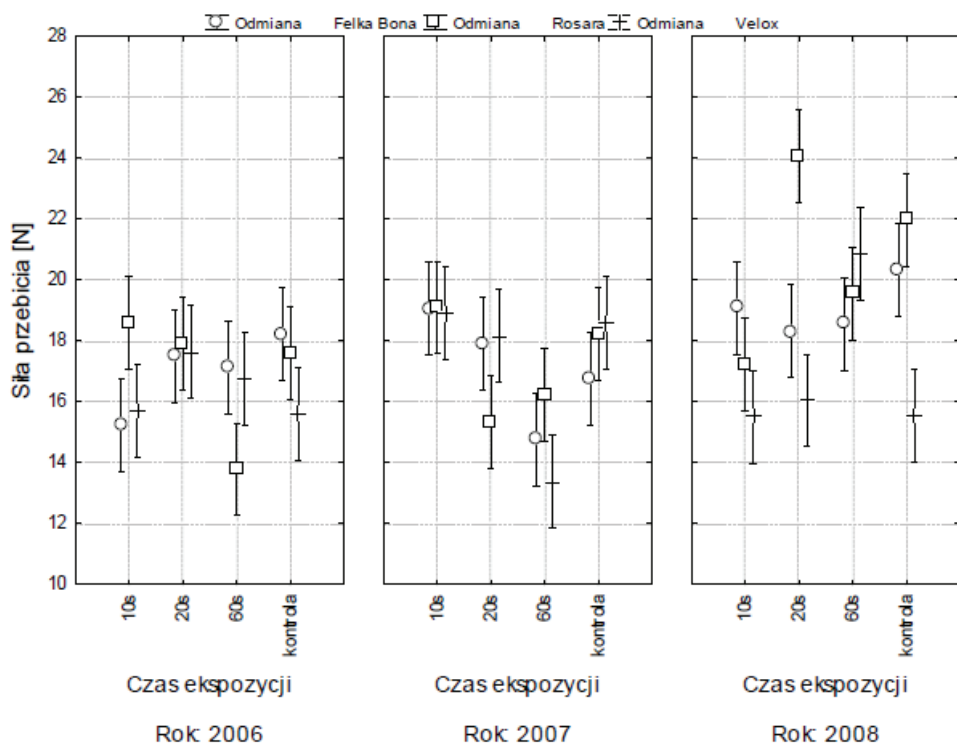
Symbol etapu doświadczenia	Charakterystyka etapu doświadczenia	Moc urządzenia i czas ekspozycji	Odmiany ziemniaka	Liczba bulw w każdym etapie doświadczenia
E ₁	Bulwy pobrane po 75 dniach wegetacji			
E ₂	Bulwy pobrane po 104 dniach wegetacji	100 W i 10 s, 100 W i 15 s, 100 W i 0 s	Felka Bona, Rosara, Velox	315
E ₃	Bulwy pobrane po 104 dniach wegetacji i przechowywane przez 30 dni			
Łączna liczba bulw wykorzystanych w doświadczeniu w 1 roku badawczym: 945				

Źródło: Jakubowski, 2009

Tabela 15. Układ i opis doświadczenia, w którym badano wpływ mikrofal na wartość siły uszkadzającej perydermę bulwy ziemniaka na granicy jej wytrzymałości biologicznej po długotrwałym przechowywaniu plonu (7 miesięcy)

Symbol etapu doświadczenia	Charakterystyka etapu doświadczenia	Moc urządzenia i czas ekspozycji	Odmiany ziemniaka	Liczba bulw w etapie doświadczenia
E1	Określenie siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka	nie dotyczy	Felka Bona, Rosara, Velox	90
E2	Napromieniowanie bulw ziemniaka mikrofalami, przechowywanie, po okresie przechowywania określenie siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka	100 W i 10 s, 100 W i 20 s, 100 W i 60 s, kontrola	Felka Bona, Rosara, Velox	360
Łączna liczba bulw wykorzystanych w doświadczeniu w 1 roku badań: 450				

Źródło: Jakubowski, 2010d



Źródło: Jakubowski, 2010d

Rysunek 59. Graficzna prezentacja efektu interakcji między odmianą ziemniaka, czasem napromieniowania mikrofalami oraz rokiem w którym prowadzono badania, a wartością siły przebicia skórki bulwy ziemniaka

Oceniano również (Jakubowski, 2010a) podatność bulw ziemniaka (odmian Felka Bona, Rosara i Velox) napromieniowanych mikrofalami na powstawanie uszkodzeń wewnętrznych określanych przez wielkość ciemnienia poudzerzeniowego. W doświadczeniu wykorzystano autorski przyrząd (rys. 60), który umożliwiał opuszczanie bulw ziemniaka w zakresie wysokości do 200 cm. Przyrząd wyposażony był w zapadnię, której zadaniem było ograniczenie ruchu rotacyjnego opuszczanej bulwy oraz niwelacja przyspieszenia początkowego, jakie mogło powstać gdyby bulwę zrzucano ręcznie. Po zadanym okresie przechowywania oceniono w bulwach głębokość nekroz (w skali pięciostopniowej: 1 - nekroza do głębokości 3,5 mm, 5 - nekroza powyżej 8,8 mm głębokości) oraz obliczono indeks ciemnienia poudzerzeniowego (*ICP*) wg wzoru (17) podanego poniżej. Wartość *ICP* jest miarą podatności bulwy na powstawanie tej wady. Dokonano oceny *ICP* wg skali czterostopniowej.

$$ICP = 100 \frac{x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 5x_5}{5n} \quad (17)$$

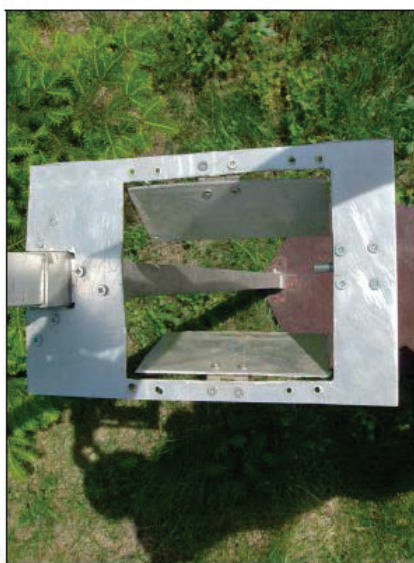
gdzie:

- $x_1 - x_5$ – liczba bulw z plamami w skali 1 do 5
 n – liczba bulw w próbie

Stosowano trzy okresy przechowywania: 3, 10 i 30 dni oraz jeden poziom napromieniowania mikrofalami o częstotliwości 2,45 GHz w czasie 20 s (moc urządzenia generującego mikrofałe 100 W). Dla przyjętych w doświadczeniu dawek i czasów ekspozycji nie stwierdzono istotnego wpływu promieniowania mikrofalowego na powstawanie uszkodzeń wewnętrznych bulw ziemniaka. Czas przechowywania istotnie wpływał na ujawnianie uszkodzeń wewnętrznych bulw ziemniaka oraz głębokość plam wynikłych z ciemnienia poudarzeniowego (tab. 16 i 17).



a)



b)

Źródło: Jakubowski, 2010a

Rysunek 60. Przyrząd do opuszczania bulw ziemniaka a) widok ogólny, b) zapadnia

Tabela 16. Udział bulw ziemniaka, w których wystąpiło ciemnienie poulderzeniowe (%)

Okres przechowywania	Odmiana	Próba kontrolna		Próby napromieniowane mikrofalami	
		Występowanie ciemnienia poudzerzeniowego			
		nie	tak	nie	tak
3 dni	Felka Bona	93,3	6,7	96,7	3,3
	Rosara	93,3	6,7	93,3	6,7
	Velox	90,0	10,0	93,3	6,7
10 dni	Felka Bona	90,0	10,0	93,3	6,7
	Rosara	86,3	13,7	90,0	10,0
	Velox	36,7	13,3	93,3	6,7
30 dni	Felka Bona	83,3	26,7	86,7	23,3
	Rosara	83,3	26,7	83,3	26,7
	Velox	86,7	23,3	83,3	26,7

Źródło: Jakubowski, 2010a

Tabela 17. Wartości indeksu ciemnienia poulderzeniowego (ICP)

Bulwy napromieniowane mikrofalami												Próba kontrolna					
Odmiana ziemniaka																	
Felka Bona			Rosara			Velox			Felka Bona			Rosara			Velox		
Okres przechowywania (dni)																	
3	10	30	3	10	30	3	10	30	3	10	30	3	10	30	3	10	30
Wartość ICP																	
8,0	19,3	21,3	6,1	15,4	22,3	7,8	11,7	20,6	5,3	9,3	29,3	7,4	14,2	20,2	6,5	12,8	22,4
Ocena ICP (1-podatność bardzo duża, 4-podatność mała)																	
4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3

Źródło: Jakubowski, 2010a

Prace związane z badaniem wpływu mikrofal (2,45 GHz) na roślinę ziemniaka obejmowały również doświadczenia, których celem było określenie związków między promieniowaniem a zmianą zawartości niektórych związków biochemicznych w przechowywanych bulwach (Jakubowski, 2008a; 2009a). Stwierdzono istotne zależności korelacyjne między: promieniowaniem mikrofalowym, czasem przechowywania a zawartością azotanów w bulwach ziemniaków odmian Aster i Felka Bona (tab. 18, rys. 61). Całkowite dawki promieniowania zawierały się w przedziale 1000-10000 J co odpowiadało 11,5-325,0 J·g⁻¹ jednostkowych dawek promieniowania mikrofalowego. Bulwy ziemniaków obu odmian poddane działaniu mikrofal w zakresie 11,5-107,6 J·g⁻¹ dawek jednostkowych wykazywały niższe zawartości azotanów w porównaniu z próbami kontrolnymi. Przy czym odmiana Aster, w porównaniu z odmianą Felka Bona, silniej zareagowała na działanie mikrofal obniżeniem zawartości azotanów w bulwach po okresie przechowywania (Jakubowski, 2008a).

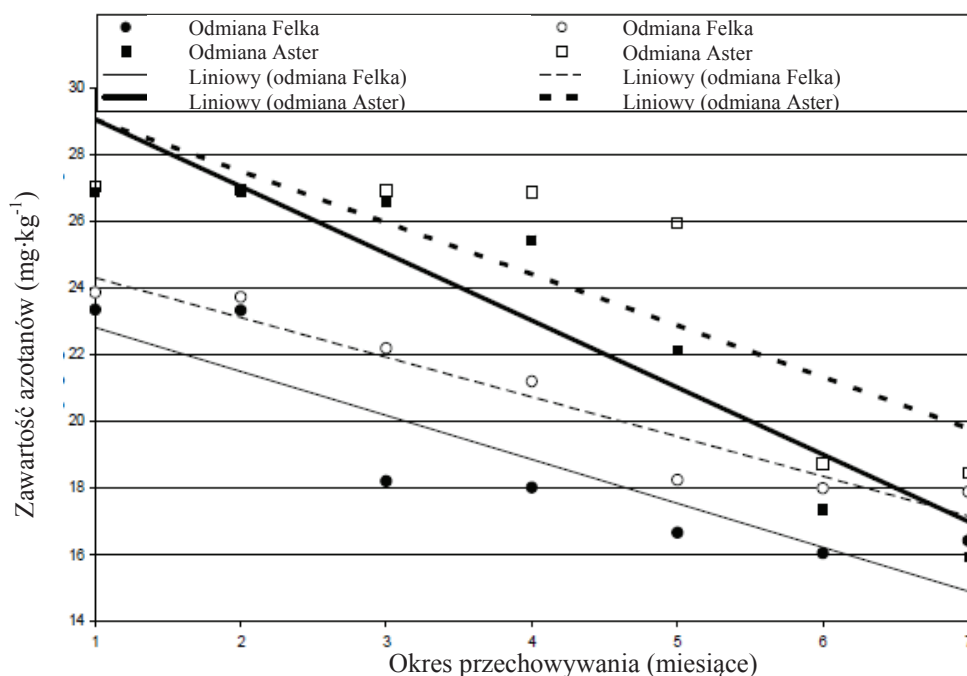
Tabela 18. Korelacyjne powiązania między wielkością jednostkowej dawki promieniowania mikrofalowego, okresem przechowywania a zawartością azotanów w bulwach ziemniaka (istotne dla $\alpha = 0,05$)

Rodzaj zależności	Odmiana ziemniaka	Współczynnik korelacji	Równanie regresji i współczynnik determinacji (R^2)	
Wielkość dawki (11,5-107,6 J·g ⁻¹) - Zawartość azotanów	Felka	-0,85	$y = -0,0834x + 28,272$	0,73
	Aster	-0,79	$y = -0,0317x + 20,314$	0,63
Okres przechowywania - Zawartość azotanów	Felka	-0,90	$y = -1,3172x + 24,133$	0,81
	Aster	-0,91	$y = -2,2707x + 31,663$	0,83
Okres przechowywania - Zawartość azotanów (próby kontrolne)	Felka	-0,96	$y = -1,3645x + 25,51$	0,93
	Aster	-0,83	$y = -1,5423x + 30,583$	0,69

Źródło: Jakubowski, 2008a

Jakubowski (2009a) wykonał doświadczenie, celem którego było określenie wielkości zmian, po okresie przechowywania, w zawartości wybranych związków biochemicznych i suchej masy, wywołanych wpływem mikrofal o częstotliwości 2,45 GHz, w bulwach ziemniaków odmian: Felka Bona, Rosara i Velox. W eksperymencie tym bulwy ziemniaka napromieniowano mikrofalami wykorzystując urządzenie o mocy źródła 100 W przez czas 10 lub 20 s (całkowite dawki promieniowania zawierały się w przedziale od 1000-2000 J). Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono istotnego wpływu promieniowania mikrofalowego na zawartość: suchej masy, skrobi, białka ogólnego oraz kwasu askorbinowego w bulwach badanych odmian przed okre-

sem przechowywania. Napromieniowanie mikrofalami bulw ziemniaka odmiany Rosara spowodowało istotne obniżenie zawartości skrobi i kwasu askorbinowego po okresie przechowywania (tab. 19). Pozostałe odmiany (Felka Bona i Velox) nie zareagowały istotnie na mikrofałe poprzez zmiany zawartości badanych związków biochemicznych i suchej masy (tab. 20).



Źródło: Jakubowski, 2008a

Rysunek 61. Graficzna prezentacja zależność między zawartością azotanów a okresem przechowywania bulw ziemniaka (bulwy napromieniowane i próba kontrolna)

Tabela 19. Względne zawartości masy, skrobi, białka ogólnego i kwasu askorbinowego w suchej próbce w stosunku do zawartości w świeżej próbce badanych bulw ziemniaka

Etap doświadczenia	Czas ekspozycji	Sucha masa (%)			Skrobia (%)			Białko ogólne (%)			Kwas askorbinowy (mg·(100 g ś.m.) ⁻¹)		
		Rosara	Velox	Felka Bona	Rosara	Velox	Felka Bona	Rosara	Velox	Felka Bona	Rosara	Velox	Felka Bona
Przed przechowywaniem (Etap I)	10 s	17,21	18,92	17,88	10,33	10,21	10,28	3,07	2,92	3,78	1,94	2,06	1,94
	20 s	17,08	18,14	17,77	9,58	10,54	9,82	2,94	3,05	2,96	2,06	2,28	2,06
	0 s kontrola	16,94	18,73	17,61	9,81	10,98	9,87	3,20	3,06	3,70	2,80	2,28	2,28
Po przechowywaniu (Etap II)	10 s	17,99	19,82	18,51	8,22	10,16	10,02	2,88	2,66	3,41	1,56	1,72	1,59
	20 s	17,87	18,32	18,22	8,32	9,89	9,51	2,55	2,81	2,52	1,61	1,87	1,58
	0 s kontrola	17,32	19,15	18,40	9,64	9,99	9,62	3,02	2,81	3,19	2,29	1,91	1,88

Źródło: Jakubowski, 2009a

Tabela 20. Wpływ mikrofal na zawartości skrobi i kwasu askorbinowego w bulwach odmiany Rosara po okresie przechowywania (test t-Studenta, $\alpha=0,05$)

Grupa 1 wz. Grupy 2	Testy dla prób niezależnych						
	Średnia Grupa 1	Średnia Grupa 2	t	df	P	Odch. std Grupa 1	Odch. std Grupa 2
Skrobia 0 s (kontrola) vs. Skrobia 10 s	9,6390	8,2180	4,423844	18	0,000328	0,445557	0,912832
Skrobia 0 s (kontrola) vs. Skrobia 20 s	9,6390	8,3160	4,611212	18	0,000217	0,445557	0,790347
Kwas askorbinowy 0 s (kontrola) vs. Kwas askorbinowy 10 s	2,2940	1,5650	5,068138	18	0,000080	0,141516	0,432287
Kwas askorbinowy 0 s (kontrola) vs. Kwas askorbinowy 20 s	2,2940	1,6080	7,029174	18	0,000001	0,141516	0,274259

Źródło: Jakubowski, 2009a

Bibliografia

- Adair R. K. (2002). Influence of Stationary magnetic fields on water relations in lettuce seeds. *Bioelectromagnetics*, 23, 550-553
- Adey R.W. (1993). Biological effects of electromagnetic field. *Journal of Cellular Biochemistry*, 51, 410-416
- Aguilar H, Pacheco D., Flavio A., Orea C. (2015). Thermal effects of laser irradiation on maize seeds. *International Agrophysics*, 29(2), 147-156
- Barba A., Calabretti A., d'Amore M., Piccinelli L., Rastrelli L. (2008). Phenolic constituents levels in cv. Agria potato under microwave processing. *Food Science and Technology*, 41, 1919-1926.
- Barnes F. S. (2005). Mechanisms for electric and magnetic fields effects on biological cells. *IEEE Transactions on Magnetic*, 41, 4219- 4224
- Belajew I.Y., Kravchenko V.G. (1994). Resonance effect of low-intensity millimeter waves on the chromation conformational state of rat thymocytes. *Zeitschrift für Naturforschung*, 49, 352-358.
- Belajew I.Y., Shcheglov V.S., Alipov Y.D., Polunin V.A. (1996). Resonance effect of millimeter Waves in the power range from 10-19 to 3x10-3 on *Escherichia coli* cells at different concentrations. *Bioelectromagnetics*, 17, 312-321.
- Binhi V.N. (2001). Theoretical concepts in magnetobiology. *Electro and Magnetobiology*, 20(1), 43-58
- Borodin I.F. (1991). Stosowanie elektroenergii w technologicznych procesach w rolnictwie. (W:) *Stosowanie elektroenergii w procesach technologicznych i badaniach naukowych. Saratow*, 125.
- Borodin I.F., Szczerbakow K.N. (1998). Sposoby elektrofizyczne stymulowania wzrostu roślin. *Technika w Rolnictwie*, 5, 35-36.
- Castro A.J., Barbosa-Canovas G.V., Swanson B.G. (1993). Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17, 47.
- Chełkowski A. (1979). Fizyka dielektryków. *Polskie Wydawnictwo Naukowe, Warszawa*, 8-340.
- Chen D., Singh R., Haghighi K., Nelson P. (1993). Finite element analysis of temperature distribution in microwaved cylindrical potato tissue. *Journal of Food Engineering*, 18(4), 351-368.
- Cieśla A., Kraszewski W., Skowron M., Syrek P. (2011). Determination of safety zones in the context of the magnetic field impact on the surrounding during magnetic therapy. *Przegląd Elektrotechniczny*, 87, 79-82
- Czarczyński W. (2003). Podstawy techniki mikrofalowej. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, 9-105.
- Dewiatkow N.D. (1987). Ispolzowanie niekogierentnych i kogierentnych elektromagnitnykh kolebanij w medycynie i biologii. *Elektronnaja Technika. Elektronika*, 9.
- Dewiatkow N.D., Golant M.B., Beckij O.W. (1991). Milimetrovye wolny i ich rol w processach zyzniedejatelnosti. *Radio i Swiaz. Moskwa*, 14.
- Didenko N.P., Zelencow W.I., Cza W.A. (1985). O konformacjonnykh izmieniienii biomolekul pri wozdejstwie z elektromagnitnym izluczeniem. *Prymienienie milimetrovogo izluczenia w biologii i medycynie. Moskwa*, 63-77.
- Dvurechenskaya N., Zieliński R., Kubal S. (2010). Application of free-space transmission technique for shielding effectiveness measurement of special materials at 2,5-5 GHz, *5th International Conference on Broadband and Biomedical Communications*, 15-17.
- Fiedurek J., Skowronek M., Jamroz J. (2006). Zmiany strukturalne i fizjologiczne w układach biologicznych indukowane pulsacyjnym polem elektrycznym. *Postępy Nauk Rolniczych* (6), 41-55.
- Gadzało J.M. (2009). Mikrofalowa technologia – krok w przyszłość branży agrarnej. *Przechowalnictwo i Przetwórstwo Zbóż*, 5, 26-28.

- Gładyszewska B. (2006). Pre-sowing laser biostimulation of cereal grains. *Technical Sciences*, 6, 33-38.
- Gładyszewska B., Dziwulska A., Gowin J. (2005). Metoda wyznaczania dawki energii promieniowania laserowego w procesie stymulacji nasion wiązką rozbieżną. *Acta Agrophysica*, 5(3), 637-643.
- Gładyszewska, B., Koper, R., Kornarzyński, K. (1998b). Zastosowanie i efekty przedsięwzięcia biostymulacji laserowej nasion pomidorów. *Inżynieria Rolnicza*, 2(3), 37-44.
- Gładyszewska, B., Kornas-Czuczwar, B., Koper, R., Lipski, S. (1998a). Aspekty teoretyczne i praktyczne stosowania przedsięwzięcia laserowej biostymulacji nasion. *Inżynieria Rolnicza*, 2(3), 21-29.
- Grundler W. (1992). Intensity and frequency - dependent effects of microwaves on cell growth rates. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 27, 361-365.
- Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P. (2011). Pole magnetyczne wytwarzane przez wyposażenie elektroenergetyczne w budynkach – zalecenia profilaktyczne dotyczące ograniczenia narażenia długotrwałego. *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka*, 5, 22-29
- Gut, M. (2007). Wpływ przemiennego pola elektrycznego na wzrost i plonowanie bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 8(96), 73-80.
- Halicz B., Maciejewska-Potapczykowa W., Zaleska K. (1964). Wpływ ultradźwięków na wczesne fazy kiełkowania, zawartość związków fosforu i aktywność β -glicerofosfatazy. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 33(2), 285-296
- Hamada E. (2007). Effects of microwave treatment on growth, photosynthetic pigments and some metabolites of wheat. *Biologia Plantarum*, 51(2), 343-345.
- Hesse R. (1952). *Flora*, B.d. 132-567.
- Horyński M., (2005). Electric properties in milling quality verification for crop grain. *Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, Motrol, Lublin*, 7, 219-225
- Jakubowski T. (2008a). Zależność między promieniowaniem mikrofalowym a zawartością azotanów w bulwach ziemniaków w trakcie ich przechowywania. *Acta Agrophysica*, 157, vol. 11(2), 411-418.
- Jakubowski T. (2008b). Wpływ napromieniowania mikrofalowego na wybrane wskaźniki oceny przechowalniczej bulw ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 162, vol. 12(2), 357-366.
- Jakubowski T. (2009a). Wpływ napromieniowania mikrofalami bulw ziemniaka na zawartość niektórych związków biochemicznych i suchej masy. *Inżynieria Rolnicza*, 1(110), 123-129.
- Jakubowski T. (2009b). Wytrzymałość biologiczna skórki bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami. *Acta Agrophysica*, 13(3), 685-693.
- Jakubowski T. (2010a). Ocena podatności bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami na ciemnienie poulderzeniowe. *Inżynieria Rolnicza*, 3(121), 53-60.
- Jakubowski T. (2010b). Wpływ promieniowania mikrofalowego na stopień porażenia przechowywanych bulw ziemniaka przez *Rhizoctonia solani* Kühn. *Acta Agrophysica*, 16(1), 49-58.
- Jakubowski T. (2010c). The effect of microwave radiation on the germination process of stored potato tubers. *Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria*, 9(1-2), 37-44.
- Jakubowski T. (2010d). Wpływ przechowywania na wartość siły przebiccia skórki bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami. *Inżynieria Rolnicza*, 5(123), 47-55.
- Jakubowski T. (2010e). The impact of microwave radiation at different frequencies on weight of seed potato germs and crop of potato tubers. *Agricultural Engineering*, 6(124), 57-64.
- Jakubowski T. (2011). Energy absorbed by a microwave irradiated potato tuber. *Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria*, 10(1-2), 3-13.
- Kasprzyk R., Butlewski M. (2013). Pole elektromagnetyczne jako czynnik szkodliwy w przemyśle elektroenergetycznym. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, 59, 19-33.

- Kasyanov G., Syazin I., Grachev A., Davidenko T., Vazhenin E. (2013). Features of usage of electromagnetic field of extremely low frequency for the storage of agricultural products. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 5, 236-241.
- Kornarzyński K., Pietruszewski P. (2008). Wpływ zmiennego pola magnetycznego na kiełkowanie nasion o niskiej zdolności kiełkowania. *Acta Agrophysica*, 11(2), 429-435.
- Kowalyszyn S., Konyk G. (2015). Wykorzystanie przedsiwnej stymulacji elektrycznej nasion życicy trwałej (*Lolium perenne* L.) dla pozyskiwania hodowlanego materiału wyjściowego. *Acta Agrophysica*, 22(1), 55-66.
- Kubacki R., Sobiech J., Krawczyk A. (2007). Validation of calculation method of the microwave energy absorbed by organisms. *Przegląd Elektrotechniczny*, 7-8, 119-120.
- Lee S., Jeong S., Kim S. (2005). Effect of far-infrared irradiation on the antioxidant activity of defatted sesame meal extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1495-1498.
- Lewicki P. (1999). Inżynieria procesowa i aparatura w PRS. *Wydawnictwo Naukowo-Techniczne*. Warszawa.
- Lewicki P., Jakubczyk E. (2004). Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *Journal of Food Engineering* 64, 307-314.
- Li B., Sun D. (2002). Effect of power ultrasound on freezing rate during immersion freezing of potatoes. *Journal of Food Engineering*, 5, 277-282.
- Lipiec J., Janas P., Barabasz W. (2004). Effect of oscillating magnetic field pulses on the survival of selected microorganisms. *International Agrophysics*, 18(4), 325-328.
- Lisowski M. (2004). Pomiary rezystywności i przenikalności elektrycznej dielektryków stałych. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, 149-153.
- Łapczyńska-Kordon B. (2007). Model suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego owoców i warzyw. *Inżynieria Rolnicza*, 10(98), 9-73.
- Łuczyszka D. (2009). Cechy elektryczne ziaren pszenicy. *Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Monografie LXXIII*, 30-34.
- Marks N., Sobol Z., Baran D. (2003). Ocena mikrofalowej stymulacji bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 11(53), 151-157.
- Marks, N. (2005a). Wpływ impulsowego pola elektrycznego na straty przechowalnicze bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 10(70), 303-309.
- Marks N. (2005b). Wpływ zmiennego pola magnetycznego na straty przechowalnicze bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* 10(70), 295-302.
- Marks, N., Lipiec, J., Jakubowski, T. (2005). Ocena przydatności metod fizycznych do zwalczania przechowalniczych chorób bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 7(67), 169-175.
- Marks N., Jakubowski T. (2006). Wpływ promieniowania mikrofalowego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 6(81), 57-64.
- Marks, N., Szczówka, P. (2010). Wpływ stymulacji sadzeziaków zmiennym polem magnetycznym na kształt bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 5(123), 181-188.
- Marshall M., Metaxas A. (1999). Radio frequency assisted heat pump drying of crushed brick. *Applied Thermal Engineering*, 19(4), 375-388.
- Martens B., Knorr D. (1992). Development of nontemperatural processes for food preservation. *Food Technology*, 46(5), 124-130.
- Marton L., Marton C. (1980). Advances in electronics and electron physics. *Academic Press – Elsevier*, (53), 2-150.
- Metaxas A., Meredith R. (1983). Industrial microwave heating. *Peter Peregrinus, London*.
- Miller S.A. (1993). Science, law and society: the pursuit of food safety. *Journal of Nutrition*, 123, 275-279.
- Muszyński S., Gładyszewska B. (2008). Representation of He-Ne laser irradiation effect on radish seeds with selected germination indices. *International Agrophysics*, 22, 151-157.

- Nam K., Kim J., Ahn D. (2004). Far-infrared radiation increases the antioxidant properties of rice hull extract in cooked turkey meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(2), 374-379.
- Olchowik G., Dziamba S. (1994a). Wpływ promieniowania mikrofalowego na elementy struktury plonu gryki. *Mat. Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych“*, Olsztyn-Kortowo, 283-287.
- Olchowik G., Gawda H. (1994b). Wpływ promieniowania milimetrowego na energię i zdolność kiełkowania nasion Inu. *Mat. Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych“*, Olsztyn-Kortowo, 289-292.
- Olchowik G., Murkowski A. (1996a). Effects of microwave radiation on primary photosynthesis reaction in cucumber plants. *Folia Histochemica et Cytologica*, v.34, suppl.2, 41. *Abstracts of the 6th Conference on Cell Biology, 12-14 sept. 1996, Lublin, Poland*.
- Olchowik G., Dziamba S., Gawda H., Grigoriew A., Milejew W. (1996b). Sposób zwiększania zdolności kiełkowania nasion ogórków. *Patent 1686691 B1*, 22.03.1996 WUP 03/96.
- Olchowik G., Dziamba S. (1997). The influence of microwave radiation on the buckwheat yields. *6th International Conference on Agrophysics, Sept. 15-18 Lublin, Book of abstracts 2*, 289-290.
- Olchowik G., Gawda H. (2001). Uszlachetnianie materiału nasiennego za pomocą promieniowania mikrofalowego. *I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Agrolaser 2001”, Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze*, Lublin 26-28.09, 155-156.
- Olchowik G., Gawda H. (2002a). Influence of microwave radiation on germination capacity of flax seeds. *Acta Agrophysica*, 62, 63-68.
- Olchowik G. (2002b). Analiza wpływu promieniowania mikrofalowego na proces osteogenezy i osteoporozy poststeroidowej. *Rozprawa habilitacyjna. Akademia Medyczna, Lublin*.
- Pałow I., Sirakow K., Kuzmanow E., Armianow H., (2012). Rezultaty badań przedsięwzięcia obróbki elektromagnetycznej nasion fasoli. *Technika w Rolnictwie*, 2, 6-7.
- Pasek J., Pasek T., Sieroń A. (2007). Niektóre praktyczne zalecenia w stosowaniu pól magnetycznych i światła w medycynie fizykalnej. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica*, 14(4), 284-285.
- Pasek J., Pasek T., Sieroń A. (2013). Static magnetic fields in medicine - the current state of knowledge. *Journal of Ecology and Health*, 17(1), 21-26.
- Pichko V., Povalyaeva V. (1996a). Electromagnetic stimulation of microorganism productivity - possible mechanisms. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 32, 425-428.
- Pichko V., Povalyaeva V. (1996b). Microorganism productivity electromagnetic stimulation and its mechanisms. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 32, 468-472.
- Pietruszewski S. (1998). Stanowisko do przedsięwzięcia biostymulacji nasion zmiennym polem magnetycznym. *Inżynieria Rolnicza*, 2, 31-36.
- Pietruszewski S. (2000). Wpływ pola magnetycznego na plony buraka cukrowego odmian Kalwia i Polko. *Inżynieria Rolnicza*, 5, 207-214.
- Pietruszewski S. (2001). Modelowanie krzywa logistyczna kiełkowania nasion pszenicy odmiany Henika w polu magnetycznym. *Acta Agrophysica*, 58, 143-152.
- Pietruszewski S., Kornarzyński K., Gładyszewska B. (2003). Zastosowanie modelu analitycznego i symulacyjnego do opisu procesu kiełkowania nasion gryki poddanych przedsięwzięcia biostymulacji polem elektrycznym i magnetycznym. *Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria*, 2(1), 3-12.
- Pietruszewski S., Kornarzyński K., Łopucki M. (2007). Woda magnetyczna, jej niektóre właściwości fizyczne i zastosowanie. *Przegląd Telekomunikacyjny*, 53(8-9), 675-682.
- Pietruszewski S., Kania K. (2010). Effect of magnetic field on germination and yield of wheat. *International Agrophysics*, 24, 297-302.
- Pietruszewski S., Kania K. (2011). Wpływ promieniowania mikrofalowego na kinetykę kiełkowania nasion łubinu białego i grochu konsumpcyjnego. *Acta Agrophysica*, 18(1), 121-129.
- Pietruszewski S., Martínez E. (2015). Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material. *International Agrophysics*, 29, 377-389.

- Pietrzyk W. (2006). Standaryzacji badań wpływu pól elektromagnetycznych na materiały pochodzenia biologicznego. *Acta Agrophysica*, 8(4), 915-921.
- Pitman U.J. (1963). Magnetism and plant growth. Effect of germination and early growth of cereals seeds. *Journal of Plant Sciences*, 43, 513-518.
- Pitman U.J. (1965). Magnetism and plant growth. Effect of germination and early growth of corn and beans. *Journal of Plant Sciences*, 45, 549-555.
- Pitman U.J. (1967). Biomagnetic responses in Kharkov 22 MC winter wheat. *Journal of Plant Sciences*, 47, 389-393. 38.
- Pitman U.J., Ormrod D.P. (1970). Physiological and chemical features of magnetically treated winter wheat seed and resultant seedling. *Journal of Plant Sciences*, 50, 211-217.
- Pitman U.J., Ormrod D.P. (1971). Biomagnetic responses in germinating barley. *Journal of Plant Sciences*, 51, 64-65.
- Pitman U.J., Carefoot J.M., Ormrod D.P. (1979). Effect of magnetic seed treatment on amylolytic activity of quiescent and germinating barley and wheat. *Journal of Plant Sciences*, 59, 1007-1011.
- Purcell E.M. (1974). Elektryczność i magnetyzm. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Rahimi M., Bahrani A. (2011). Influence of gamma irradiation on some physiological characteristics and grain protein in wheat (*Triticum aestivum* L.). *World Applied Sciences Journal*, 15(5), 654-659.
- Rosen A. D. (2010). Studies on the effect of static magnetic fields on biological systems. *Piers Online*, 6, 133-136.
- Sawicka B., Dolatowski Z. (2007). Zmienność ciemnienia miąższu bulw nowych odmian ziemniaka pod działaniem ultradźwięków. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 517, 639-649.
- Sawicka B., Pszczółkowski P. (2012). Wpływ ultradźwięków na cechy fizykochemiczne odmian ziemniaka. *Ziemniak jako produkt żywnościowy, surowiec przemysłowy i pasza. Konf. nauk. Jęgowice, 8-10.05.2012. UP Wrocław*, 77.
- Siarkowski Z., Lebedowicz W., Maciejewski M. (2005). Metoda doboru pod względem energetycznym maszyn i urządzeń w produkcji zbóż paszowych. *Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, Motrol, Lublin*, 7, 119-123.
- Szarycz M. (2001). Matematyczne modelowanie mikrofalowo-konwekcyjnego suszenia surowców rolniczych na przykładzie jabłek. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 420, Rozprawy CLXXXIII*, 14-15.
- Szarycz M., Kramkowski R., Kamiński E. (2002). Zastosowanie mikrofal do suszenia produktów spożywczych. Cz. II. Konsekwencje sterowania mocą mikrofal. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 55-63.
- Szorc J., Korpál W., Weiner W., Ringel T. (1996). Badania i urządzenia pozwalające ustalić wpływ stymulacji elektrycznej na poprawę jakości bulw ziemniaczanych. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 425, 241-248.
- Szóstka J. (2006). Mikrofałe. *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności*. Warszawa.
- Twardowski J. (1990). Biospektroskopia. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.
- Wachowicz, E. (2007). Problemy modelowania procesów w przechowalni ziemniaków. *Inżynieria Rolnicza*, 9(97), 261-268.
- Wachowicz E. (2011). Nowoczesne algorytmy sterowania mikroklimatem w przechowalniach. *Acta Agrophysica*, 17(2), 395-404.
- Weeb S.J. (1983). Nutrition coherent oscillations and solitary waves - the control of in vivo events in time and space and relationship to disease. *International Research Communications System - Journal of Medical Science*, 11, 483-488.
- Wójcik S., Dziamba M., Pietruszewski S. (2004). Wpływ promieniowania mikrofalowego na plonowanie i jakość technologiczną korzeni buraka cukrowego. *Acta Agrophysica*, 3(3), 623-630.
- Wójcik, S. (2006). Plonowanie i jakość technologiczna korzeni buraka cukrowego w zależności od stymulacji nasion. *Inżynieria Rolnicza*, 6(81), 383-388.

Wu J., Lin L. (2002). Elicitor – like effects of low – energy ultrasound on plant cells: induction of plant defense responses and secondary metabolite production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59, 51-57.

Wu J. (2007). Shear stress in cells generated by ultrasound. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93, 363-373.

Yusupov R., Yusupova G., (2004). Disinfection of grain by electromagnetic field energy. *Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Motrol*, 6, 289-295.

Zhadin M. N. (2001). Review of Russian literature on biological action of DC and low-frequency AC magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 22, 27-45.

Ziaja J., Ozimek M. (2010). Optical emission spectroscopy of pulsed magnetron sputtering plasma. *Twelfth International Conference on Plasma Surface Engineering*, 22-24.

Zimmerman U. (1986). Electrical breakdown, electroporation and electrofusion. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, 105, 176-256.

Zmyślony M. (2006). Biofizyczne mechanizmy działania pól elektromagnetycznych a skutki zdrowotne. *Medycyna Pracy*, 57(1), 29-39.

4. PODSTAWOWE WYTYCZNE DLA PROJEKTOWANIA PRZECHOWALNI ZIEMNIAKA

Podstawowym zadaniem nowoczesnych obiektów przechowalniczych jest utrzymanie przechowywanych płodów rolnych w stanie możliwie najmniej zmienionym przez jak najdłuższy czas. Tylko specjalistyczne obiekty budowlane przeznaczone do przechowywania produktów rolniczych są w stanie zapewnić odpowiednie zachowanie: wartości odżywczych, walorów smakowych i estetycznego wyglądu produktów. Ważny jest mikroklimat wytworzony i utrzymywany w obiektach tj. odpowiednia temperatura, wilgotność oraz hermetyczność i utrzymywanie odpowiedniego składu gazów atmosfery wewnątrz pomieszczeń obiektu przechowalniczego. Wielu autorów (Lange, 1989, Tarnowski i Bartkiewicz, 2000, Wachowicz i Grudziński, 2009, Baranowski 2008) podaje, że podczas magazynowania płodów rolnych w przechowalni konieczne jest zapewnienie wymaganego, ściśle określonego przez technologów mikroklimatu. W tym celu w przechowalni instaluje się m.in. układy sterowania temperaturą płodów rolnych oraz wilgotnością względną powietrza wewnątrz przechowalni. Proces projektowania układów sterowania mikroklimatem w przechowalni może być wspomagany komputerowo. Konieczna jest wówczas znajomość komputerowego modelu projektowanego układu.

Chęć sprostania rosnącym wymaganiom konsumentów odnośnie jakości magazynowanych owoców, warzyw lub ziemniaków oraz potrzeba obniżenia kosztów eksploatacyjnych budynku przechowalni powodują, że właściciele przechowalni wyposażają te budynki w urządzenia wentylacji i klimatyzacji oraz układy automatyki. Automatyzacja procesów przechowalniczych daje tym samym możliwość podniesienia konkurencyjności rynkowej firmy. Zadaniem układów sterowania jest bowiem zapewnienie wymaganego, ściśle określonego przez technologów mikroklimatu wewnątrz komór magazynowych. Jeśli wymogi te zostaną spełnione, wówczas straty technologiczne magazynowanych owoców, warzyw lub ziemniaków są niskie i zachowana zostaje ich jakość. Aktualnie stosowane algorytmy sterowania mikroklimatem nie w pełni realizują wymogi technologiczne, dlatego należy nada udoskonalać te algorytmy aby w pełni optymalizowały pracę obiektów przechowalniczych (Wachowicz, 2011).

Obiekty budowlane przeznaczone na przechowywanie płodów rolnych z jednej strony muszą zapewnić odpowiednie warunki konieczne do przechowywania produktów rolniczych, a z drugiej strony powinny być tak wykonane aby można było realizować załadunek i wyładunek przechowalni za pomocą środków technicznych oraz umożliwiać czynności przygotowania surowca do przechowania i przygotowanie do sprzedaży. Z tego wynikają wymagania, jakie powinny zostać spełnione aby budynek technicznie i funkcjonalnie był przystosowany do przechowywania płodów rolnych.

Różne rozwiązania technologicznego ciągu przechowywania wpływają na zakres wstępnej i końcowej obróbki surowca. W obiektach przechowalniczych zauważa się wyraźne uzależnienie formy architektonicznej, rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych i instalacyjnych od realizowanych w obiekcie procesów technologii przechowywania. W procesie realizacji wykonywania obiektu przechowalniczego rodzaj oraz system przechowywania płodów rolnych ma znaczący wpływ na typ konstrukcji obiektu (Chądryński i Piróg, 2013).

Przechowywanie warzyw i owoców w tradycyjnych przechowalniach wiąże się z dużymi stratami przechowalniczymi, a okres przechowalniczy w tego typu obiektach jest znacznie krótszy niż w chłodniach. Badania mikroklimatu w przechowalniach zagłębionych obaloty panujący w latach 70. pogląd, że w warunkach klimatycznych Polski południowej przechowalnie tradycyjne stwarzają wystarczająco dobre warunki do przechowywania owoców i warzyw (Bieda i in., 2001). Tradycyjne przechowalnie jako obiekty wykonane pod powierzchnią terenu spełniają jedynie wymagania zabezpieczenia warzyw i owoców przed przemarzeniem. Z gruntu zalegającego pod posadzką występuje silna emisja ciepła, która dominuje w gospodarce energetycznej komór przechowalniczych i wpływa na zawyżenie temperatur w stosunku do wymaganych przez współczesne odmiany warzyw i owoców (Nawalany i Bieda, 2002).

Kolejnym kierunkiem poprawy zasobów przechowalniczych, obok modernizacji istniejącej bazy przechowalniczej, jest budowa nowych wielko-przestrzennych obiektów. W tego typu przechowalniach, w których istnieje od kilku do kilkunastu komór przechowalniczych można przechowywać zarówno owoce, jak również warzywa. Są to najczęściej budynki halowe jedno lub wielonawowe o konstrukcji szkieletowej. Obecnie najbardziej uniwersalne są przechowalnie i chłodnie komorowe, które składają się z określonej liczby oddzielonych od siebie i od innych pomieszczeń komór oraz powierzchni: obróbczej, wentylacyjnej komunikacyjnej, socjalno technicznej, administracyjnej a także przyjęciowo-ekspedycyjnej. Komory są obudowane systemem szczelnych przegród o odpowiednio o odpowiedniej izolacyjności termicznej. Tak rozwiązany obiekt umożliwia równoczesne przechowywanie w jednym budynku gatunków i odmian o różnych wymaganiach klimatycznych (Nawalany i in., 2014).

Dostarczane przez producentów surowce roślinne cechuje duża, naturalna podatność na ciągłe przemiany wywoływane procesami życiowymi. Potrzeba wydłużania okresu przydatności do spożycia świeżych owoców, warzyw i ziemniaków wynika z sezonowych wahań podaży, wobec względnie stałego poziomu ich spożycia w ciągu roku (Adamicki, 1997). Niektóre współcześnie stosowane techniki utrwalania surowców roślinnych, a do takich zaliczyć można przechowywanie, pozwalają na kontrolowane regulowanie przemian zachodzących w ziemniokach. Tym samym umożliwiają spowolnienie procesu dojrzewania i psucia się produktów roślinnych (Gruda i Postolski, 1999).

W celu stworzenia właściwych warunków dla realizacji procesu przechowywania i osiągania zadowalających efektów konieczne jest nowoczesne zaplecze techniczne, do którego należą między innymi obiekty przechowalnicze różnicowane pod wzglę-

dem: wielkości, typu użytkowego i wyposażenia w technologiczne zastawy maszyn i urządzeń. Program użytkowy przechowalni, ich układ funkcjonalno-przestrzenny i mikroklimat przestrzeni składowej są ściśle uwarunkowane technologią procesu przechowywania. Inwestowanie w przechowalnictwo wymaga bardzo dużych nakładów finansowych. Obecnie kosztowny jest sam budynek i jego nowoczesne wyposażenie techniczne i technologiczne. Indywidualnego producenta najczęściej nie będzie stać na samodzielne ponoszenie takich wydatków. Budowa nowoczesnych chłodni możliwa jest np. w dużych wysokotowarowych gospodarstwach specjalistycznych. Większości producentów prawdopodobnie bardziej będzie się obecnie opłacało zostać członkami grup producenckich – współwłaścicielami lub użytkownikami jednej dużej zespołowo budowanej i eksploatowanej chłodni, wyposażonej w nowoczesne linie technologiczne do uszlachetniania ziemioplodów (Lange, 1994).

Do obiektów budowlanych o kontrolowanej atmosferze należą głównie te, w których produkuje się, przetwarza lub magazynuje artykuły spożywcze. W opracowaniu zostaną scharakteryzowane te, które służą do magazynowania i przechowywania płodów roślinnych oraz ryb, mięsa i jego przetworów.

Przechowalnie

Przechowalnie można zdefiniować jako chłodnie, czyli obiekty o temperaturze wewnętrznej pomiędzy 0°C a 10°C, gdzie dodatkowo utrzymywany jest odpowiedni poziom wilgotności powietrza i odpowiedni skład gazowy powietrza. Przechowalnie są głównie obiektami do krótko- i długoterminowego przechowywania owoców i warzyw przeznaczonych przede wszystkim do spożycia.

Panujące w nich warunki wilgotnościowe i odpowiedni skład gazowy powietrza (chodzi tu o obniżenie zawartości tlenu) mają za zadanie maksymalnie opóźnić proces dojrzewania owoców i warzyw lub, jak w przypadku ziemniaków czy marchwi, podtrzymać maksymalnie długo świeżość.

Należy tutaj zaznaczyć, że każdy z gatunków owoców i warzyw ma swoje indywidualne warunki przechowywania. Stąd też, oprócz sprawnie działającej obudowy przechowalni, kluczową rolę spełniają systemy podtrzymujące wilgotność i skład gazowy atmosfery. W literaturze fachowej ten typ obiektów często jest określany jako obiekty ULO – „Ultra Low Oxygen” – lub żargonowo jako komory gazoszczelne.

Chłodnie

Ten typ obiektów charakteryzuje temperatura wewnętrzna, która jest utrzymywana w przedziale od 0°C do 10°C. Ten typ obiektu ma naturalną atmosferę wewnętrzną i w większości wypadków służy do krótkoterminowego przechowywania produktów spożywczych. Bardzo często chłodnie są obiektami dystrybucji i sortowania wszelkiego asortymentu artykułów spożywczych.

Mrożnie

Jak sama nazwa sugeruje, są to obiekty, w których temperatura wewnętrzna utrzymywana jest poniżej 0°C. W tego typu obiektach nie występują dodatkowe uwarunkowania związane ze składem mieszanki gazowej. Produkty przechowywane są w naturalnej atmosferze.

W zależności od poziomu temperatury wewnętrznej można wydzielić typy mroźni o temperaturze:

- poniżej -25°C – są to obiekty do długoterminowego przechowywania mięsa, ryb, owoców i wstępnie obrobionych artykułów spożywczych (np. lodów, kotletów itp.),
- ok. -18°C – są to obiekty do krótkoterminowego przechowywania mięsa i wstępnie obrobionych artykułów spożywczych,
- od 0°C do -10°C – są to obiekty do przechowywania świeżego mięsa (do dalszej przeróbki), wstępnego schładzania mięsa oraz do długoterminowego przechowywania owoców i warzyw nieprzetworzonych (Bittles, 2008).

Obiekty o atmosferze kontrolowanej w podstawowym zakresie podlegają ogólnym przepisom Prawa budowlanego oraz rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki, obiekty rolnicze i ich usytuowanie (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r.).

4.1. Typy konstrukcji obiektów przechowalniczych

Konstrukcja obiektu budowlanego jest to uporządkowany zespół elementów połączonych ze sobą w sposób umożliwiający ich współpracę w przenoszeniu obciążeń i nazywany jest ustrojem konstrukcyjnym (rama, kratownica, fundament szkielet konstrukcji, ściana, strop, dach) (PN-ISO 6707-1).

Układem konstrukcji obiektu budowlanego nazywamy schemat jego konstrukcji określający sposób usytuowania elementów i ustrojów oraz ich wzajemne powiązanie i funkcje. Analizując schematy konstrukcji obiektów przechowalniczych, wyodrębnić można trzy typy konstrukcji. Pierwszy typ to konstrukcja szkieletowa, składająca się z przestrzennego układu słupów i płyt (szkielet słupowo-płytowy) lub słupów i belek (szkielet słupowo-belkowy). Drugi typ konstrukcji to ścianowa złożona z tradycyjnych przegród budowlanych i stropów. Trzeci typ stanowi konstrukcja mieszana szkieletowo-murowa, złożona ze ścian i szkieletu słupowo-płytowego.

Konstrukcje szkieletowe w budynkowych przechowalniczych są to systemy szkieletowe-stalowe, a także żelbetowe. Wśród szkieletów żelbetowych występują rozwiązania: monolityczne, prefabrykowane i zespolone technologie lekkiego szkieletu stalowego. Obecnie powszechnie jest stosowana w komarach przechowalniczych i chłodniczych. Producenci oferują wiele gotowych rozwiązań obiektów w tej technologii.

Konstrukcja budynków halowych w układzie jedno- lub wielonawowym składa się z siatki słupów rozmieszczonych w osiach podziału budynku na nawy (osie podłużne) i osiach poprzecznych. Wzdłuż osi poprzecznych umieszczone są elementy poziome, stanowiące podporę konstrukcji dachu. Mogą to być np. więzary kratowe, blachownice, dźwigary żelbetowe itp. Elementy, przenoszące obciążenie na słupy. Elementy poziome i słupy mogą także stanowić jeden element nośny – tzw. ramę. Obciążenia związane z parciem wiatru w takich konstrukcjach przenoszone są przez układ stężeń (elementy łączące sąsiednie słupy lub więzary w układ przestrzenny), które jednocześnie zapewniają stateczność konstrukcji budynku. W budynkach halowych spotkać można rozwiązanie konstrukcji dachu, jako pokrycie cienkościenne łupinami o przekroju walca oparte na podciągach (belkach poziomych o dużych przekrojach poprzecznych), umieszczonych wzdłuż osi podłużnych hali.

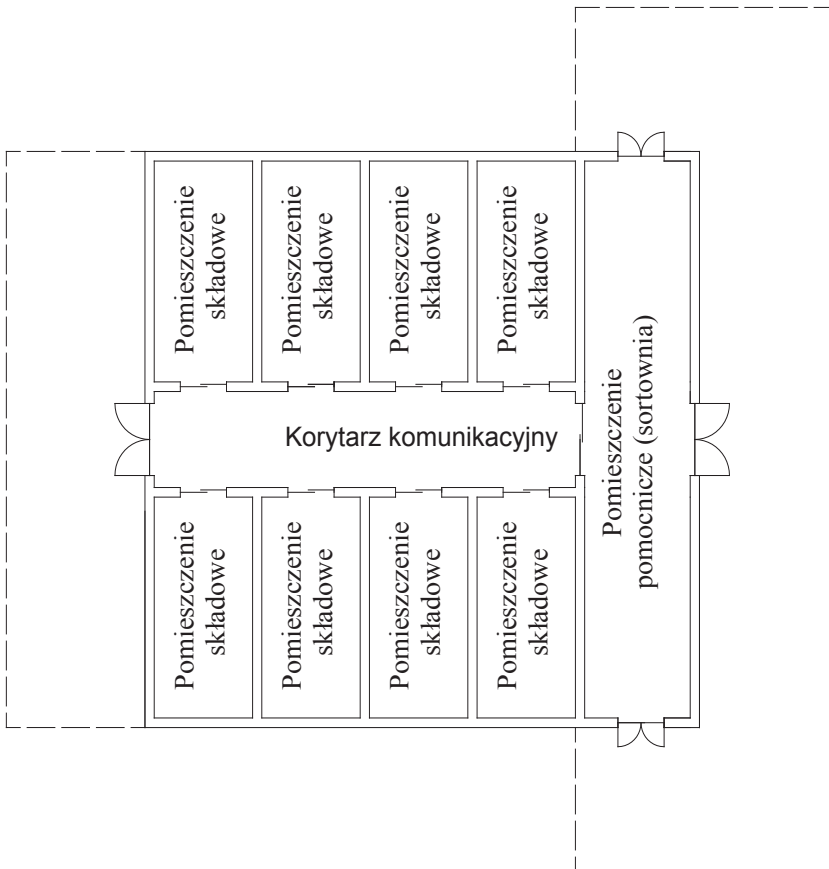
Na rysunkach od 62 do 66 przedstawiono typowe rozwiązania funkcjonalno-przestrzenne poglądowych halowych obiektów przechowalniczych płodów rolnych. Przedstawione na rysunkach pomieszczenia składowe odnoszą się do komór z regulowaną atmosferą oraz do pomieszczeń gdzie jest utrzymywana odpowiednia temperatura. Rysunek 62 przedstawia trójnawową halę. Do przechowania produktów rolniczych w tym obiekcie służą dwa rzędy pomieszczeń składowych, przylegających z obydwu stron do centralnie usytuowanego korytarza manipulacyjnego, bardzo często zamykanego na końcach przedsionkami.



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 62. Typ funkcjonalny przestrzenny hali trójnawowej

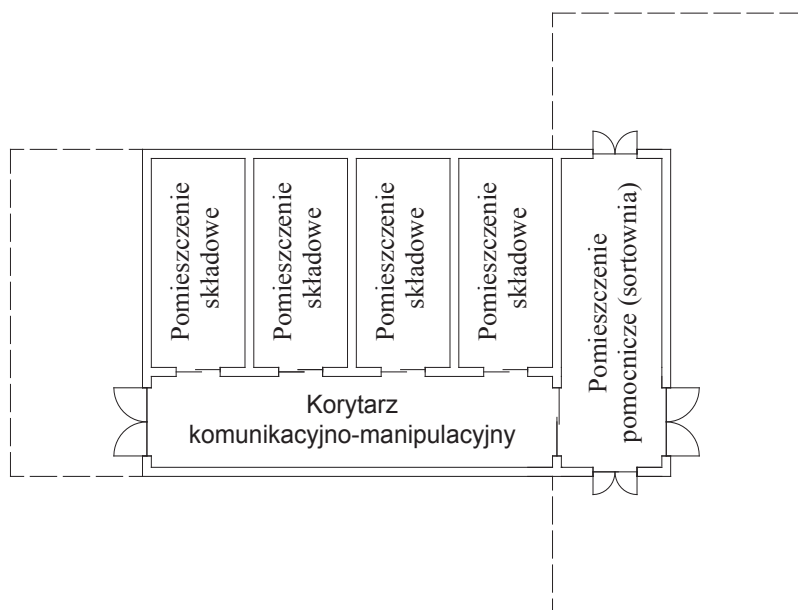
Na rysunku 63 został przedstawiony obiekt przechowalniczy o funkcji będącej rozbudową trójnawowej hali. W tym obiekcie dwa zespoły pomieszczeń składowych zostały rozmieszczone po obydwu stronach środkowego korytarza komunikacyjnego. W szczycie obiektu zostało wykonane pomieszczenie pomocnicze w postaci sortowni.



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 63. Typ funkcjonalno-przestrzenny hali trójnawowej ze szczytowym pomieszczeniem pomocniczym (sortownią)

Przedstawiony na rysunku 64 obiekt przechowalniczy posiada układ funkcjonalno-przestrzenny z pomieszczeniami składowymi sytuowanymi tylko po jednej stronie korytarza komunikacyjno-manipulacyjnego i sortownią usytuowaną od czoła komór.

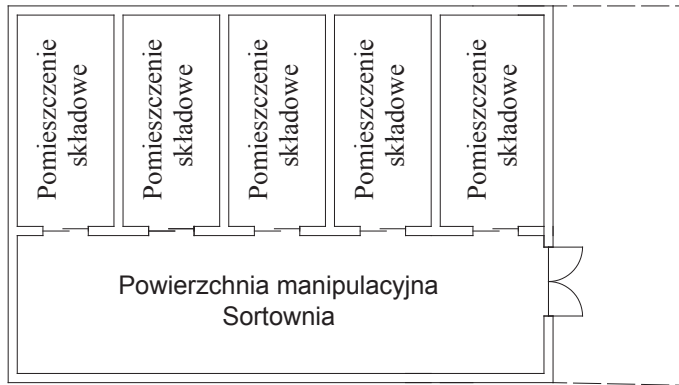


Źródło: opracowanie własne

Rysunek 64. Typ funkcjonalno-przestrzenny hali z pomieszczeniami składowymi po jednej stronie korytarza komunikacyjnego i sortownią usytuowaną czołowo

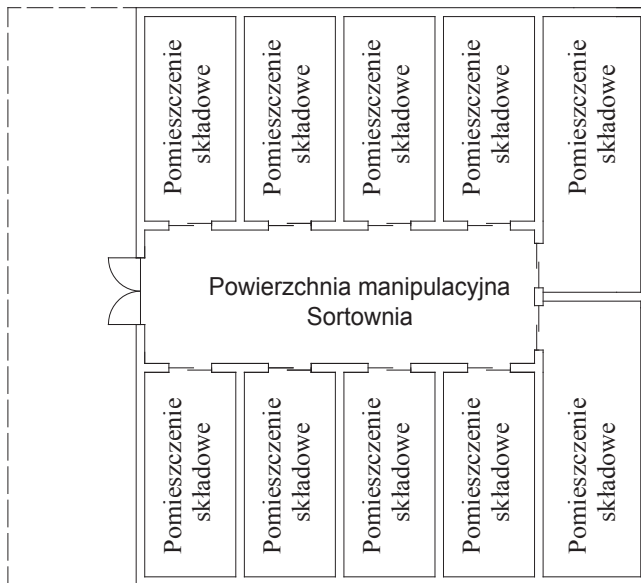
Obiekt przechowalniczy gdzie pomieszczenia składowe są rozmieszczone czołowo do powierzchni manipulacyjnej – sortowni został przedstawiony na rysunku 65. Obiekt ten nie posiada korytarza komunikacyjnego lecz powierzchnię z sortownią prostopadłe rozmieszczoną do pomieszczeń przechowalniczych.

Obiekt przechowalniczy produktów rolnych z centralnie umieszczoną powierzchnią manipulacyjno-sortowniczą został przedstawiony na rysunku 66. Jest to typ funkcjonalny obiektu, gdzie przestrzeń manipulacyjna znajduje się w części centralnej obudowana po obwodzie pomieszczeniami składowymi. Ten typ funkcjonalno-użytkowy dobiera się do bardzo dużych obiektów przechowalniczych, w których bardzo duża liczba pomieszczeń składowych przylega do sortowni i powierzchni manipulacyjnej. Wybór odpowiedniego typu funkcjonalno-użytkowego przechowalni do rodzaju i sposobu przechowywania produktów rolnych jest bardzo ważny i wpływa na wielkość strat ponoszonych w procesie przechowywania.



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 65. Typ funkcjonalno-przestrzenny hali z pomieszczeniami składowymi i powierzchnią manipulacyjną usytuowaną prostopadłe do komór



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 66. Typ funkcjonalno-przestrzenny hali z centralnie usytuowaną przestrzenią manipulacyjną

Nową grupą obiektów przechowalniczych są przechowalnie i chłodnie komorowe. W chłodniach z normalną i kontrolowaną atmosferą występuje obecnie tylko jeden rodzaj pomieszczenia składowego. Jest to komora. Służy ona do składowania ziemio-
płodów luzem i w jednostkach ładunkowych (skrzynio palety, skrzynki umieszczane na palecie płaskiej). Jest w pełni oddzielona systemem termoizolujących przegród budowlanych od innych pomieszczeń obiektu (Chądzynski i Piróg, 2013) Pozwalają one na wielowariantowe wykorzystywanie powierzchni i kubatury obiektu oraz właściwe rozmieszczenie w przestrzeni produkcyjnej ciągów technologicznych i systemów regulujących mikroklimat powierzchni składowych (Adamicki, 1997b).

4.2. Materiały stosowane na przegrody budowlane obiektów przechowalniczych

Każda z przegród budowlanych charakteryzuje się określonymi właściwościami izolacyjnymi. Miarą tych właściwości jest współczynnik przenikania ciepła U ($W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$), który stanowi odwrotność oporu przenikania ciepła. W celu ochrony budynku przed utratą wewnętrznego ciepła (poprzez jego wymianę z ośrodkiem o wyższej do ośrodka o niższej temperaturze) wykonuje się zabiegi termomodernizacyjne. Najpopularniejsze działania to wykonanie izolacji cieplnej – inaczej zwanej termiczną (Rutkowska i in., 2013). Za materiał izolacyjny przyjmuje się warstwy o oporze cieplnym co najmniej $2,0 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ (PN-EN ISO 354:2003). Do ocieplania metodą bezspoinową systemu ocieplania (BSO) używa się styropianu EPS 70 lub EPS 100. Stosuje się także wełnę mineralną w dwóch odmianach: płyty fasadowe (wym. 1200 mm x 600 mm lub 1000 mm x 500 mm) o układzie włókien równoległym do powierzchni płyty i strukturze zaburzonej oraz wełną lamelową (wym. 1200 mm x 20 mm) o układzie włókien prostopadłym do powierzchni płyty.

Przepływ ciepła w materiale determinowany jest jego właściwościami cieplnymi oraz innymi właściwościami fizycznymi tego obiektu, tj. rozmiarem, kształtem, masą, objętością, strukturą wewnętrzną, grubością, barwą, gęstością, wilgotnością, etc. (Baranowski, 2008; Malinowski i in., 2012). Jeżeli wewnątrz badanego obiektu (materiału) występują niejednorodności właściwości cieplnych, a więc zróżnicowanie przenikania ciepła do wnętrza, możliwe jest otrzymanie na jego powierzchni śladów termalnych tych niejednorodności, a w konsekwencji kontrastów termalnych między strukturą nienaruszoną materiału i zaburzeniem (Baranowski, 2008). Do ich wykrywania stosowane są kamery termograficzne.

Wybierając rodzaj systemu dociepleń trzeba uwzględnić kilka kryteriów. W pierwszej kolejności należy wziąć pod uwagę konstrukcję budynku i technologię budowy (Malinowski i Sikora, 2013).

4.3. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe

Podstawowym elementem obliczeń ciepłno-wilgotnościowych jest wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła dla przegród budowlanych. Podczas projektowania obiektów przechowalniczych należy wyznaczyć dla przegród zewnętrznych współczynnik przenikania ciepła. Podstawowe wymagania prawne dotyczą izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii zawiera rozporządzenie w sprawie warunków technicznych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002). Wartość współczynnika przenikania ciepła U ($\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$) ścian, stropów i stropodachów nie może być większa niż U_{max} dla przegród zewnętrznych.

Ustawa, obowiązująca od 1 stycznia 2009 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku, stanowiącego samodzielną całość techniczno – użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej przy obliczaniu zapotrzebowania na energię końcową wymagane jest wyliczenia skorygowanego współczynnika przenikania ciepła U_c . Skorygowany współczynnik przenikania ciepła uwzględniający nieszczelności w warstwie izolacyjnej oraz obecność łączników mechanicznych przebijających warstwę izolacyjną wyznacza się z formuły (18), w której ΔU to współczynnik korekty wyznaczony jako suma poprawek z uwagi na nieszczelność, łączniki mechaniczne oraz opady atmosferyczne (Schabowicz i Gorzelańczyk, 2009):

$$U_c = U + \Delta U \quad (18)$$

Współczynnik przenikania ciepła U określa się ze wzoru (19):

$$U = \frac{1}{R_{T,h}} \quad (19)$$

w którym $R_{T,h}$ to całkowity opór cieplny przegrody jako suma oporów wszystkich warstw przegrody, ΔU współczynnik korekty wyznaczony jako suma poprawek z uwagi na nieszczelność, łączniki mechaniczne oraz opady atmosferyczne (Schabowicz, Gorzelańczyk, 2009). Izolacyjność cieplna przegród i podłóg na gruncie w zależności od typu obiektu budowlanego jest określona w Polskich Normach (PN-EN ISO 354:2003).

Całkowity opór cieplny przegrody wyznacza się na podstawie zależności (20):

$$R_{T,h} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_n + R_{se} \quad (20)$$

gdzie:

- R_{si} – opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody budowlanej, ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)
- $R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ obliczeniowe opory ciepła każdej warstwy przegrody budowlanej ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$),
- R_{se} – opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody budowlanej, ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

Tabela 21. Wartości przejmowania ciepła dla warunków uśrednionych

Opór przejmowania ciepła	Kierunki strumienia ciepła		
	w górę	poziomy	w dół
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:2008

Opór cieplny warstwy przegrody budowlanej określamy na podstawie zależności (21):

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (21)$$

gdzie:

- d_i – grubość warstwy przegrody budowlanej, (m)
- λ_i – współczynnik przewodzenia ciepła materiału warstwy przegrody budowlanej, ($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$)

Współczynnik korekty przenikania ciepła przez przegrodę budowlaną Δ_U wyznacza się z zależności (22):

$$\Delta_U = \Delta_{Ug} + \Delta_{Uf} + \Delta_{Ur} \quad (22)$$

gdzie:

- Δ_{Ug} – korekta z uwagi na nieszczelności w warstwie przegrody budowlanej, ($\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$)
- Δ_{Uf} – korekta odnosząca się do łączników mechanicznych warstw przegrody budowlanej, ($\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$)
- Δ_{Ur} – korekta z uwagi na opady atmosferyczne odnosząca się do przegród poziomych, ($\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$)

Obliczenie korekty na nieszczelności warstwy przegrody budowlanej prowadzi się wg wzoru (23):

$$\Delta_U = \Delta_{U''} \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \quad (23)$$

gdzie:

- R_l – opór warstwy przegrody budowlanej zawierającej nieszczelności, ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)
- $R_{T,h}$ – całkowity opór cieplny przegrody, ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)
- $\Delta_{U''}$ – poprawka zależna od stopnia i usytuowania nieszczelności, ($\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$)

Tabela 22. Wartości poprawek na nie szczelność warstwy przegrody budowlanej $\Delta U''$

Poziom	$\Delta U''$ ($W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$)	Opis nie szczelności
0	0,00	Izolacja jest tak ułożona, że nie jest możliwa cyrkulacja powietrza po cieplejszej stronie izolacji. Brak nie szczelności przechodzącej przez całą warstwę izolacji.
1	0,01	Izolacja jest tak ułożona, że nie jest możliwa cyrkulacja powietrza po cieplejszej stronie izolacji. Nie szczelności mogą przechodzić przez całą warstwę izolacji.
2	0,04	Występuje ryzyko cyrkulacji powietrza po cieplejszej stronie. Nie szczelności mogą przechodzić przez całą warstwę izolacji.

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:2008

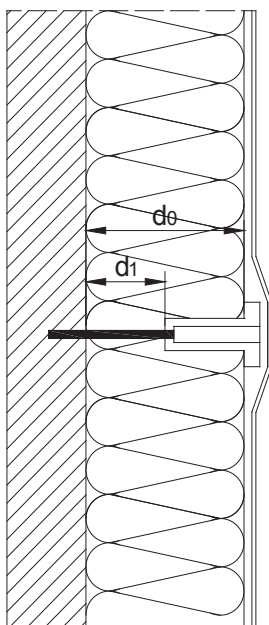
Wyznaczanie poprawki z uwagi na łączniki mechaniczne w przypadku, gdy łącznik mechaniczny przebiega izolację prowadzi się wg wzoru (24):

$$\Delta_f = \alpha \frac{\lambda_f \cdot n_f \cdot A_f}{d_o} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{T,f}} \right)^2 \quad (24)$$

gdzie:

współczynnik α przyjmuje następujące wartości:

- α – 0,8 kiedy łącznik przechodzi całkowicie przez warstwę izolacji
- α – $\frac{d_1}{d_o}$ kiedy trzpień łącznika nie przechodzi w całości przez warstwę izolacji (rys. 67)
- λ_f – współczynnik przewodzenia ciepła łącznika, dla stali - $58 (W \cdot (m \cdot K)^{-1})$
- n_f – liczba łączników na $1 m^2$ przegrody budowlanej, (-)
- A_f – pole przekroju łącznika, (m^2)
- d_o – grubość warstw izolacji, w której znajduje się łącznik, (m)
- d_1 – długość łącznika, która przechodzi przez warstwę izolacji, (m)
- R_1 – opór warstwy przegrody budowlanej zawierającej nie szczelności, ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
- $R_{T,h}$ – całkowity opór cieplny przegrody, ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)



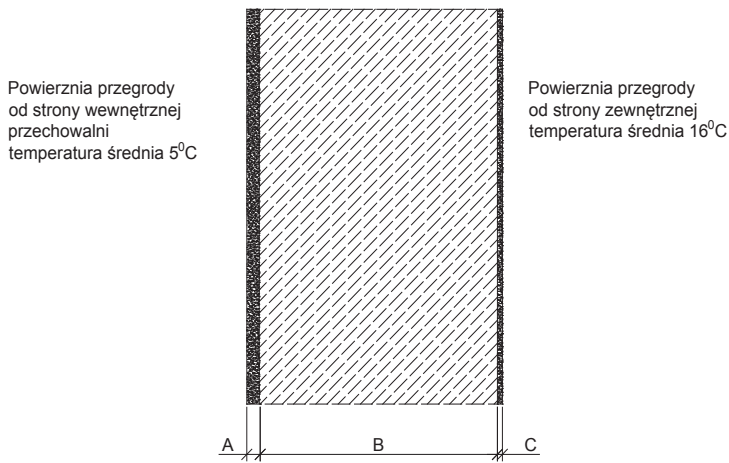
Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:2008

Rysunek 67. Ułożenie łącznika mechanicznego w przegrodzie na podstawie PN-EN ISO 6946:2008

Poprawki Δ_{uf} nie wprowadza się, gdy obydwie końce łącznika stykają się z blachami metalowymi oraz gdy kotwy ścienne przechodzą przez pustą szczelinę oraz gdy znajdują się między warstwami muru lub drewnianymi słupami i gdy współczynnik przewodzenia ciepła łącznika jest mniejszy od $1,0 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$.

Analiza cieplno-wilgotnościowa przegrody budowlanej jednowarstwowej w budynkach przechowalniczych o konstrukcji szkieletowej żelbetowej monolitycznej z wypełnieniem szkieletu blokami betonu komórkowego klasy „600”.

Przekrój przez przegrodę budowlaną pokazuje układ warstw w miejscach wypełnienia szkieletu betonem komórkowym (rys. 68). W tabeli 23 zestawiono współczynniki właściwości termiczne warstw przegrody.



Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Rysunek 68. Przekrój przez przegrodę budowlaną jednowarstwową wypełniającą szkielet konstrukcji żelbetowej

Tabela 23. Zestawienie współczynników określających przewodność cieplną warstw przegrody budowlanej

Lp.	Warstwa w przegrodzie budowlanej	Grubość d (m)	Współczynnika przenikania ciepła λ ($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$)
A	Tynk tradycyjny cementowo-wapienny	0,025	0,82
B	Beton komórkowy klasy 600	0,480	0,30
C	Tynk cienkowarstwowy silikatowy	0,010	0,82

Źródło: opracowane własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Obliczenia przenikania ciepła dla kierunku strumienia cieplnego poziomego przedstawia wzór (25):

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (25)$$

gdzie:

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_1} = 0,13 (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1})$$

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} = 0,04 (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1})$$

$\alpha_1 = 8,1$ (współczynnik przejmowania ciepła przez przegrodę budowlaną),

$\alpha_e = 23$ (współczynnik oddawania ciepła przez przegrodę budowlaną).

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_A}{\lambda_A} + \frac{d_B}{\lambda_B} + \frac{d_C}{\lambda_C} + \frac{1}{\alpha_e} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (26)$$

$$R_T = \frac{1}{8,1} + \frac{0,025}{0,82} + \frac{0,480}{0,30} + \frac{0,010}{0,82} + \frac{1}{23} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (27)$$

$$R_T = 0,13 + 0,03 + 1,6 + 0,25 + 0,01 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (28)$$

$$R_T = 1,81 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (29)$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,55 \quad [\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}] \quad (30)$$

Przegroda budowlana nie spełnia wymagań cieplno-wilgotnościowych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. gdzie został podany współczynnik przenikania ciepła U_{max} poniżej $0,3 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ i powinna być docieplona warstwą izolacyjną.

Na podstawie wieloletnich badań empirycznych i obserwacji funkcjonowania tego typu obiektów przyjęto minimalną grubość izolacji termicznej w taki sposób, aby strumień ciepła powodowany różnicą temperatur na przegrodzie nie był większy niż $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (Bittles, 2008). W praktyce sprowadza się to do zależności (31):

$$Q = (\Delta T) \cdot U < 10 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (31)$$

gdzie:

- Q – strumień ciepła przechodzący przez przegrodę, $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$
- ΔT – różnica temperatur pomiędzy powierzchniami izolacji, $(^\circ\text{C})$
- U – współczynnik przenikania ciepła warstwy izolacyjnej o grubości, $d \quad (\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1})$

Wyznaczając minimalną grubość warstwy izolacyjnej korzystamy z zależności (32):

$$d_{min} > \frac{\Delta T \cdot \lambda}{10} \quad (\text{m}) \quad (32)$$

gdzie:

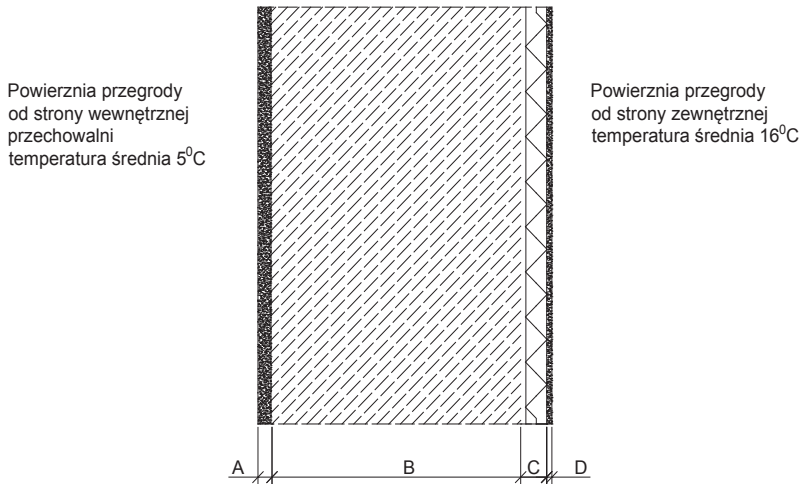
- ΔT = $16^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} = 11^\circ\text{C}$
- λ – współczynnik przewodzenia ciepła dla styropianu = $0,045 \quad (\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1})$

$$d_{min} > \frac{11 \cdot 0,045}{10} \quad (\text{m}) \quad (33)$$

$$d_{min} > 0,049 \quad (\text{m}) \quad (34)$$

Należy dobrać warstwę izolacji termicznej o grubość co najmniej 0,05 m i wykonać rozkład temperatur w przegrodzie budowlanej wielowarstwowej.

Przekrój przez przegrodę budowlaną pokazuje układ warstw w miejscach wypełnienia szkieletu betonem komórkowym (rys. 69) z uwzględnieniem dodatkowej warstwy izolacyjnej o grubości 0,05 m. W tabeli 24 zestawiono współczynniki własności termicznych warstw przegrody.



Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Rysunek 69. Przekrój przez przegrodę budowlaną z dodaną warstwą izolacji termicznej wypełniającą szkielet konstrukcji żelbetowej

Tabela 24. Zestawienie współczynników określających przewodność cieplną warstw przegrody budowlanej

Lp.	Warstwa w przegrodzie budowlanej	Grubość d (m)	Współczynniku przewodzenia ciepła λ ($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$)
A	Tynk tradycyjny cementowo-wapienny	0,025	0,820
B	Beton komórkowy klasy 600	0,480	0,300
C	Styropian	0,050	0,045
D	Tynk cienkowarstwowy silikatowy	0,010	0,820

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Obliczenia przenikania ciepła dla kierunku strumienia cieplnego poziomego prowadzi się wg zależności (35):

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (35)$$

gdzie:

$$R_{si} = \frac{1}{8,1} = 0,13 \text{ [m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{]}$$

$$R_{se} = \frac{1}{23} = 0,04 \text{ [m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{]}$$

$\alpha_1 = 8,1$ (współczynnik przejmowania ciepła przez przegrodę budowlaną)

$\alpha_e = 23$ (współczynnik oddawania ciepła przez przegrodę budowlaną)

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_A}{\lambda_A} + \frac{d_B}{\lambda_B} + \frac{d_C}{\lambda_C} + \frac{d_D}{\lambda_D} + \frac{1}{\alpha_e} \text{ [m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{]} \quad (36)$$

$$R_T = \frac{1}{8,1} + \frac{0,025}{0,82} + \frac{0,480}{0,30} + \frac{0,05}{0,045} + \frac{0,010}{0,82} + \frac{1}{23} \text{ [m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{]} \quad (37)$$

$$R_T = 0,13 + 0,03 + 1,6 + 1,11 + 0,25 + 0,04 \text{ [m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{]} \quad (38)$$

$$R_T = 2,92 \text{ [m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{]} \quad (39)$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,34 \text{ (W} \cdot \text{(m}^2 \cdot \text{K)}^{-1}\text{)} \quad (40)$$

Aby właściwie zobrazować przebieg temperatur w warstwach przegrody budowlanej należy wyznaczyć strumień ciepła na podstawie zależności (41):

$$Q = \frac{\Delta t}{R} \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]} \quad (41)$$

$$Q = \frac{11}{2,92} \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]} \quad (42)$$

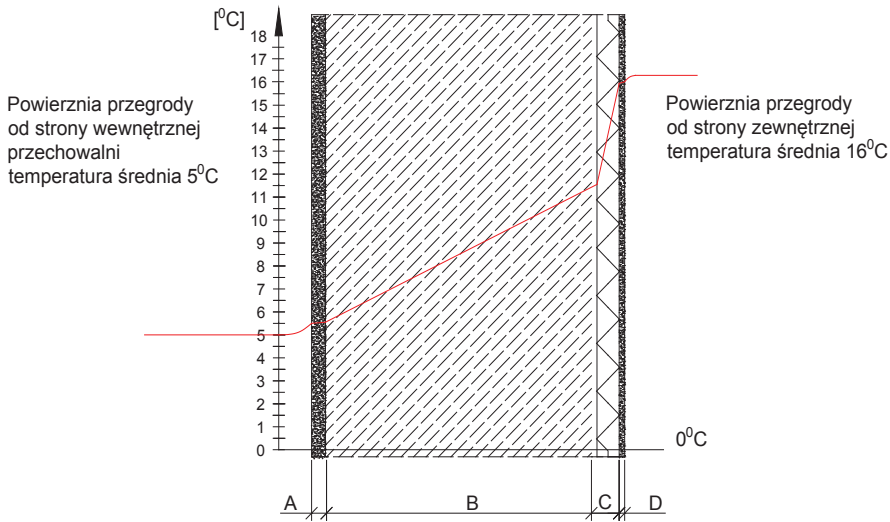
$$Q = 3,77 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]} \quad (42)$$

Tabela 25. Zestawienie oporów cieplnych analizowanych warstw przegrody budowlanej wypełniającej przestrzeń pomiędzy konstrukcją szkieletową

Warstwa	Strumień ciepła Q (W·m ⁻²)	Obliczeniowe opory cieplne warstw R_w (m ² ·K·W ⁻¹)	Δt (°C)	Temperatura w warstwach przegrody t_p (°C)
Temperatura wewnątrz obiektu 5				
R _{si}	3,77	0,13	0,49	5,49
A	3,77	0,03	0,11	5,60
B	3,77	1,60	6,03	11,63
C	3,77	1,11	4,18	15,82
D	3,77	0,01	0,04	15,86
Temperatura powierzchni przegrody na zewnątrz obiektu				
R _{se}	3,77	0,04	0,15	16,01

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Na podstawie wyników zawartych w tabeli 25 został wykonany rysunek 70 przedstawiający rozkład temperatur w poszczególnych warstwach przegrody budowlanej.

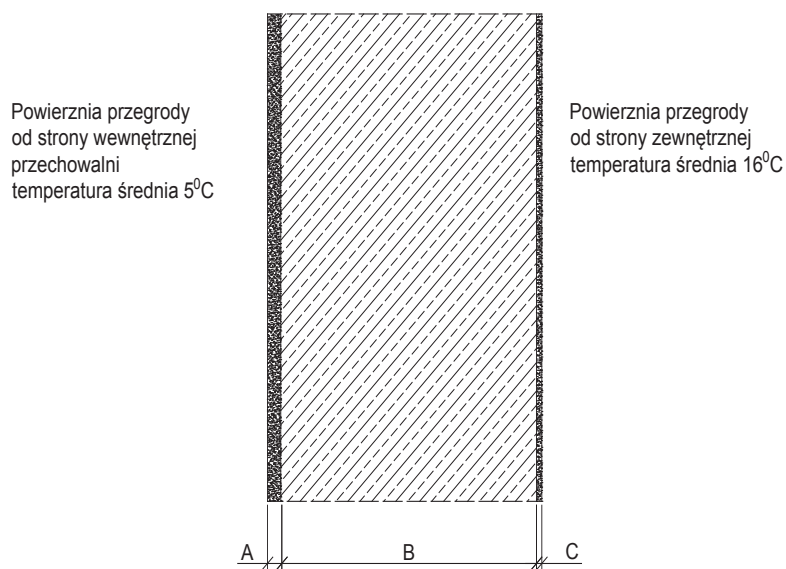


Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Rysunek 70. Przebieg temperatur w przegrodzie wielowarstwowej wypełniającej przestrzeń pomiędzy konstrukcją żelbetową

Analizując ten typ konstrukcji obiektu przechowalniczego należy przy obliczeniach ciepłno-wilgotnościowych uwzględnić miejsca w przegrodach pionowych, gdzie występują słupy konstrukcyjne żelbetowe. Do tej pory analizą objęto tylko materiał wypełniający przestrzeń pomiędzy konstrukcją żelbetową.

Przekrój przez słup żelbetowy pokazujący układ warstw przedstawiono na rysunku 71, natomiast w tabeli 26 zestawiono współczynniki projektowe właściwości ciepłno-wilgotnościowe warstw przegrody budowlanej w miejscu występowania słupa konstrukcyjnego.



Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Rysunek 71. Przekrój przez przegrodę budowlaną jednowarstwową w miejscu występowania słupa konstrukcyjnego żelbetowego

Tabela 26. Zestawienie współczynników określających przewodność cieplną warstw przegrody budowlanej w miejscu szkieletu konstrukcyjnego żelbetowego

Lp.	Warstwa w przegrodzie budowlanej	Grubość d (m)	Współczynnik przenikania ciepła λ (W·(m·K) ⁻¹)
A	Tynk tradycyjny cementowo-wapienny	0,025	0,82
B	Beton zwykły z kruszywa naturalnego	0,480	1,30
C	Tynk cienkowarstwowy silikatowy	0,010	0,82

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Obliczenia przenikania ciepła dla kierunku strumienia cieplnego poziomego prowadzi się wg wzoru (43):

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (43)$$

gdzie:

$$R_{si} = \frac{1}{8,1} = 0,13 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

$$R_{se} = \frac{1}{23} = 0,04 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

$\alpha_1 = 8,1$ (współczynnik przyjmowania ciepła przez przegrodę budowlaną)

$\alpha_e = 23$ (współczynnik oddawania ciepła przez przegrodę budowlaną)

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_A}{\lambda_A} + \frac{d_B}{\lambda_B} + \frac{d_C}{\lambda_C} + \frac{1}{\alpha_e} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (44)$$

$$R_T = \frac{1}{8,1} + \frac{0,025}{0,82} + \frac{0,480}{1,30} + \frac{0,010}{0,82} + \frac{1}{23} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (45)$$

$$R_T = 0,13 + 0,03 + 0,36 + 0,25 + 0,01 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (46)$$

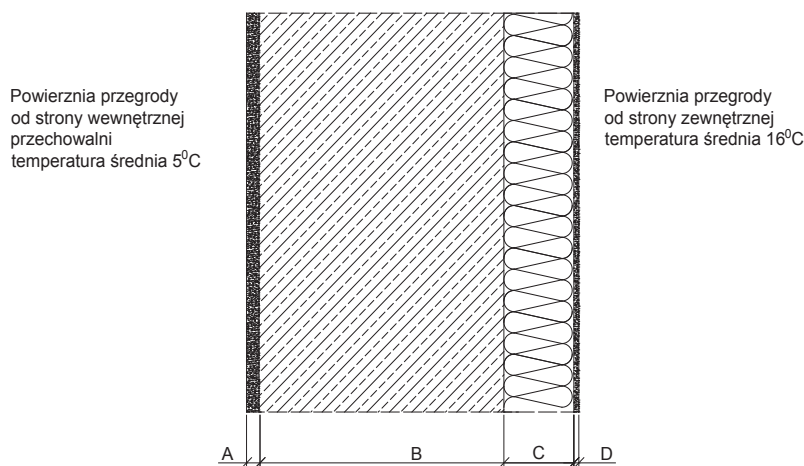
$$R_T = 0,578 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (47)$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 1,72 \quad (\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}) \quad (48)$$

Przegroda budowlana w tym miejscu nie spełnia swojej funkcji odnośnie izolacji termicznej. Jest to najbardziej niezabezpieczona część obiektu przechowalniczego. Wielokrotnie nie spełnia wymagań cieplno-wilgotnościowych zgodnych z rozporządzeniem ministra infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. gdzie został podany wymagany współczynnik przenikania ciepła U_{max} poniżej $0,3 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ należy w tych miejscach obliczyć grubość warstwy izolacji termicznej.

Należy dobrać warstwę izolacji termicznej o grubość co najmniej 15 cm i przestawić przebieg temperatur w przegrodzie budowlanej wielowarstwowej w miejscu konstrukcji żelbetowego słupa.

Przekrój przez przegrodę budowlaną pokazuje układ warstw w miejscach konstrukcji szkieletowej (rys. 72) z uwzględnieniem dodatkowej warstwy izolacyjnej o grubości 0,15 m. W tabeli 27 zestawiono współczynniki właściwości termicznych warstw przegrody.



Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Rysunek 72. Przekrój przez przegrodę budowlaną z dodaną warstwą izolacji termicznej w miejscu szkieletu żelbetowego

Tabela 27. Zestawienie współczynników określających przewodność cieplną warstw przegrody budowlanej w miejscu szkieletu konstrukcji z warstwą docieplającą

Lp.	Warstwa w przegrodzie budowlanej	Grubość d (m)	Współczynnik przewodzenia ciepła λ ($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$)
A	Tynk tradycyjny cementowo-wapienny	0,025	0,820
B	Beton z kruszywa naturalnego	0,480	1,300
C	Styropian	0,150	0,045
D	Tynk cienkowarstwowy silikatowy	0,010	0,820

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Obliczenia przenikania ciepła dla kierunku strumienia ciepłego poziomego prowadzi się wg wzoru (49):

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (49)$$

gdzie:

$$R_{si} = \frac{1}{8,1} = 0,13 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

$$R_{se} = \frac{1}{23} = 0,04 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

$\alpha_1 = 8,1$ (współczynnik przejmowania ciepła przez przegrodę budowlaną)

$\alpha_e = 23$ (współczynnik oddawania ciepła przez przegrodę budowlaną)

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_A}{\lambda_A} + \frac{d_B}{\lambda_B} + \frac{d_C}{\lambda_C} + \frac{d_D}{\lambda_D} + \frac{1}{\alpha_e} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (50)$$

$$R_T = \frac{1}{8,1} + \frac{0,025}{0,82} + \frac{0,480}{0,30} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{0,010}{0,82} + \frac{1}{23} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (51)$$

$$R_T = 0,13 + 0,03 + 1,6 + 2,66 + 0,25 + 0,04 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (52)$$

$$R_T = 3,25 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (53)$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,30 \quad (\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}) \quad (54)$$

Aby właściwie zobrazować przebieg temperatur w warstwach przegrody budowlanej należy również w miejscu szkieletu konstrukcji z dociepleniem wyznaczyć strumień ciepła na podstawie zależności (41) otrzymując:

$$Q = \frac{11}{3,24} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (55)$$

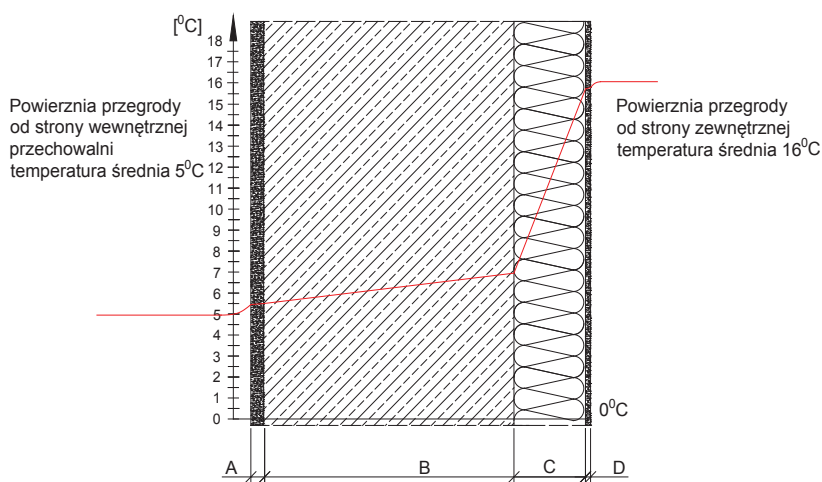
$$Q = 3,39 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (56)$$

Na podstawie wyników zawartych w tabeli 28 został wykonany rysunek 73 przedstawiający rozkład temperatur w poszczególnych warstwach przegrody budowlanej w miejscu szkieletu konstrukcji żelbetonowej.

Tabela 28. Zestawienie oporów cieplnych analizowanych warstw przegrody budowlanej w miejscu konstrukcji szkieletowej żelbetonowej

Warstwa	Strumień ciepła Q ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)	Obliczeniowe opory cieplne warstw R_w ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)	Δt ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura w warstwach przegrody t_p ($^{\circ}\text{C}$)
				Temperatura wewnątrz obiektu 5
R _{si}	3,38	0,13	0,439	5,43
A	3,38	0,03	0,103	5,54
B	3,38	0,37	1,248	6,79
C	3,38	0,01	0,041	6,83
D	3,38	2,67	9,013	15,84
R _{se}	3,38	0,04	0,135	Temperatura powierzchni przegrody na zewnątrz obiektu 15,98

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999



Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Rysunek 73. Przebieg temperatur w przegrodzie wielowarstwowej w miejscu przebiegu słupa żelbetowego z konstrukcji szkieletowej

Kolejną konstrukcją najczęściej spotykaną w obiektach przechowalniczych jest konstrukcja lekka stalowa wypełniona przegrodami z płyt wielowarstwowych. Są to konstrukcje, w których można precyzyjnie sterować atmosferą wewnątrz obiektu. Materiały użyte do wypełnienia przegród budowlanych, a zarazem całe konstrukcje obiektów są hermetyczne i mają małą bezwładność cieplną. Obiekty tego typu są najczęściej budowane jako przechowalnie długoterminowe albo chłodnie, gdzie temperatura wewnątrz najczęściej jest na poziomie 0-2°C.

Wyznaczając parametry ciepło-wilgotnościowe w przegrodzie budowlanej wykonanej z płyty wielowarstwowej rozpoczynamy od obliczenia grubości minimalnej panelu. Pamiętając, że w tak wykonanych budynku z płyt wielowarstwowych największe straty ciepła występują podczas wentylacji.

Przyjmując, że średnio temperatura w wewnątrz budynku przechowalniczego będzie utrzymywana na poziomie 2°C, a na zewnątrz średnioroczna temperatura będzie na poziomie 16°C, to minimalną grubość przegrody budowlanej określamy na podstawie zależności (32).

$$d_{min} > \frac{\Delta T \cdot \lambda}{10} \text{ (m)} \quad (57)$$

gdzie:

$$\Delta T = 16^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C} = 14^\circ\text{C}$$

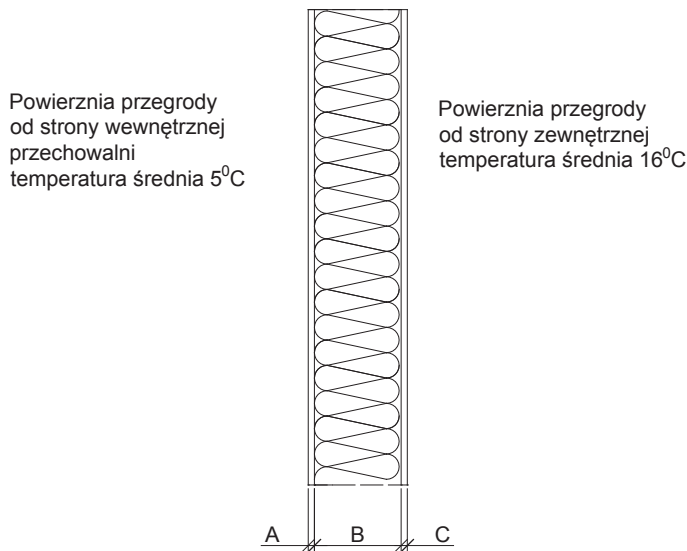
$$\lambda - \text{współczynnika przewodzenia ciepła dla pianki poliuretanowej w szczelnej osłonie} = 0,035 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$$

$$d_{min} > \frac{140,035}{10} \text{ (m)} \quad (58)$$

$$d_{min} > 0,082 \text{ (m)} \quad (59)$$

Należy dobrać na poszycie konstrukcji budynku przechowalniczego płytę wielowarstwową o grubości co najmniej 10 cm i przestawić przebieg temperatur w przegrodzie budowlanej.

Przekrój przez przegrodę budowlaną pokazuje układ warstw płyt panelowych wielowarstwowych (rys. 74).



Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 6946:1999

Rysunek 74. Przekrój przez przegrodę budowlaną wykonaną z panelu wielowarstwowego
A i C – powłoki stalowej, B – pianki poliuretanowej

Analizę ciepłno-wilgotnościową wybranych przegród budowlanych stosowanych w obiektach przechowalniczych przeprowadzono na podstawie wartości obliczeniowych (projektowych) współczynnika przewodzenia ciepła λ zawartych w normie PN-EN ISO 6946:1999.

Bibliografia

- Adamicki F. a. (1997). Zanim dotrą do konsumenta. *Owoce Warzywa Kwiaty*, 14.
- Adamicki F. b. (1997). Przechowalnie czy chłodnie. *Owoce Warzywa Kwiaty*, 17-18.
- Baranowski, P. (2008). Temperatura radiacyjna wybranych owoców i nasion jako parametr oceny ich jakości. *Acta Agrophysica*, 159. Lublin, 29-49.
- Bieda W., Nawalany G., Radoń J. (2001). Mikroklimat w zagłębionej przechowalni owoców. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Inżynieria Środowiska*, 21, 637-647.
- Bittles WJ. (2008). Design, Construction, Specification and Fire Management of Insulated Envelopes for Temperature Controlled Environments, *IACSC European Division*, 2nd edition.
- Chądzynski A., Piróg M. (2013). Technologia procesu przechowywania owoców, warzyw i ziemniaków a układy funkcjonalno-przestrzenne obiektów. *Budownictwo i Architektura*, 12(4), 21-28.
- Gruda Z., Postolski J. (1999). Zamrażanie żywności. *WNT, Warszawa*. ISBN 83-204-0418-5.
- Hnidec B. (2013). Żelbetowa konstrukcja szkieletowa z jednolitych elementów prefabrykowanych dla budownictwa na obszarach wiejskich. *Budownictwo i Architektura*, 12(3), 21-26.
- Lange E. 1989. Przechowywanie owoców. *PWRiL, Warszawa*.
- Lange E. (1994). Tendencje w przechowalnictwie owoców. *Owoce Warzywa Kwiaty*, 16.
- Malinowski M., Sikora J. 2013. Termograficzna analiza wybranych przegród budowlanych w aspekcie ich termoizolacyjności. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 04(3) (Dec 2013).
- Malinowski M., Sikora J., Krzystanek I., Kurdziel S. (2012). Wykorzystanie termografii do nieinwazyjnej analizy wewnętrznych uszkodzeń miąższu jabłek. *Episteme*, 15, 169-176.
- Nawalany G., Bieda W. 2002. Wymiana ciepła między gruntem a zagłębioną przechowalnią i chłodnią owoców. *Acta Scientiarum Polonorum. ser. Architectura*, 1-2, 17-27.
- Nawalany G., Herbut P., Sokołowski P. (2014). Analiza techniczna i kierunki rozwoju przechowalni warzyw i owoców w rejonie Skalbierza. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, II/1/2014, 2017-226.
- PN-EN ISO 354:2003 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabełaryczne wartości obliczeń.
- PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynniki przenikania ciepła. Metoda obliczeń.
- PN-ISO 6707-1 Budownictwo. Terminologia. Terminy ogólne pkt. 5.1.1.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, *Dz. U. nr 75 z dnia 15 czerwca 2002r. poz. 690, z późniejszymi zmianami*.
- Rutkowska, G., Klepak, O., Podawca, K. (2013). Problemy strat ciepła w istniejących budynkach jednorodzinnych w kontekście błędów wykonawczych. *Annual Set The Environment Protection*, 15, 2625-2639.
- Schabowicz K., Gorzelańczyk T. (2009). Materiały do ćwiczeń projektowych z budownictwa ogólnego. *Dolnośląskie wydawnictwo edukacyjne*, 68-73.
- Tarnowski W., Bartkiewicz S. (2000). Modelowanie matematyczne i symulacja komputerowa dynamicznych procesów ciągłych. *Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin. Wyd. II*.
- Wachowicz E. (2011). Nowoczesne algorytmy sterowania mikroklimatem w przechowalniach. *Acta Agrophysica*, 17(2), 395-404
- Wachowicz E., Grudziński P. (2009). Komputerowy model układu sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek. *Inżynieria Rolnicza*, 8(17), 251-259.

5. MODELOWANIE PROCESÓW PRZECHOWALNICZYCH

5.1. Procesy przechowalnicze

Po zbiorze ziemniaki nadal pozostają organizmami żywymi, w których zachodzą procesy biochemiczne, fizjologiczne oraz fizyczne. Procesy te prowadzą stopniowo do obniżenia ich jakości, starzenia się i rozwoju chorób, a tym samym do strat ilościowych i jakościowych (Adamicki i Czerko, 2002).

Podstawowymi procesami życiowymi, które zachodzą w bulwie ziemniaka po zbiorze, są oddychanie i transpiracja, które powodują zmiany: fizyczne, takie jak ubytek masy, utratę turgoru i jędrności oraz chemiczne, prowadzące do zmiany składu chemicznego, a tym samym utraty wartości odżywczej oraz ubytku substancji zapasowych. Następują również zmiany barwy mięszu w czasie procesów przetwórczych (Zgórska i Frydecka-Mazurczyk, 1997).

Oddychanie jest procesem metabolicznym polegającym na utlenianiu, przy udziale tlenu z atmosfery, nagromadzonych substancji organicznych – polisacharydów zapasowych, kwasów organicznych – do dwutlenku węgla i wody, które są odprowadzane do atmosfery:



Proces oddychania może odbywać się też przy ultraniskiej koncentracji tlenu – proces beztlenowego oddychania lub inaczej fermentacji. Podczas tego procesu glukoza rozkłada się do alkoholu etylowego i dwutlenku węgla:



W wyniku tej reakcji następują zmiany destrukcyjne komórek i tkanek, powodujące zmiany smaku i aromatu lub nawet całkowitego zepsucia przechowywanych ziemniaków.

Oddychanie jest procesem odwrotnym do fotosyntezy. Nagromadzone w okresie wegetacyjnym w organach spichrzowych bulwy substancje zapasowe są stopniowo zużywane podczas przechowywania.

Zachodzące reakcje chemiczne podczas oddychania są egzotermiczne, dlatego podczas reakcji wydzielane jest ciepło. Część ciepła (ok. 40%) zużywana jest na podtrzymanie procesów metabolicznych w komórkach, a część odprowadzana do otoczenia i powodująca wzrost temperatury otaczającej atmosfery (Adamicki i Czerko, 2002).

Oddychanie jest procesem prowadzącym do utraty substancji zapasowych zgromadzonych w tkankach, co powoduje starzenie się i obniżenie wartości biologicznej ziemniaków oraz jakości, głównie smaku i zapachu.

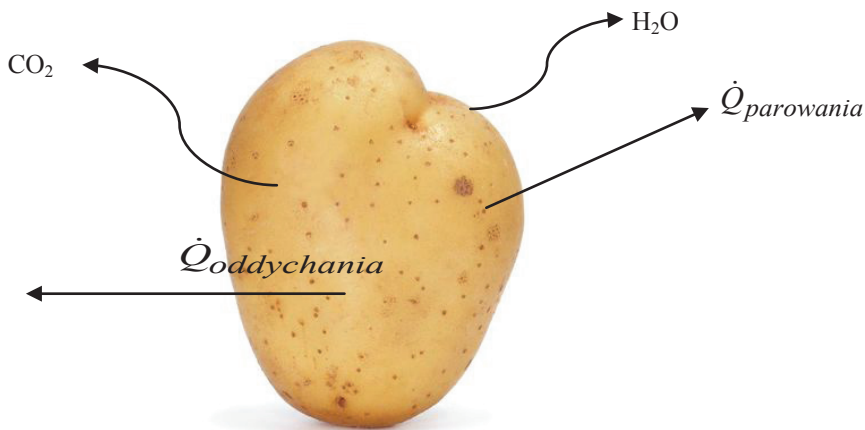
Transpiracja jest procesem fizycznym polegającym na odparowaniu z bulwy ziemniaka wody przez aparaty szparkowe i najmniejsze otworki. Intensywność transpiracji (parowania) zależna jest od: odmiany, stopnia dojrzałości technicznej bulw (skorkowa-

cenie skórki), prężności pary w otaczającej atmosferze (Misener i Shove, 1976b). Dlatego ziemniaki po załadunku są schładzane, żeby zmniejszyć intensywność ich procesów życiowych.

Odpowiednio niska temperatura i wilgotność względna atmosfery zmniejszają ubytki substancji. Utrzymanie odpowiednich parametrów atmosfery w przechowalni umożliwiają systemy sterowania oparte na modelach matematycznych. Modele matematyczne oparte na prawach wymiany ciepła i masy umożliwiają poznanie i wyjaśnienie zachodzących zjawisk. Znajomość przebiegu procesów wymiany ciepła i masy w przechowalniach jest też pomocna w projektowaniu takich obiektów przechowalniczych i doborze systemów sterowania.

5.2. Podstawy teoretyczne wymiany ciepła i masy w przechowalni

Ziemniaki są przechowywane w pryzmach lub w skrzynio paletach, w warstwie. Transport ciepła i masy odbywa się poprzez porowatą warstwę kulistych cząstek. Ponieważ wymiary ziemniaka są znacznie większe w porównaniu do nasion, dlatego istotny w wymianie ciepła i masy w warstwie ziemniaków jest transport masy i ciepła w samej bulwie ziemniaka.



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 76. Uproszczony schemat wymiany ciepła i masy

5.2.1. Wymiana masy

Wymiana masy w bulwie ziemniaka związana jest głównie z odparowaniem wody H_2O w wyniku transpiracji oraz z wydzielaniem ditlenku węgla CO_2 w wyniku oddychania. Strumień odprowadzanej masy wody $\dot{m}_w$ w wyniku transpiracji można opisać następującym modelem:

$$\dot{m}_w = k_t(p_s - p_a) \quad (kg \cdot s^{-1}) \quad (60)$$

gdzie:

- k_t – współczynnik transpiracji, ($s \cdot m^{-1}$)
- p_s – ciśnienie nasyconej pary wodnej nad powierzchnią bulwy ziemniaka, (Pa)
- p_a – ciśnienie pary wodnej w otaczającej atmosferze, (Pa)

Współczynnik transpiracji jest stały dla danego materiału. Jednak Fockens i Meffert (1972) podali formułę, umożliwiającą obliczenie współczynnika transpiracji w zależności od przepuszczalności skórki pokrywającej ziemniak i cienkiej warstwy (filmu) nasyconego powietrza:

$$k_t = \frac{1}{\frac{1}{k_s} + \frac{1}{k_a}} \quad (s \cdot m^{-1}) \quad (61)$$

gdzie:

- k_s – współczynnik transportu masy przez warstwę skórki, ($s \cdot m^{-1}$)
- k_a – współczynnik transportu masy przez warstwę filmu powietrza nasyconego, ($s \cdot m^{-1}$)

Transportu masy przez warstwę skórki odbywa się poprzez dyfuzję, a przez warstwę filmu powietrza nasyconego – przez konwekcję.

Współczynnik przewodzenia masy przez film powietrza nasyconego k_a można oszacować z zależności korelacyjnej liczb kryterialnych Schmidta-Reynoldsa-Sherwooda (Sastry i Buffington, 1982).

Liczba kryterialne są określone następująco:

- Sherwooda

$$Sh = \frac{k_a \cdot d}{D} \quad (62)$$

gdzie:

- k_a – współczynnik transportu masy w warstwie filmu powietrza, ($m \cdot s^{-1}$)
- d – wymiar charakterystyczny obiektu, (m)
- D – współczynnik dyfuzji masy, ($m^2 \cdot s^{-1}$)

Współczynnik dyfuzji masy w powietrzu można wyznaczyć z zależności (Sastry i Buffington, 1982):

$$D = D_o \frac{T_a}{T_u} \frac{P_u}{P_a} \quad (63)$$

gdzie:

- D_o – współczynnik dyfuzji w warunkach umownych, ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
- P_a – ciśnienie bezwzględne otaczającej atmosfery, (Pa)
- P_u – ciśnienie bezwzględne w warunkach umownych, $P_u = 10^5$ Pa
- T_a – temperatura bezwzględna otaczającej atmosfery, (K)
- T_u – temperatura w warunkach umownych, $T_u = 273,15$ K

- Reynoldsa

$$\text{Re} = \frac{wd}{\nu} \quad (64)$$

- Schmidta

$$\text{Sc} = \frac{\nu}{D} \quad (65)$$

gdzie:

- D – współczynnik dyfuzji masy w warunkach rzeczywistych, ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
- w – prędkość poruszania się warstw powietrza, ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- ν – lepkość kinematyczna, ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

Związek pomiędzy liczbami kryterialnymi wyraża następująca zależność (Geankoplis, 1978):

$$\text{Sh} = 2,0 + 0,552 \text{Re}^{0,53} \text{Sc}^{0,33} \quad (66)$$

Ponieważ współczynnik przenikania masy przez warstwę filmu powietrza nasyczonego k_a , odniesiony jest do zawartości wody w filmie, a we wzorze (61) współczynnik ten wyrażony jest ciśnieniowo, zatem k_a należy przeliczyć i wyrazić ciśnieniowo z następującej zależności:

$$k_a = \frac{1}{R_{H_2O} T} k_{a'} \quad (67)$$

gdzie:

- R_{H_2O} – indywidualna stała gazowa pary wodnej, ($\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$)
- T – temperatura bezwzględna pary wodnej, (K)

Podczas oddychania ubytki masy spowodowane są wydzielaniem ditlenku węgla CO_2 , ale też pary wodnej H_2O . Masę powstającego ditlenku węgla CO_2 podczas oddychania opisano zależnością (Becker i in., 1995):

$$m_{\text{CO}_2} = f \left(\frac{9T_m}{5} + 32 \right)^g \quad (68)$$

gdzie:

- f, g – empiryczne współczynniki oddychania, wyznaczone eksperymentalnie, (-)
 T_m – średnia temperatura, (K)

Powstająca woda w procesie spalania cukrów powoduje też intensyfikację procesu transpiracji – odparowania wody z materiału.

5.2.2. Wymiana ciepła

Wymiana ciepła związana jest również z oddychaniem i przemianami termodynamicznymi fazowymi. Wygenerowane ciepło wewnątrz bulwy ziemniaka podczas oddychania jest przekazywane do otoczenia poprzez przewodzenie w bulwie i konwekcyjną wymianę ciepła oraz masy pomiędzy bulwą a otoczeniem.

Źródłem ciepła w bulwie ziemniaka są reakcje egzotermiczne utleniania w procesie oddychania. Wygenerowane ciepło jest transportowane do powierzchni i następuje wymiana ciepła z otaczającą atmosferą poprzez konwekcję i odparowanie. Prosty bilans cieplny bulwy ziemniaka ma następującą postać:

$$\dot{Q}_{\text{odd}} = \dot{Q}_k + \dot{Q}_{\text{par}} \quad (69)$$

gdzie:

- $\dot{Q}_{\text{odd}}$ – strumień ciepła dostarczony podczas oddychania, (W)
 $\dot{Q}_k$ – strumień ciepła konwekcyjny, (W)
 $\dot{Q}_{\text{par}}$ – strumień ciepła zużyty na odparowanie H_2O z bulwy ziemniaka, (W)

Strumień ciepła wygenerowany w wyniku reakcji utleniania w procesach metabolicznych określa następująca zależność:

$$\dot{Q}_{\text{odd}} = m_b \frac{q_r}{\tau} \quad (70)$$

gdzie:

- q_r – ciepło oddychania ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$), (Misener i Shove, 1976)

$$q_r = 6,99T_b + 62,62 \quad (71)$$

- m_b – masa bulwy ziemniaka, (kg)
 T_b – temperatura bulwy ziemniaka, (K)
 τ – czas, (s)

Konwekcyjną wymianę ciepła opisuje równanie wynikające z prawa Newtona:

$$\dot{Q}_k = h_k A_b (T_{pow} - T_{ot}) \quad (72)$$

gdzie:

- A_b – powierzchnia wymiany ciepła, (m^2)
- h_k – współczynnik przejmowania ciepła, ($W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$)
- T_{ot} – temperatura atmosfery w przechowalni, (K)
- T_{pow} – temperatura powierzchni bulwy ziemniaka, (K)

Całkowity strumień cieplny parowania wody opisuje zależność:

$$\dot{Q}_{par} = \dot{m}_w q_{par} \quad (73)$$

gdzie:

- $\dot{m}_w$ – strumień masy odparowanej wody w procesie transpiracji, ($kg \cdot s^{-1}$)
- q_{par} – ciepło parowania wody, ($J \cdot kg^{-1}$)

Współczynnik przejmowania ciepła h_k można wyznaczyć na podstawie równania korelacyjnego pomiędzy liczbami kryterialnymi: Nusselta Nu , Reynoldsa Re i Prandtla Pr , ze względu na wymuszony przepływ powietrza podczas schładzania ziemniaków.

Korelację pomiędzy tymi liczbami, dla analizowanej wymiany ciepła, najlepiej opisuje równanie, analogiczne do równania określającego zależność liczb kryterialnych w konwekcyjnej wymianie

$$Nu = 2,0 + 552 Re^{0,53} Pr^{0,33} \quad (74)$$

Liczby kryterialne Nusselta i Prandtla opisują następujące zależności:

- Nusselta

$$Nu = \frac{h_k d}{\lambda_a} \quad (75)$$

gdzie:

- λ_a – współczynnik przewodności cieplnej powietrza, ($W \cdot (m \cdot K)^{-1}$)
- d – wymiar charakterystyczny, (m)
- Prandtla

$$Pr = \frac{V_a}{a} \quad (76)$$

gdzie:

- a – współczynnik dyfuzji ciepła, ($m^2 \cdot s^{-1}$)
- v_a – lepkość kinematyczna, ($m^2 \cdot s^{-1}$)

Współczynnik przewodności cieplnej jest funkcją stopnia zawilżenia powietrza i jego temperatury. Ponieważ stwierdzono, że współczynnik ten, w zakresie temperatur od -4°C do 120°C , zmienia się w niewielkim zakresie, dlatego w procesie wymiany ciepła w przechowalni współczynnik przewodności cieplnej uzależniono od temperatury powietrza w przechowalni (Karlekar i Desmond, 1982):

$$\lambda_a = 0,02397 + 7,59 \cdot 10^{-3} T_a \quad (77)$$

gdzie:

T_a – temperatura otaczającego powietrza, (K)

Współczynnik lepkości kinematycznej określa następująca zależność:

$$\nu_a = \frac{\eta_a}{\rho_a} \quad (78)$$

gdzie:

η_a – współczynnik lepkości dynamicznej powietrza, (Pa·s)

$$\eta_a = 17,19 + 0,0429 T_a \quad (79)$$

dla $-4^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 120^{\circ}\text{C}$

ρ_a - gęstość powietrza, ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

$$\rho_a = \frac{28,9645 P}{(MR) T_a} (x_a + 0,62198 x_w) \quad (80)$$

gdzie:

MR – uniwersalna stała gazowa, $MR=8315 \text{ J} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

P – ciśnienie całkowite otaczającego powietrza, (Pa)

x_a, x_w – udziały molowe suchego powietrza i pary wodnej w powietrzu wilgotnym ($\text{kmol} \cdot \text{kmol}^{-1}$):

$$x_a = \frac{0,62198}{0,62198 + X} \quad (81)$$

$$x_w = \frac{X}{0,62198 + X} \quad (82)$$

gdzie:

X – wskaźnik wilgotności, (-)

5.3. Model matematyczny procesu przechowywania ziemniaków

W przechowalniach ziemniaki są przechowywane w warstwie. Proces wymiany ciepła i masy jest też bardziej złożony. Wydzielone ciepło i para wodna są transportowane przez porowatą warstwę, gdzie następuje przekazywanie ciepła i masy pomiędzy poszczególnymi bulwami i powietrzem wypełniającym pory. Opracowany matematyczny model transportu ciepła i masy w warstwie porowatej umożliwia analizę rozkładu temperatury i wilgotności w warstwie ziemniaków oraz w powietrzu tworzącym atmosferę w przechowalni. Xu i Burfoot (1999) sformułowali model symulacyjny transportu ciepła i wody w warstwie ziemniaków, oparty na prawach zachowania masy, pędu i energii.

W celu przeprowadzenia symulacji komputerowej objętość warstwy została podzielona na elementarne objętości, tzw. komórki. Komórkę stanowiły elementarna objętość zawierająca bulwę ziemniaka i przestrzeń powietrzną wypełniającą przylegające pory. W każdej komórce został opisany transport ciepła i masy z ziemniaka do otaczającego powietrza oraz odparowanie wody z jego powierzchni.

Dla jednorodnych porowatych ośrodków na podstawie prawa ciągłości strugi i zachowania pędu opisano transport masy w otaczającym powietrzu, w elementarnej objętości, następującymi równaniami (Xu i Burfoot, 1999):

$$\frac{\partial(\varepsilon\rho_a)}{\partial t} + \nabla(\rho_a \varepsilon w_i) = m, \quad (83)$$

$$\frac{\partial(\varepsilon\rho_a w_i)}{\partial t} + \nabla(\varepsilon\rho_a w_i w_j - \varepsilon\tau_{ij}) = -\varepsilon \frac{\partial P}{\partial x_i} - R_i \quad (84)$$

gdzie:

m – strumień transportowanej masy na jednostkę objętości, ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

$$m = \frac{\rho_{bu}}{\rho_b V_b} \frac{\partial}{\partial t} \int_{V_b} \rho_w X dV \quad (85)$$

P – ciśnienie, (Pa)

R_i – współczynnik Darcy dla wielowymiarowego przepływu,

t – czas, (s)

w_i, w_j – prędkość przemieszczania się płynu, ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

V_b – objętość bulwy ziemniaka, (m^3)

X – stopień zawilżenia powietrza, ($\text{kg H}_2\text{O}\cdot\text{kg p.s.}^{-1}$)

x_i – współrzędna kartezjańska, (m)

ε – porowatość warstwy, (-)

ρ_{bu} – gęstość nasypowa warstwy ziemniaków, ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

ρ_b – gęstość pojedynczej bulwy ziemniaka, ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

ρ_w – gęstość wody, ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

Ciepło w elementarnej objętości jest przenoszone za pomocą przepływającego powietrza i przez przewodzenie w warstwie nieruchomego powietrza. Transport ciepła pomiędzy sąsiadującymi komórkami i w bulwie ziemniaka opisuje następujące równanie:

$$\frac{\partial(\rho H)}{\partial t} + \nabla(\varepsilon \rho_a w_i H_a - \varepsilon \lambda_a \nabla T_a) = \nabla(\lambda_b \nabla T_b) \quad (86)$$

gdzie:

H – całkowita entalpia w porowatej elementarnej objętości, ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$):

$$\rho H = \varepsilon \rho_a H_a + (1 - \varepsilon) \rho_b H_b \quad (87)$$

H_a – entalpia powietrza (atmosfery), ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)

H_b – entalpia bulwy ziemniaka, ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)

T_b, T_a – średnia temperatura bulwy ziemniaka i powietrza, (K)

ε – porowatość warstwy,

λ_b, λ_a – współczynnik przewodności cieplnej bulwy i powietrza, ($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$)

ρ_b, ρ_a – gęstość ziemniaka i powietrza, ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Przenoszenie pary wodnej pomiędzy poszczególnymi komórkami określa zależność:

$$\frac{\partial(\varepsilon \rho_a X)}{\partial \tau} + \nabla(\varepsilon \rho_a w_i X - \varepsilon \rho_a D \nabla X) = m \quad (88)$$

gdzie:

X – zawartość pary wodnej w powietrzu, ($\text{kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg s.p.}^{-1}$)

D – współczynnik dyfuzji masy, ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

Transport masy i ciepła opisano równaniami opartymi na prawach dyfuzji masy (II prawo Ficka) i dyfuzji ciepła (prawo Fouriera – Kirchhoffa).

Założono, że pojedyncza bulwa ma kształt kuli, a transport masy i ciepła powodują gradienty stężeń masy i temperatury.

Transport masy określa równanie dyfuzji :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(D_p r^2 \frac{\partial u}{\partial r} \right) \right] \quad (89)$$

gdzie:

D_p – współczynnik dyfuzji masy w ziemniaku, ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

u – zawartość wody w ziemniaku, ($\text{kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Przenoszenie ciepła opisuje równanie:

$$\frac{\partial(\rho_b H_b)}{\partial t} = q_r \rho_b + \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 c_w \rho_w D_p T_b \frac{\partial X}{\partial r} \right) \right] + \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda_b \frac{\partial T_b}{\partial r} \right) \right] \quad (90)$$

gdzie:

- c_w – ciepło właściwe pary wodnej, $(J \cdot (kg \cdot K)^{-1})$
- H – entalpia całkowita porowatej warstwy ziemniaków, (J)
- r – współrzędna cylindryczna, (m)
- T_b – temperatura bezwzględna bulwy ziemniaka, (K)
- ρ_w – gęstość pary wodnej, $(kg \cdot m^{-3})$

W celu rozwiązania równań stanowiących model konieczne jest sformułowanie warunków brzegowych. W prezentowanym modelu przyjęto warunki brzegowe III rodzaju:

1. strumień masy przekazywanej z powierzchni bulwy do otaczającego powietrza wynosi:

$$\dot{m}_{ms} = h_m A (\rho_{v,ps} - \rho_{v,a}) \quad (91)$$

2. strumień ciepła przekazywany na brzegu obszaru:

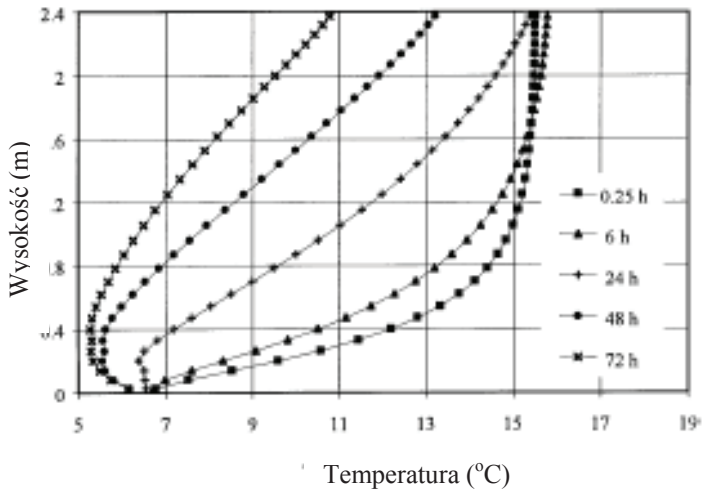
$$\dot{Q}_{ht} = h_t A (T_{ps} - T_a) - \dot{m}_{ms} (q_r + c_a T_a - c_{a,ps} T_{ps}) \quad (92)$$

gdzie:

- A – powierzchnia wymiany ciepła i masy, (m^2)
- $c_a, c_{a,ps}$ – ciepło właściwe powietrza nienasyconego i nasyconego (przy powierzchni bulwy ziemniaka, $(J \cdot (kg \cdot K)^{-1})$)
- h_m – współczynnik przejmowania masy, $(m \cdot s^{-1})$
- h_t – współczynnik przejmowania ciepła, $(W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1})$
- q_r – ciepło parowania, $(J \cdot kg^{-1})$
- T_{ps} – temperatura bezwzględna powierzchni bulwy ziemniaka, (K)
- $\rho_{v,ps}, \rho_{v,a}$ – gęstość pary wodnej w powietrzu nasyconym nad powierzchnią bulwy i nienasyconym w otoczeniu, $(kg \cdot m^{-3})$.

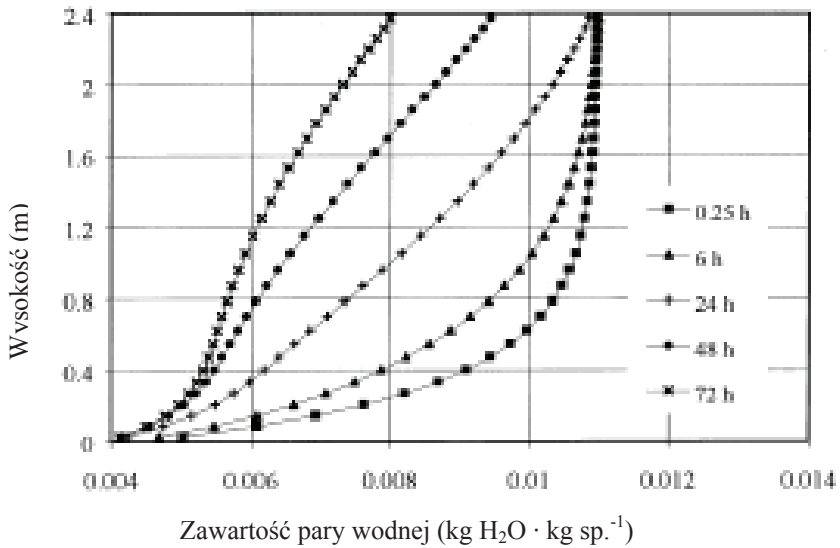
Opisany model posłużył do wykonania obliczeń symulacyjnych. Obliczenia wykonano dla warstwy ziemniaków, przez którą włączane jest powietrze i przepływa ono przez złożę bulw (Xu i Burfood, 1999).

Obliczenia wykonano dla temperatury początkowej ziemniaków i powietrza 15,5°C. Gęstość nasypowa warstwy ziemniaków wynosiła 390 $kg \cdot m^{-3}$, a porowatość 0,61. Złożę bulw ziemniaków schładzano strumieniem powietrza o temperaturze 6,7°C, wilgotności względnej 60% i natężeniu przepływu 9,2 $m^3 \cdot h^{-1}$. Przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono na wykresach przedstawiających rozkłady temperatury i pary wodnej w różnych wysokościach warstwy po różnych czasach schładzania warstwy.



Źródło: Xu, Burfood, 1999

Rysunek 77. Wyniki obliczeń symulacyjnych rozkładu temperatury w warstwie ziemniaków po różnych czasach chłodzenia

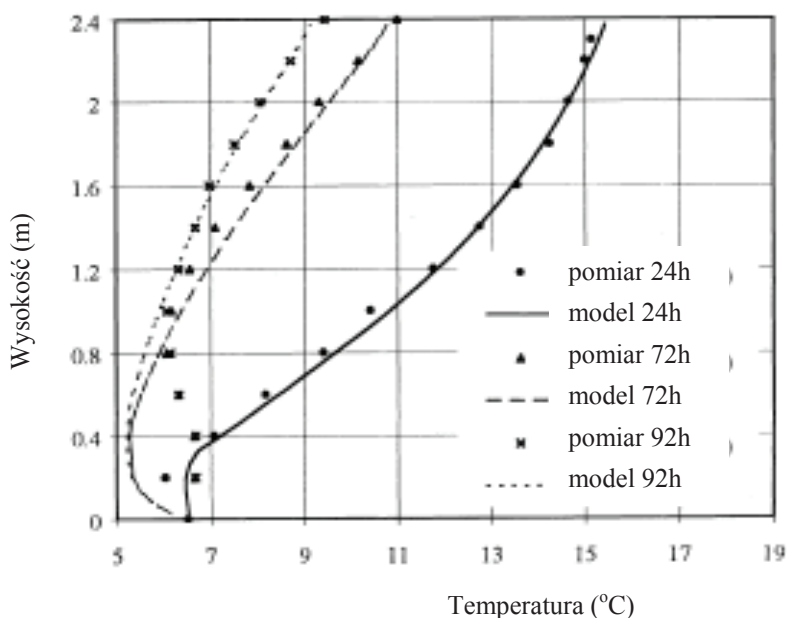


Źródło: Xu, Burfood, 1999

Rysunek 78. Wyniki obliczeń symulacyjnych rozkładu zawartości pary wodnej w warstwie ziemniaków po różnych czasach schładzania

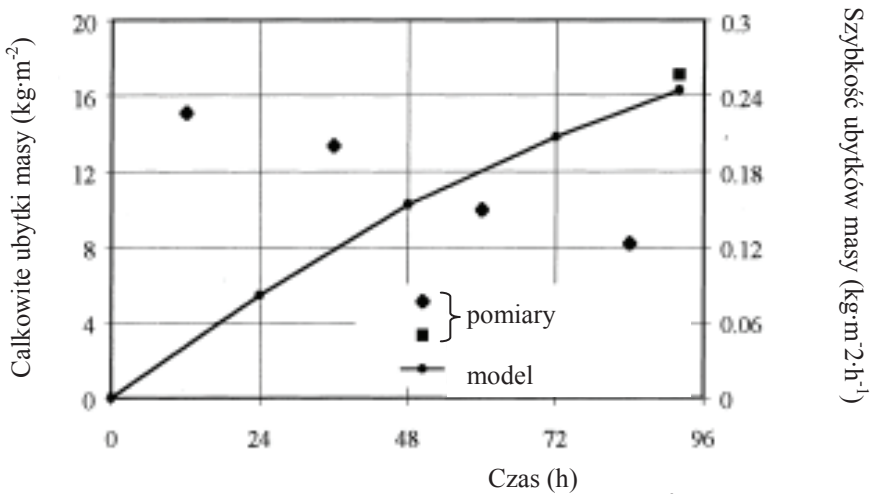
Walidacja modelu została dokonana za pomocą wyników pochodzących z badań laboratoryjnych, na specjalnie zbudowanym stanowisku (Xu i Burfood, 1999). Porównanie wyników obliczeń z pomiarami przedstawiono na rysunkach 79 i 80. Widoczna jest dobra zgodność pomiędzy wartościami obliczonymi a zmierzonymi. Największe odchylenia widoczne są na wyjściu z warstwy ziemniaków. Spowodowane to jest prawdopodobnie powstaniem turbulencji w strudze wypływającego powietrza z warstwy ziemniaków.

Zaproponowany model umożliwia przewidywanie rozkładu temperatury w warstwie i ubytków masy podczas przechowywania. Może posłużyć do podejmowania decyzji dotyczących doboru optymalnych parametrów strumienia nawiewanego powietrza do schładzania warstwy ziemniaków, aby zminimalizować straty jakościowe bulw ziemniaków podczas przechowywania.



Źródło: Xu, Burfood, 1999

Rysunek 79. Porównanie wyników obliczeń symulacyjnych z pomiarami



Źródło: Xu, Burfood, 1999

Rysunek 80. Ubytki masy uzyskane z obliczeń symulacyjnych i pomiarów

Niezwykle ważnym zagadnieniem w przechowywaniu produktów roślinnych jest utrzymanie stałych, optymalnych parametrów w komorze przechowalniczej, takich jak temperatura, wilgotność względna powietrza. Utrzymanie stałego mikroklimatu umożliwiają systemy sterowania, które działają w oparciu o algorytmy adaptacyjne i predykcyjne. Wykorzystanie takich systemów umożliwia zminimalizowanie zużycia energii, a przede wszystkim minimalizację strat przechowalniczych (Wachowicz, 2007). Zastosowanie tych algorytmów wymaga znajomości procesów zachodzących podczas przechowywania ziemniaków. Sformułowanie matematycznego modelu do sterowania mikroklimatem jest trudne ze względu na to, że ziemniaki są organizmami żywymi, w których zachodzą procesy życiowe podczas schładzania (Wachowicz, 2007).

Wachowicz (2007) zaproponowała matematyczny model do sterowania parametrami podczas przechowywania ziemniaków w postaci układu równań różniczkowych cząstkowych wyprowadzonych na podstawie praw zachowania masy i energii. Model ten umożliwia określenie rozkładu temperatury w warstwie ziemniaków i w powietrzu, a także rozkład zmian zawartości wody w bulwach i w atmosferze.

Strukturę modelu stanowi układ następujących równań różniczkowych (Wachowicz 1999):

$$\rho_b c_b \frac{dT_b}{dt} = \rho_b k_t \frac{dq_r}{dt} - L \rho_b \frac{du}{dt} - h_t a (T_b - T_a) \quad (93)$$

$$\rho_a c_a \frac{dT_a}{dt} = -\rho_a c_a w \frac{dT_a}{dz} + \frac{a h_t (1 - \varepsilon)}{\varepsilon} (T_b - T_a) \quad (94)$$

$$\frac{du}{dt} = -ah_m(u - u_r) \quad (95)$$

$$\frac{\partial X}{\partial t} = -w \frac{\partial X}{\partial z} + \frac{ah_m(1-\varepsilon)}{\varepsilon}(u - u_r) \quad (96)$$

Równania (93 – 96) zostały uzupełnione warunkami brzegowymi:

$$\begin{cases} T_b(0,t) = T_{an} \\ X(0,t) = X_n \end{cases} \quad (97)$$

oraz warunkami początkowymi:

$$\begin{cases} T_b(z,0) = T_{bo} \text{ lub } T_b(z,0) = T_b(z) \\ T_a(z,0) = T_{a0} \text{ lub } T_a(z,0) = T_a(z) \\ u(z,0) = u_0 \text{ lub } u(z,0) = u(z) \\ X(z,0) = X_0 \text{ lub } X(z,0) = X(z) \end{cases} \quad (98)$$

gdzie:

- a – powierzchnia właściwa, (m^2)
- c_a, c_b – ciepło właściwe powietrza i bulwy ziemniaka, ($J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$)
- w – prędkość przepływającego powietrza, ($m \cdot s^{-1}$)
- u, u_r – zawartość wody w bulwie ziemniaka i równowagowa zawartość wody w bulwie ziemniaka, ($kg \text{ H}_2\text{O} \cdot kg \text{ s.s.}^{-1}$)
- indeks n* – stan nasycenia

Problemem w modelowaniu jest stworzenie uogólnionego modelu oddychania ziemniaków w czasie przechowywania. Model taki został opracowany na podstawie wieloletnich badań dla różnych odmian ziemniaków. Na podstawie badań stwierdzono, że oddychanie ma charakter losowy. Nie zaobserwowano powtarzalności zarówno ilościowej, jak i jakościowej tego procesu w kolejnych sezonach przechowalniczych, ponieważ intensywność oddychania zależy od losowych warunków mikroklimatycznych, występujących podczas wegetacji roślin.

Dlatego model procesu oddychania opracowany na podstawie badań w jednym sezonie przechowalniczym, dla jednej odmiany, nie spełni wymaganej dokładności podczas sterowania procesem w innym sezonie i dla innej odmiany. Aby model opisujący procesy zachodzące w warstwie przechowywanych ziemniaków mógł być wykorzystywany podczas sterowania mikroklimatem w przechowalni, w każdym sezonie i dla każdej odmiany, konieczne jest uogólnienie modelu oddychania bulw. Uogólnienie to polega na wyznaczeniu empirycznego modelu informacyjnego, opracowanego na podstawie wyników badań doświadczalnych wielu odmian ziemniaka.

Opracowany model opisano następującym równaniem (Wachowicz, 2007):

$$\frac{dq_r}{dt} = -0,0459T_b t^3 + 0,6165T_b t^2 + 2,753t^2 - 1,6626T_b t - 14,775t + 1,5255T_b + 55,16 \quad (99)$$

Oprócz ciepła oddychania bardzo istotne znaczenie ma wyznaczenie współczynników transportowych: dyfuzji masy i ciepła, współczynników przejmowania masy i ciepła oraz właściwości termofizycznych ziemniaka i powietrza (ciepło właściwe i gęstość, lepkość kinematyczna) przy zadanych parametrach otaczającego powietrza. Umożliwia to poprawę sterowania obiektem przechowalniczym z wykorzystaniem takiego modelu.

Zastosowaniu do modelowania:

- uogólnionego modelu oddychania ziemniaków, opracowanego na podstawie wyników pomiarów wielu odmian ziemniaka, przeprowadzonych w kilku sezonach technologicznych,
- wyznaczenie eksperymentalnie wartości współczynników wnikania ciepła i masy,
- przeprowadzenie symulacji komputerowej umożliwiającą poprawę dokładności modelu warstwy bulw i adaptację modelu do nowych warunków przechowalniczych. Tym samym możliwe jest dokładniejsze sterowanie mikroklimatem w przechowalni, co powoduje niższe straty technologiczne i uzyskuje się lepszą jakość ziemniaków.

Bibliografia

- Adamicki F., Czerko Z. 2002. Przechowalnictwo warzyw i ziemniaka. *PWRiL, Warszawa*, ISBN 83-09-01766-9.
- Becker, B. R., Misra, A., Fricke, B. A. (1996). Bulk refrigeration of fruits and vegetables Part I: theoretical considerations of heat and mass transfer. *HVAC&R Research*, 2(2), 122-134.
- Fockens, F.H., Meffert H.F.T. 1972. Biophysical Properties of Horticultural Products as Related to Loss of Moisture During Cooling Down. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 23, 285-298.
- Geankoplis, C.J. 1978. Transport Processes and Unit Operations. *Boston: Allyn and Bacon*.
- Karlekar, B.V., Desmond R.M. 1982. Heat Transfer. *St. Paul: West Publishing Co*.
- Misener, G. C., Shove, G. C. 1976a. Simulated cooling of potatoes. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 19(5), 954 - 957 & 961.
- Misener, G. C., Shove, G. C. (1976b). Moisture loss from Kennebec potato tubers during initial storage period. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 19(5), 967 - 969.
- Sastry, S.K., Buffington D.E. 1982. Transpiration Rates of Stored Perishable Commodities: A Mathematical Model and Experiments on Tomatoes. *ASHRAE Transactions* 88(1), 159-184.
- Wachowicz E. 1999. Modelowanie wybranych procesów w przechowalniach ziemniaków. *Inżynieria Rolnicza*. 4(5). *Seria: Rozprawy habilitacyjne nr 2*. ISSN 1429-7264.
- Wachowicz, E. 2007. Modelling problems for processes in potato store. *Inżynieria Rolnicza*, 9(97), 261-268.

Xu Y., Burfood D. 1999. Simulating the bulk storage of foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 39, 23 – 29.

Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A. 1997. Wpływ warunków przechowywania na cechy jakości ziemniaków przeznaczonych na różne kierunki użytkowania. *Konferencja Naukowa. Technika i Technologia Przechowywania Ziemniaków*, 8-9 grudnia 1997, 1-9.

WYBRANE ASPEKTY PRZECHOWYWANIA BULW ZIEMNIAKA W KONTEKŚCIE JAKOŚCI SUROWCA

Streszczenie. W aspekcie bezpieczeństwa żywności, ziemniak staje się surowcem bardzo istotnym, ale zarazem bardzo wrażliwym na działanie wielu czynników. Istota znaczenia ziemniaka, jako surowca do produkcji bezpiecznej żywności, odnosi się głównie do wyrobów smażonych i pieczonych. Żywność produkowana z bulw ziemniaka w warunkach podwyższonej temperatury (powyżej 120°C) jest obciążona ryzykiem występowania w niej akrylamidu. Głównym parametrem bulw ziemniaka, decydującym o możliwości powstania akrylamidu, jest podwyższona zawartość w nich cukrów redukujących. Wśród czynników decydujących o kumulowaniu cukrów redukujących w bulwach ziemniaka, znaczącymi są: cechy odmianowe ziemniaka, stosowana uprawa, warunki przechowywania bulw, a wśród nich najważniejszy to temperatura przechowywania. Aby ograniczyć kumulację cukrów redukujących w bulwach podczas przechowywania stosuje się wysokie temperatury tego procesu (6-10°C) lub wykorzystuje się zabieg rekondycjonowania. Przechowywanie w wysokiej temperaturze bulw jest przyczyną nadmiernych ubytków naturalnych, a wśród nich najistotniejsze to ubytki powodowane transpiracją. W wyniku transpiracji bulwy ulegają skurczowi przechowalniczemu, zmniejsza się ich wytrzymałość mechaniczna, ulegają większym odkształceniom na skutek naprężeń zewnętrznych, wzrasta ich gęstość. Niwelowanie niektórych niekorzystnych efektów przechowywania bulw w podwyższonej temperaturze można upatrywać w tym, że istnieje możliwość odwrócenia efektu transpiracji bulw wynikającej z ich długotrwałego przechowywania procesem sorpcji przez nie wody. W wyniku sorpcji wody przez bulwy ziemniaka zmniejsza się ich gęstość, bulwy stają się bardziej jędrne a zatem zanika powstały skurcz przechowalniczy. Na przebieg procesu sorpcji wody przez bulwy ziemniaka istotny wpływ mają ich cechy odmianowe, frakcje wielkościowe oraz okres przechowywania bulw. Magazynowanie bulw ziemniaka wymaga odpowiednio przystosowanych do tego celu obiektów, gdyż zadaniem przechowalni jest utrzymanie płodów rolnych w stanie możliwie najmniej zmienionym przez jak najdłuższy czas. Tylko specjalistyczne obiekty budowlane przeznaczone do przechowywania produktów rolniczych są w stanie zapewnić odpowiednie zachowanie wartości odżywczych, walorów smakowych i estetycznego wyglądu produktów. Nie bez znaczenia jest mikroklimat wytworzony i utrzymywany w obiektach przechowalniczych (odpowiednia temperatura, wilgotność oraz hermetyczność i utrzymywanie odpowiedniego składu gazów atmosfery wewnątrz pomieszczeń). Ze względu na fakt, iż po zbiorze bulwy ziemniaka nadal pozostają organizmami żywymi to zachodzą w nich procesy biochemiczne, fizjologiczne oraz fizyczne. Procesy te prowadzą do stopniowego obniżenia jakości, starzenia się i rozwoju chorób, a tym samym do strat ilościowych i jakościowych bulw. Podstawowymi procesami życiowymi zachodzącymi w bulwie ziemniaka po zbiorze są oddychanie i transpiracja. Procesy te powodują zmiany fizyczne (ubytek masy, utrata turgoru i jędrności) oraz chemiczne (utrata wartości odżywczej, ubytek substancji zapasowych). Wydzielone ciepło i para wodna są transportowane przez porowatą warstwę, gdzie następuje przekazywanie ciepła i masy pomiędzy poszczególnymi bulwami i powietrzem wypełniającym pory. Złożoność opisanych powyżej procesów wymiany ciepła i masy sprawia, że wskazanym jest opisywanie tych zjawisk z wykorzystaniem odpowiednich formuł matematycznych (modeli). Matematyczny model transportu ciepła i masy w warstwie porowatej umożliwia analizę rozkładu temperatury i wilgotności w warstwie ziemniaków oraz w powietrzu tworzącym atmosferę w przechowalni. W okresie przechowywania bulwy ziemniaka narażone są na infekcje wywoływane przez agrofagi. Zwalczanie chorób na etapie przechowywania jest niezwykle istotne, bowiem porażone bulwy są nie tylko źródłem strat, ale również zakażeniami plantacji i obniżki cech jakościowych bulw przeznaczonych do przerobu i bezpośredniej konsumpcji. W przypadku sadzenia, oprócz strat bezpośrednich, choroby mogą powodować deformacje kielków i opóźnienie wschodów. Tradycyjne zwalczanie chorób, polega głównie na profilaktycznym niszczeniu źródeł

zakażenia oraz stosowaniu preparatów chemicznych zarówno podczas wegetacji roślin jak i przed zmagazynowaniem bulw w przechowalniach. Nie wszystkie ze stosowanych obecnie metod są dopuszczane do stosowania w rolnictwie ekologicznym a metody chemiczne nie są wskazane z punktu widzenia bezpieczeństwa żywności. Wskazany zatem jest stosowanie proekologicznych, bezpiecznych dla konsumenta i łatwych w stosowaniu fizycznych metod ograniczania strat przechowalniczych bulw ziemniaka opartych o działanie fali elektromagnetycznej.

SELECTED ASPECTS OF STORING POTATO BULBS WITH REGARD TO RAW MATERIAL QUALITY

Abstract. With regard to food safety, potato has become a crucial raw material but also a very sensitive one to numerous factors. The significance of potato as a raw material for production of safe food refers mainly to fried and baked products. Food produced from potato bulbs in raised temperature (above 120°C) is burdened with risk of acrylamide content. The main parameter of potato bulbs, which decides on the possibility of acrylamide formation, is the increased content of reductive sugar. Among factors which decide on accumulation of reductive sugars in potato bulbs, the following are significant: varietal properties of potato, applied cultivation, storage conditions and the most important is the storing temperature. In order to limit accumulation of reductive sugars in bulbs during storage high temperatures of this process are applied (6-10°C) or a reconditioning process is used. Storing bulbs in a high temperature is a reason for excessive natural losses and the most important are losses caused with transpiration. As a result of transpiration, bulbs are subjected to storage shrinking, their mechanical resistance is reduced, they are reshaped considerably as a result of external stresses, their density increases. Reduction of some of unfavourable effects of bulb storage in the increased temperature may be justified with the fact that there is a possibility of reversing the transpiration effect of bulbs, resulting from their long-term storage, with the process of water sorption through them. As a result of water sorption through potato bulbs their density reduces, bulbs become firmer and the storage shrinking vanishes. The water sorption process is influenced by their varietal properties, size fractions and storage period of bulbs. Storing potato bulbs requires previous usage of facilities because the task of a storage house is maintaining produce in the possibly least changed conditions for the possibly longest time. Only specialist buildings designed for storing produce can ensure proper maintenance of nutrients, taste values and aesthetic appearance of products. Micro-climate formed and maintained in storage buildings is not without meaning (i.e. relevant temperature, moisture, air tightness and maintenance of relevant composition of atmosphere gases inside rooms). Due to the fact that after harvesting, potato bulbs still become living organisms biochemical, physiological and physical process take place therein. These processes lead to gradual reduction of the quality, ageing and development of diseases, and thus to the quantity and quality losses of bulbs. Breathing and transpiration are the basic life processes which take place in the potato bulb after harvesting. These processes cause physical changes (loss of mass, loss of turgor and firmness) as well as chemical (loss of nutritive value, loss of spare substances). Separated heat and water vapour are transported by a porous layer, where heat and mass is transmitted between particular bulbs and air which fills pores. Complexity of the above-described processes of heat and mass exchange causes that it is recommended to describe these phenomena with the use of relevant mathematical formula (models). A mathematical model of heat and mass transport in the porous layer enables analysis of temperature and moisture distribution in the potato layer and in the air which form the atmosphere in the storage room. In the period of storing, potato bulbs face the risk of infections caused by pests. Combating diseases at the stage of storing is very significant because infected bulbs are not only the source of losses but also may infect a plantation and reduce the quality properties of bulbs designed for production and direct consumption. In case of seedlings, except for direct losses, diseases may cause deformations of sprouts and delay of germination. Traditional fighting with diseases consists mainly in preventive destruction of sources of infection and the use of chemical substances both during plant vegetation as well as before storage of bulbs in storage houses. Not all of the presently applied methods are admitted for usage in organic agriculture and chemical methods are not recommended due to food safety. Thus, it is recommended to use pro-ecology, safe for consumers and easy used physical methods of limiting storage losses of potato bulbs based on the operation of electro-magnetic waves.

