



POLITECHNIKA ŁÓDZKA

MIECZYŚŁAW BORUCH
KRYSTYNA NOWAKOWSKA

TECHNOLOGIA SPOŻYWCZYCH SUSZÓW ZIEMNIACZANYCH

Wydanie II

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
POLITECHNIKA ŁÓDZKA

76964/S



000-076964-00-0

ŁÓDŹ 1996



Zo zbiorów Biblioteki Głównej Politechniki Łódzkiej

Recenzent: prof. dr hab. Mieczysław Pałasiński

**KOMITET REDAKCYJNY
WYDAWNICTW POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ**

**Przewodniczący: dr hab. Andrzej Jopkiewicz, prof.
Redaktor Naukowy Wydziału: prof. dr hab. Joanna Masłowska**

Skrypt jest przeznaczony dla studentów Instytutu Chemicznej Technologii Żywności
specjalizujących się w zakresie technologii skrobi i przetwórstwa ziemniaków



76964/s

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ

93-005 Łódź, ul. Wólczańska 223

ISBN 83-86453-50-8

Wydanie II. Nakład 441 egz. Ark. wyd. 13,24. Ark. druk. 12,0. Papier offset. 80g 70 × 100

Druk ukończono w grudniu 1995 r.

Zamówienie 76//95.

Wykonano w A.C.G.M. „LODART” SA. 93-005 Łódź, ul. Wólczańska 223

Nr 853



SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA.....	7
CZĘŚĆ TEORETYCZNA	
1. TEORIA PROCESÓW SUSZENIA.....	9
1.1. Wprowadzenie.....	9
1.2. Woda w produktach spożywczych.....	10
1.3. Właściwości materiałów wilgotnych.....	12
1.3.1. Wprowadzenie.....	12
1.3.2. Wiązanie wody z materiałem suszonym.....	12
1.3.3. Rodzaje wilgotności materiałów.....	14
1.3.4. Równowaga suszarnicza.....	15
1.3.5. Strukturalno-mechaniczne właściwości materiałów wilgotnych.....	17
1.4. Właściwości wilgotnego powietrza.....	18
1.4.1. Wprowadzenie.....	18
1.4.2. Podstawowe parametry powietrza wilgotnego.....	18
1.4.3. Adiabatyczne nasywanie powietrza.....	26
1.4.4. Wykres psychrometryczny.....	29
1.5. Ruch ciepła i masy w procesie suszenia.....	30
1.5.1. Wprowadzenie.....	30
1.5.2. Ruch ciepła.....	30
1.5.2.1. Ruch ciepła przez promieniowanie.....	31
1.5.2.2. Przewodzenie ciepła.....	32
1.5.2.3. Konwekcyjny ruch ciepła i wnikanie.....	34
1.5.3. Jednoczesny ruch ciepła i masy.....	34
1.5.3.1. Dyfuzyjny ruch masy.....	35
1.5.4. Przewodnictwo cieplne materiałów wilgotnych.....	38
1.6. Kinetyka procesu suszenia.....	40
1.6.1. Ogólne charakterystyki suszenia.....	40
1.6.2. Dobór warunków suszenia w zależności od rodzaju materiału.....	46
1.6.3. Ruch ciepła i masy w pierwszym i drugim okresie suszenia.....	47
1.6.4. Czas suszenia.....	48
1.6.5. Bilans materiałowy i cieplny suszarki.....	51
1.7. Klasyfikacja i wskaźniki pracy suszarek.....	55
1.7.1. Klasyfikacja.....	55
1.7.2. Wskaźniki pracy suszarki.....	55
1.8. Suszenie konwekcyjne.....	58
1.8.1. Suszarki komorowe — zasada działania, zastosowanie.....	58
1.8.2. Suszarki tunelowe.....	62
1.8.3. Suszarki taśmowe.....	62
1.8.4. Suszarki bębnowe.....	63
1.8.5. Suszarki dyspersyjne.....	65
1.8.6. Suszarki strumieniowe.....	70



1.9. Suszenie kontaktowe.....	73
1.9.1. Suszarki walcowe.....	73
1.9.2. Suszarki bębnowe, przeponowe.....	76
1.10. Inne metody suszenia.....	78
1.10.1. Suszenie pod działaniem pola energetycznego.....	78
1.10.2. Suszenie sublimacyjne.....	80
1.10.3. Suszenie chemiczne.....	81
1.11. Dobór suszarek i warunków prowadzenia procesu suszenia.....	82
1.11.1. Wybór metody suszenia i typu aparatu.....	82
1.11.2. Przygotowanie materiału do suszenia.....	83
1.11.3. Optymalizacja warunków procesu suszenia.....	84
2. ZMIANY JAKOŚCI PRODUKTÓW W CZASIE SUSZENIA.....	87
2.1. Wprowadzenie.....	87
2.2. Zmiany tekstury i zdolności rehydracji żywności suszonej.....	87
2.3. Retencja aromatu w żywności suszonej.....	88
2.4. Niszczenie składników odżywczych i inne niepożądane reakcje występujące w procesie suszenia.....	88
3. PODSTAWY PORZETWÓRSTWA ZIEMNIAKÓW NA CELE SPOŻYWCZE... ..	90
3.1. Rozwój przetwórstwa ziemniaczanego i struktura spożycia wyrobów ziemniaczanych.....	90
3.2. Wartość odżywcza ziemniaków i skład chemiczny.....	92
3.3. Przydatność ziemniaków do przetwórstwa spożywczego.....	95
3.4. Zmiany składu chemicznego ziemniaków podczas przechowywania.....	97
3.5. Zmiany składu chemicznego ziemniaków podczas obróbki technologicznej.....	99
3.6. Systematyka uszlachetnionych produktów ziemniaczanych.....	100
4. LITERATURA.....	102

CZĘŚĆ TECHNOLOGICZNA

5. ZASADY I TECHNIKA PRZECHOWYWANIA ZIEMNIAKÓW.....	109
5.1. Wprowadzenie (rys historyczny).....	109
5.2. Selekcja i wstępne oczyszczanie ziemniaków.....	111
5.3. Warunki i zasady przechowywania ziemniaków.....	114
5.3.1. Optymalne warunki przechowywania.....	114
5.3.2. Zasada działania systemu mechanicznego wietrzenia ziemniaków w przechowalni.....	115
5.4. Chemiczne i radiacyjne sposoby zmniejszania strat przechowalniczych.....	116
6. ZASADNICZE OPERACJE W PROCESIE PRODUKCJI SPOŻYWCZYCH SUSZÓW ZIEMNIACZANYCH.....	119
6.1. Oczyszczanie ziemniaków.....	119
6.1.1. Usuwanie kamieni i słomy.....	119
6.1.2. Mycie ziemniaków.....	121
6.2. Obieranie ziemniaków.....	124
6.2.1. Obieranie mechaniczne.....	124
6.2.2. Obieranie chemiczne.....	126
6.2.3. Obieranie parowe.....	129
6.2.4. Obieranie płomieniowe.....	131
6.2.5. Porównanie metod obierania ziemniaków.....	132

6.3. Blanszowanie i siarkowanie.....	133
6.4. Rozdrabnianie.....	135
6.4.1. Krojenie ujednolicające przed blanszowaniem.....	136
6.4.2. Rozdrabnianie miazgi.....	138
6.5. Parowanie (gotowanie) ziemniaków.....	144
6.6. Suszenie.....	145
6.6.1. Suszenie konwekcyjne za pomocą suszarni wielotaśmowej.....	146
6.6.2. Suszenie kontaktowe za pomocą suszarni walcowej.....	148
6.6.3. Dwustopniowe suszenie strumieniowe (dyspersyjne) granulatu i aglomeratu ziemniaczanego.....	150
6.6.4. Suszenie miazgi ziemniaczanej za pomocą suszarni fontannowej.....	152
 7. TECHNIKA PRODUKCJI SPOŻYWCZYCH SUSZÓW ZIEMNIACZANYCH....	156
7.1. Otrzymywanie kostki i grysiku ziemniaczanego.....	156
7.1.1. Surowce i materiały.....	156
7.1.2. Opis procesu technologicznego.....	156
7.1.3. Wykaz i charakterystyka urządzeń technologicznych.....	160
7.2. Otrzymywanie płatków ziemniaczanych.....	163
7.2.1. Surowce i materiały.....	163
7.2.2. Opis procesu technologicznego.....	164
7.2.3. Wykaz i charakterystyka urządzeń technologicznych.....	172
7.3. Otrzymywanie granulatu i aglomeratu.....	176
7.3.1. Surowce i materiały do produkcji granulatu i aglomeratu.....	176
7.3.2. Opis procesu technologicznego produkcji granulatu i aglomeratu.....	177
7.4. Otrzymywanie suszonej miazgi ziemniaczanej (Technologia projektowana).....	183
 8. GOSPODARKA WODNO-ŚCIEKOWA ZAKŁADU PRODUKUJĄCEGO SPOŻYWCZE SUSZE ZIEMNIACZANE.....	185
9. LITERATURA.....	188





PRZEDMOWA

Skrypt „Technologia spożywczych suszów ziemniaczanych” jest przeznaczony dla studentów specjalizujących się w zakresie technologii skrobi i przetwórstwa ziemniaków jako obowiązujący materiał dydaktyczny. Może on być również wykorzystany dla doskonalenia zawodowego inżynierów technologów oraz techników pracujących w przemyśle ziemniaczanym.

Skrypt jest podzielony na dwie części: teoretyczną i technologiczną. W pierwszej części (rozdziały 1-4) przedstawiono najważniejsze zagadnienia podstawowe z zakresu ruchu ciepła i masy, teorii suszenia oraz charakterystykę surowca ziemniaczanego. W części teoretycznej podano również zasady najważniejszych procesów technologicznych otrzymywania suszów ziemniaczanych i klasyfikację produktów przetwórstwa ziemniaczanego. W drugiej części opisano podstawowe procesy technologiczne produkcji spożywczych suszów ziemniaczanych (rozdziały 5-9) w oparciu o aktualny stan techniki przemysłu ziemniaczanego w Polsce oraz najnowsze informacje literaturowe. Przedstawiono zarys techniki produkcji, najważniejsze elementy schematów technologicznych oraz niezbędnej aparatury.

Autorzy





1. TEORIA PROCESÓW SUSZENIA

1.1. Wprowadzenie

Zadaniem procesów utrwalania żywności jest przedłużenie trwałości produktów spożywczych, co umożliwia ich przechowywanie i łatwiejszą dystrybucję. Trwałość żywności jest limitowana przede wszystkim aktywnością drobnoustrojów i stopniem zaawansowania procesów biochemicznych. Z tego względu procesy utrwalania są prowadzone w taki sposób, aby wyeliminować zepsucie mikrobiologiczne lub przynajmniej zahamować rozwój bakterii i innych drobnoustrojów zagrażających jakości produktu i zdrowiu konsumenta. Procesy suszenia zapewniają osiągnięcie trwałości mikrobiologicznej przez zmniejszenie zawartości wody koniecznej do rozwoju drobnoustrojów.

W żywności, oprócz rozwoju mikroorganizmów, mogą przebiegać niepożądane reakcje chemiczne i procesy fizyczne, które nie pozostają bez wpływu na jakość gotowego produktu. Zawartość wody w materiale wpływa na szybkość reakcji chemicznych i procesów fizycznych, a tym samym jej zmniejszenie przyczynia się do przedłużenia okresu trwałości żywności.

Podstawową motywacją zastosowania procesów suszenia jest poznanie reakcji pomiędzy zawartością wody w żywności oraz jej wpływem na procesy biologiczne, chemiczne i fizyczne, ograniczające trwałość produktów spożywczych.

Istota suszenia polega na usuwaniu wody z żywności w procesie połączonego przenoszenia ciepła i masy. W rezultacie teoria procesów suszenia zajmuje się parametrami kontrolującymi wymianę masy i ciepła w różnych warunkach suszenia. Warunki te z kolei powinny uwzględniać konieczność maksymalnego zachowania pożądanых walorów żywności, takich jak: barwa, smak, zapach, wartość odżywcza, a także powinny zapewniać właściwą wydajność i ekonomiczność procesu.

1.2. Woda w produktach spożywczych

Podstawowym zadaniem suszenia żywności jest obniżenie poziomu zawartości wody w materiale do poziomu, powyżej którego nie występuje już obawa rozwoju niepożądanych drobnoustrojów. Ponadto, zmniejszenie zawartości wody prowadzi do zwolnienia szybkości reakcji chemicznych oraz ułatwia dystrybucję i składowanie produktów.

Dostępność wody dla rozwoju drobnoustrojów oraz ich aktywności biochemicznej jest określona nie tylko ogólną zawartością wody, ale również charakterem powiązań wody z żywnością, a ściślej ze składnikami żywności.

Stopień i charakter powiązania wody z żywnością może być ustalony za pomocą wielu metod a między innymi przez:

- 1) oznaczenie wody nie zamarzającej,
- 2) pomiary magnetycznego rezonansu jądrowego,
- 3) wyznaczenie dielektrycznych właściwości żywności,
- 4) określenie właściwości sorpcyjnych.

Część wody zawartej w żywności jest silnie powiązana ze specyficznymi centrami polarnymi, takimi jak: grupy hydroksylowe polisacharydów, grupy karboksylowe i aminowe białek itp., na których woda może być unieruchamiana za pomocą (mostków) wodorowych, oddziaływań jon – dipol oraz innych silnych interakcji. Część wody wchodzącej w skład żywności, oprócz wody związanej fizykochemicznie w specyficznych centrach, znajduje się w kapilarach materiałów porowatych i jest powiązana fizycznie. Ponadto pewna część wody występuje w stanie wolnym lub jest słabiej powiązana z żywnością. Względnie jest to woda spełniająca rolę rozpuszczalnika składników żywności. Ze względu na obecność w niej substancji rozpuszczonych ma ona ograniczoną prężność pary, co określone jest prawem Raoult'a. W zależności od stężenia substancji rozpuszczonych aktywność wodna materiałów wilgotnych może być różna, w przypadku wody kapilarnej zależy także od promienia kapilar. W idealnych warunkach aktywność wodna powinna być równa liczbowo ułamkowi wody w roztworze. Według Duckworth'a woda związana na specyficznych centrach oraz pewna część wody pozostajej w żywności nie rozpuszczają substancji rozpuszczalnych. Wykazał on ponadto, że każda substancja rozpuszczalna tworzy roztwór przy określonej aktywności wodnej, a obecność innych nierozpuszczalnych składników nie wpływa na wartość aktywności wodnej (24)*.

Substancje rozpuszczalne i koloidalne (mono- i polisacharydy, białka, sole) zawarte w żywności mogą podlegać przemianom fazowym, których wystąpienie może być uzależnione od obecności wody. Sorpcja wody w takich układach jest skomplikowana i wiąże się z kinetyką procesu suszenia. Zagadnienie to można przykładowo opisać na podstawie zachowania się sacharozy w kilku stanach podczas sorpcji wody. Podczas szybkiego przebiegu procesu suszenia materiału, sacharoza tworzy stan bezpostaciowy. W tym stanie pochłania ona parę wodną i osiąga poziom sorpcji znacznie wyższy niż sacharoza krystaliczna pochłaniająca zwykle małą ilość wody. Różnica ta wynika z większej powierzchni wewnętrznej materiału amorficznego, dostępnej sorpcji pary wodnej oraz z większej penetracji wody w strukturę wiązań wodorowych. Struktura ta w stanie bezpostaciowym jest mniej regularna niż w stanie krystalicznym. Adsorpcja wody prowadzi do rozerwania pewnych wiązań wodorowych (między grupami funkcyjnymi) i zwiększenia ruchliwości cząsteczek, a ta z kolei umożliwia przejście cukru z metastabilnego stanu bezpostaciowego w stan krystaliczny. Rekrytalizacja, przebiegająca bardzo wolno przy małych wilgotnościach względnych atmosfery, ulega przyspieszeniu, z przejściowym ochłodzeniem wody, przy większych wilgotnościach względnych powietrza.

Przebieg procesu sorpcji wody w żywności jest związany z suszeniem w następujący sposób:

- 1) określa optymalną zawartość wody i aktywność wodną, do których powinien być suszony materiał, aby uzyskać odpowiednią stabilność produktu;
- 2) wiąże zawartość wody w materiale z prężnością jej pary, co jest bardzo istotne przy analizie wymiany ciepła i masy w procesie suszenia;
- 3) zależności termodynamiczne, występujące w związku z sorpcją mogą być użyte do oceny zapotrzebowania ciepła w procesie usuwania wody z żywności.

Względna szybkość psucia się żywności zależy w różny sposób od aktywności wodnej. Dotyczy to zarówno rozwoju drobnoustrojów, a co za tym idzie wzrostu zawartości toksyn w żywności, aktywności enzymatycznej jak również brązowienia nieenzymatycznego i utleniania (55,96).

*Cyfry w klamrach oznaczają pozycje literatury, na które autorzy powołują się.



1.3. Właściwości materiałów wilgotnych

1.3.1. Wprowadzenie

Suszeniu poddawane są ciała wilgotne o różnych właściwościach fizykochemicznych, strukturalno-mechanicznych, biochemicznych i innych. Poznanie właściwości materiału wilgotnego pozwala na racjonalny wybór metody suszenia i konstrukcji aparatury. Materiały suszone są zazwyczaj ciałami kapilarno-porowatymi, które można podzielić na grupy:

a) ciała typowo koloidalne (elastyczne żele), w procesie suszenia ciała takie zmieniają wyraźnie swoje wymiary liniowe — kurczą się, zachowując jednocześnie właściwości ciała elastycznego (np. żelatyna, agar-agar itp.).

b) ciała kapilarno-porowate, podczas suszenia stają się kruche, kurczą się nieznacznie, przekształcając się często w proszek,

c) ciała kapilarno-porowate koloidalne mające bezpośrednie cechy dwóch poprzednich grup, ścianki kapilar podczas pochłaniania wody pęcznią, zachowując jednocześnie cechy elastyczności.

W oparciu o badania mechanizmów ruchu ciepła i masy w takich materiałach, ciało koloidalne można traktować jako materiał kapilarno-porowaty, w którym promienie kapilar są tego samego rzędu co wymiary cząsteczek. Zatem wszystkie materiały wilgotne stanowią w takim ujęciu ciała kapilarno-porowate o różnej charakterystyce rozkładu średnic porów, przy czym dla ciał kapilarno-porowatych siła grawitacji praktycznie nie ma wpływu na wydzielenie cieczy. Natomiast w przypadku, w którym obok sił kapilarnych należy uwzględnić siły grawitacji mówi się o ciałach porowatych.

Podczas suszenia zmieniają się właściwości technologiczne materiału suszonego. Zatem przebieg procesu suszenia powinien być ustalony w oparciu o właściwości materiału oraz prawa rządzące zmianami tych właściwości podczas usuwania z niego wody. Ponieważ właściwości technologiczne materiału suszonego zależą od rodzaju związków wody z materiałem, zatem na przebieg procesu suszenia istotny wpływ wywiera charakter wiązania wody z materiałem poddawany suszeniu.

1.3.2. Wiązanie wody z materiałem suszonym

Procesowi usuwania cieczy z ciała wilgotnego towarzyszy naruszenie wiązania ciecz-ciało stałe, na co zużywana jest określona energia. Najwłaściwszym

parametrem do oceny klasyfikacji wiązania wody z materiałem jest wielkość energii wiązania to jest wartość pracy wykonanej przy odbieraniu 1 mola wody od jednostki masy danego ciepła mającego określoną wilgotność. Zgodnie z tą zasadą wszystkie rodzaje wiązania wody z materiałem można podzielić na grupy:

- wiązania chemiczne,
- wiązanie fizyko-chemiczne
- wiązanie fizyczne.

Wiązanie chemiczne występuje wtedy, gdy zawartość wody jest stała i określona stosunkami stechiometrycznymi. Tego rodzaju wiązania są, w porównaniu z innymi wiązaniami, najtrwalsze i na ogół nie podlegają rozerwaniu podczas zwykłego procesu suszenia.

Wiązanie natury fizyko-chemicznej typu mostków wodorowych, adsorpcyjnego i osmotycznego mogą występować w różnych, nie koniecznie ściśle określonych stosunkach. Przyłączeniu cieczy związanej adsorpcyjnie towarzyszy znaczne wydzielanie się ciepła. Główna ilość tak związanej cieczy występuje w postaci monomolekularnej warstwy na powierzchni kapilar ciała porowatego. Woda związana adsorpcyjnie różni się od zwykłej wody. Jej ciepło właściwe jest mniejsze od jedności, ma właściwości sprężystego ciała stałego, nie ma natomiast zdolności rozpuszczania elektrolitów lub jest rozpuszczalnikiem zmiennym. Pod pojęciem cieczy związanej adsorpcyjnie należy rozumieć nie tylko ciecz na zewnętrznej powierzchni makrocząsteczek, lecz również ciecz zaadsorbowaną na powierzchniach wewnętrznych. Ciała wysoko spolimeryzowane pochłaniają znaczne ilości cieczy bez wydzielania ciepła (pęcznieją). Tego rodzaju proces jest związany z osmozą cieczy przez półprzepuszczalne ścianki zamkniętych komórek ciała, utworzonych z nierozpuszczalnej frakcji polimeru. Frakcja rozpuszczalna nie przenika przez ścianki, ale dostaje się do jej wnętrza w czasie formowania struktury. Powstaje w ten sposób różnica ciśnienia osmotycznego frakcji rozpuszczonej.

Wiązanie fizyczne. Do tego rodzaju wiązania jest zaliczane wiązanie strukturalne (ciecz przyłączona podczas tworzenia się struktury ciała), wiązanie kapilarne i wiązanie zwilżania (przyłączania wody podczas jej bezpośredniego kontaktu z powierzchnią ciała). Ciecz kapilarną można podzielić na ciecz w makrokapilarach (promień kapilary większy od 10^{-7} m) i ciecz w mikrokapilarach (promień mniejszy od 10^{-7} m). Podział na mikro- i makrokapilary jest uwarunkowany mechanizmem ruchu fazy gazowej. Mianowicie, w kapilarach w których promień jest mniejszy od długości drogi cząsteczek, ruch masy odbywa się na drodze efuzji (przepływ molekularny), natomiast w kapilarach o średnicy większej od drogi swobodnej cząsteczek w danych warunkach, ruch ten ma charakter dyfuzyjny. (Średnia droga swobodna cząsteczki dla normalnego ciśnienia barometrycznego wynosi właśnie około 10^{-7} m).



1.3.3. Rodzaje wilgotności materiałów

Wilgotność (względna) X' – jest to zawartość wody w materiale wilgotnym wyrażona stosunkiem jednostek masy wody do jednostek masy wilgotnego materiału

$$X' = \frac{m_A}{m} \frac{\text{kg wody}}{\text{kg wilg. mat.}} \quad (1.1)$$

przy czym

$$m = m_A + m_s$$

gdzie m_s – jednostka masy suchego materiału.

Wilgotność właściwa (bezwzględna) X – jest to zawartość wody w materiale wilgotnym wyrażona stosunkiem jednostek masy wody do jednostek masy suchego materiału

$$X = \frac{m_A}{m_s} \frac{\text{kg wody}}{\text{kg such. mat.}} \quad (1.2)$$

Najczęściej wilgotność materiału wyrażona jest w procentach masowych

$$X' = 100 \frac{m_A}{m} = 100 \frac{m_A}{m_A + m_s} \% \quad (1.3)$$

$$X = 100 \frac{m_A}{m_s} \quad (1.4)$$

Zależności między tymi wielkościami mają postać:

$$X = \frac{100 X'}{100 - X'} \% \quad (1.5)$$

oraz

$$X' = \frac{100 X}{100 + X} \% \quad (1.6)$$

Wilgotność równowagowa X_r — jest to zawartość wody w materiałach, która znajduje się w stanie równowagi z parą o danej prężności i temperaturze. Jest to więc minimalna wilgotność do której można teoretycznie wysuszyć materiał w danych warunkach prowadzenia procesu bez naruszenia jego struktury chemicznej.

Wilgoć związana jest to woda zawarta w materiale wilgotnym, znajdująca się w warunkach, w których prężność pary nad jego powierzchnią jest mniejsza niż prężność równowagowa pary nad czystą wodą w danej temperaturze. Obejmuje więc cały obszar zwany higroskopijnym.

Wilgoć niezwiązana odnosi się do wody w materiale, która przekracza równowagową prężność pary, równą prężności pary czystej wody w tej samej temperaturze. Jest to wilgoć w materiale, stanowiąca nadmiar w stosunku do wilgoci związanej.

Wilgoć swobodna jest to wilgoć w materiale, będąca w nadmiarze w stosunku do wilgoci równowagowej $X_r - X_r$. Innymi słowy jest to ta woda w materiale wilgotnym, którą można usunąć w danych warunkach prowadzenia procesu suszenia bez naruszania jego struktury chemicznej.

Z punktu widzenia rozmieszczenia wody w ciele rozróżnia się następujące rodzaje wilgoci:

Wilgoć powierzchniowa, którą stanowi warstewka wody pokrywająca powierzchnię materiału suszonego, stykająca się z czynnikiem suszonym.

Wilgoć kapilarna jest to woda wypełniająca pory i kanaliki materiałów porowatych.

Wilgoć komórkowa — jest to woda stanowiąca strukturalny składnik danego materiału, której ubytek powoduje zmniejszenie objętości materiału (kurczenie się).

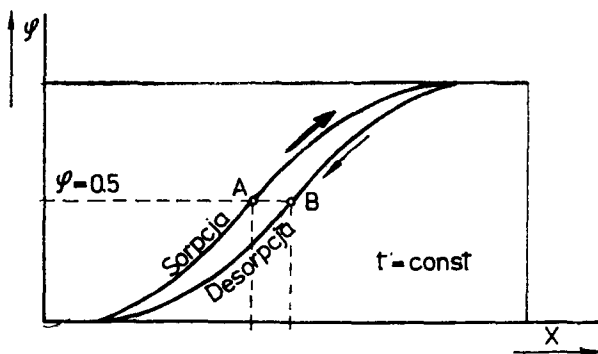
1.3.4. Równowaga suszarnicza

Woda znajdująca się w zewnętrznej warstwie materiału suszonego wywiera pewną prężność pary, której wartość zależy od: charakteru wilgoci, rodzaju materiału i temperatury. Wilgoć ta może dyfundować od materiału wilgotnego do czynnika suszącego, gdy równowagowa prężność pary wodnej nad materiałem jest większa niż prężność pary wodnej nad materiałem jest większa niż prężność cząstkowa pary wodnej w czynniku suszącym. Odparowaniu wilgoci towarzyszy wówczas desorpcja wilgoci z powierzchni materiału. Odparowanie wilgoci z materiału zachodzi od momentu osiągnięcia przez układ stanu równowagi, wówczas prężność równowagowa pary wodnej nad materiałem wilgotnym

i prężność cząstkowa pary wodnej w czynniku suszącym są sobie równe. W warunkach kiedy prężność cząstkowa pary wodnej w czynniku (nośniku) jest większa niż prężność pary wodnej nad materiałem wilgotnym następuje dyfuzyjny ruch wilgoci do materiału, który będzie nawilżany aż do momentu osiągnięcia stanu równowagi. Występuje wówczas sorpcja wilgoci.

Poznanie stanu równowagowego materiału wilgotnego stanowi ważny element dla określenia wiązania wilgoci z materiałem oraz ma duże znaczenie praktyczne w technologii suszenia. Przez dostatecznie długi kontakt materiału z powietrzem przy stałej temperaturze można ustalić zależność pomiędzy równowagową zawartością wilgoci w materiale i wilgotnością powietrza. Szereg punktów uzyskanych przy różnych wilgotnościach powietrza i w tej samej temperaturze wyznacza krzywa zwana **izotermą**. W zależności od sposobu osiągnięcia równowagi rozróżniamy **izotermy sorpcji i desorpcji**.

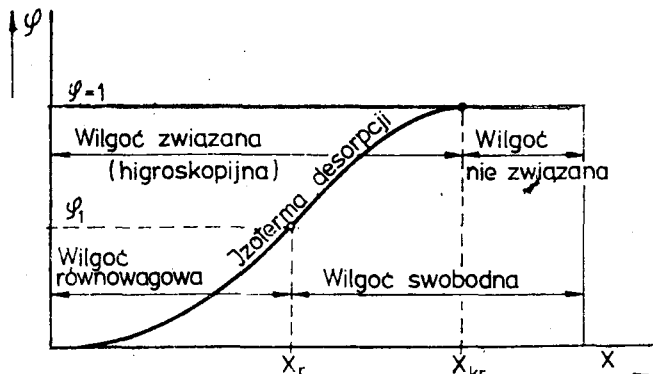
Na wykresie, w układzie: wilgotność względna powietrza φ – wilgotność bezwzględna materiału X , dla tego samego ciała otrzymujemy inny przebieg krzywej równowagowej sorpcji wilgoci (nawilżanie materiału) i inny dla desorpcji wilgoci (suszenie). Zjawisko to nosi nazwę histerezy suszarniczej (rys. 1.1). Dla rysunku 1.1 – krzywa desorpcji wykazuje zawsze większą wartość wilgotności równowagowej dla danej prężności pary niż krzywa sorpcji.



Rys. 1.1. Izotermy sorpcji i desorpcji

Znajomość równowagowej krzywej sorpcji i desorpcji ma szczególne znaczenie w technice suszenia. Na przykład nie jest celowe suszenie materiału do zawartości wilgoci poniżej p . A jeżeli materiał ma następnie znajdować się w powietrzu o większej wilgotności względnej niż $\varphi = 0,5$. Gdyby zachodziła konieczność przechowywania produktu o mniejszej zawartości wilgoci w tych warunkach, musiałby on być natychmiast umieszczony w odpowiednim hermeticznym opakowaniu.

Na podstawie znajomości równowagi suszarniczej na rysunku 1.2 przedstawiono graficznie różne rodzaje wilgoci dla ciała o wilgotności X , będącego w kontakcie z gazem o wilgotności względnej φ w stałej temperaturze t .



Rys. 1.2. Graficzne przedstawienie rodzajów wilgoci w materiale

1.3.5. Strukturalno-mechaniczne właściwości materiałów wilgotnych

W celu ustalenia charakteru fizykochemicznych zmian struktury ciała w procesie, wpływających na jakość produktu, prowadzi się badania właściwości strukturalno-mechanicznych materiałów wilgotnych. Badania takie należy prowadzić w warunkach zbliżonych do warunków panujących w procesie suszenia.

Cechą ogólną środowiska porowatego jest obecność w ciele stałym pustych przestrzeni, tzw. porów. Zarówno pory, jak również szkielet ciała porowatego może mieć złożony kształt oraz różne rozmiary geometryczne. Pory mogą być ze sobą połączone (kanaliki) lub zamknięte. Część przestrzeni porów posiadająca wzajemne połączenie nazywana jest niekiedy **efektywną powierzchnią pustą ciała porowatego**.

Prawa rządzące ruchem ciepła i masy w układach porowatych określone są za pomocą charakterystyk strukturalnych ciała. Złożoność i różnorodność struktury kapilarnej materiałów porowatych powoduje konieczność stworzenia modeli ciał kapilarno-porowatych. Rozpatrywanie podstawowych zależności strukturalnych takich modeli to szerokie zagadnienie, którym zajmują się dyscypliny z pogranicza chemii fizycznej oraz inżynierii chemicznej (114).

1.4. Właściwości wilgotnego powietrza

1.4.1. Wprowadzenie

Najbardziej rozpowszechnionym czynnikiem suszącym stosowanym w różnego typu suszarkach, a zwłaszcza konwekcyjnych jest powietrze. Przez podgrzanie lub zmieszanie z gazami spalinowymi temperatura powietrza wzrasta, zyskuje ona zasób ciepła, które może być wykorzystane dla odparowania wilgoci. Powietrze takie przekazuje ciepło do materiału wilgotnego, pochłaniając jednocześnie wilgoć. Czynnik suszący powinien przepływać przez suszarkę w takiej ilości i o takich parametrach, aby mógł pobrać całą ilość odparowanej wilgoci, w przypadku suszenia konwekcyjnego, aby mógł przekazać do materiału wymaganą ilość ciepła.

Do przeprowadzenia obliczeń suszarniczych jest konieczna znajomość parametrów termodynamicznych powietrza wilgotnego i ich zmiany w toku procesu suszenia. Powietrze wilgotne traktuje się dla uproszczenia, jako mieszaninę tylko dwóch składników: gazu suchego i pary wodnej.

1.4.2. Podstawowe parametry powietrza wilgotnego

Parametry stanu wilgotnego powietrza odnosi się do powietrza suchego, ponieważ jest on inertem w przebiegu procesu suszenia. Jeżeli wilgoć zawarta w powietrzu znajduje się wyłącznie w fazie gazowej, to traktując mieszaninę jako gaz jednorodny, można stosować ogólne równanie stanu

$$PV = mRT \quad (1.7)$$

Podobnie mając na uwadze fakt, że ciśnienie stosowane w technice suszarniczej nie jest wysokie, a temperatury są odległe od temperatury krytycznej, mieszaninę pary wodnej i powietrza można traktować jako gaz doskonały. Stosując prawo Daltona w odniesieniu do powietrza wilgotnego otrzymuje się:

$$P = p_A + p_B \quad (1.8)$$

gdzie: p_A — prężność cząstkowa pary wodnej,
 p_B — prężność cząstkowa powietrza suchego.

Zawartość pary wodnej w jednostce objętości powietrza wilgotnego nie może przekroczyć pewnej określonej wielkości maksymalnej, zależnej od ciśnienia i temperatury. Ta maksymalna zawartość pary wodnej w powietrzu jest tym większa, im temperatura powietrza jest wyższa a ciśnienie niższe. Jeżeli w danych warunkach ciśnienia i temperatury powietrze zawiera maksymalną ilość pary wodnej, mówimy że jest ono **nasycone**. W innych przypadkach mamy do czynienia z powietrzem **nasyconym** parą wodną.

Wilgotność **bezwzględna powietrza (masowa)** „Y” zwana też wilgotnością absolutną lub zawartością wilgoci, oznacza masę pary wodnej, przypadającej na jednostkę masy suchego powietrza

$$Y = \frac{m_A}{m_B} \frac{\text{kg pary wodnej}}{\text{kg suchego powietrza}} \quad (1.9)$$

Jest to podstawowa wielkość stosowana w obliczeniach urządzeń suszarniczych. Wykorzystując równanie stanu gazu (1.7) w odniesieniu do suchego powietrza i pary wodnej można napisać:

$$p_B V = m_B R_B T \quad (1.10)$$

$$p_A V = m_A R_A T \quad (1.11)$$

dzieląc równanie (1.11) i (1.10) stronami otrzyma się

$$Y = \frac{m_A}{m_B} = \frac{p_A R_B}{p_B R_A} \quad (1.12)$$

Podstawiając do równania (1.12) wartość stałej gazowej powietrza $R_B = 287 \text{ J/kg.K}$ i stałej gazowej pary wodnej $R_A = 461,5 \text{ J/kg.K}$ oraz korzystając z wzoru (1.8) otrzymuje się:

$$Y = 0,622 \frac{p_A}{P - p_A} \quad (1.13)$$

Z równania (1.13) wynika, że prężność cząstkowa pary wodnej przy określonym ciśnieniu całkowitym mieszaniny jest jedynie funkcją wilgotności bezwzględnej Y i odwrotnie

$$p_A = \frac{pY}{0,622 + Y} \quad (1.14)$$



Jeżeli masę pary wodnej i powietrza wyrazić w molach, otrzyma się **wilgotność bezwzględną molową**.

$$Y_m = \frac{p_A}{p_B} \text{ mol A/mol B} \quad (1.15)$$

przy czym

$$Y = Y_m \frac{M_A}{M_B} \text{ kg A/kg B} \quad (1.16)$$

Wilgotność bezwzględna powietrza jest największa wówczas, gdy prężność cząstkowa pary wodnej p_A osiągnie wartość prężności nasycenia p_{As} w danej temperaturze powietrza. Dalsze doprowadzenie wilgoci powoduje tworzenie się mgły.

Zawartość wilgoci w stanie nasycenia można wyznaczyć z równania

$$Y_s = 0,622 \frac{p_{As}}{P - p_{As}}, \quad (1.17)$$

wilgotność bezwzględną molową w stanie nasycenia określa równanie

$$Y_{ms} = \frac{p_{As}}{P - p_{As}} \quad (1.18)$$

wartość Y_{ms} zależy od ciśnienia całkowitego, natomiast wilgotność bezwzględna masowa Y_s jest zależna ponadto od rodzaju gazu. Wilgotności bezwzględne w stanie nasycenia osiągają wartości nieskończenie duże w temperaturze wrzenia cieczy. Zawartość wilgoci w stanie nasycenia Y_s jest największą zawartością wilgoci znajdującą się w fazie gazowej w powietrzu o temperaturze, której odpowiada prężność nasycenia p_{As} . Para wodna zawarta w powietrzu jest wówczas parą suchą nasyconą. Dla mniejszej zawartości wilgoci ($Y < Y_s$) w powyższej temperaturze para zawarta w powietrzu jest parą przegrzaną a powietrze jest wówczas nienasycone.

Wilgotność względna powietrza φ . Pod tym pojęciem rozumie się stosunek prężności cząstkowej pary wodnej w powietrzu p_A do prężności pary wodnej nasyconej p_{As} w tej samej temperaturze.

$$\varphi = \frac{p_A}{p_{As}} \quad (1.19)$$

Dla $Y = 0$, to jest dla powietrza suchego, również $\varphi = 0$; dla $Y = Y_s$ wilgotność względna jest równa jedności $\varphi = 1$. Jeżeli znana jest wilgotność względna powietrza φ oraz prężność pary wodnej nasyconej w określonej temperaturze (t), wtedy prężność cząstkowa pary wodnej wyznacza się z zależności:

$$p_A = \varphi p_{As} \quad (1.20)$$

Uwzględniając równanie (1.20) w równaniu (1.13) otrzyma się:

$$Y = 0,622 \frac{\varphi p_{As}}{P - \varphi p_{As}} \quad (1.21)$$

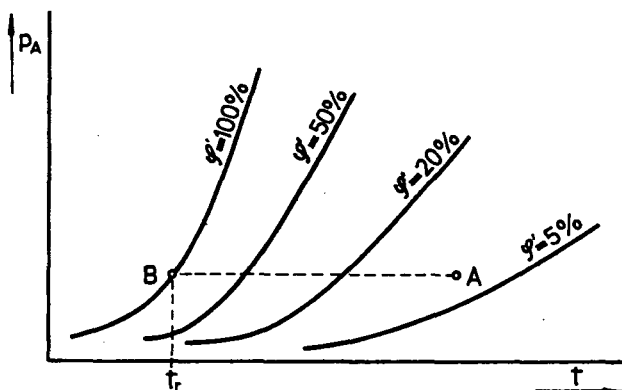
wilgotność względną często wyraża się w procentach

$$\varphi' = 100\varphi = 100 \frac{p_A}{p_{As}} \quad (1.22)$$

skąd

$$p_A = \frac{\varphi'}{100} p_{As} \quad (1.23)$$

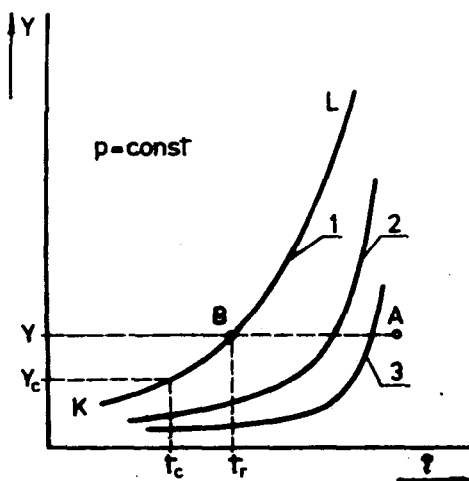
Na podstawie równania (1.23) można sporządzić wykres zależności prężności cząstkowej pary wodnej w powietrzu od temperatury i wilgotności względnej wyrażonej w procentach.



Rys. 1.3. Zależność prężności cząstkowej (p_A) pary wodnej od temperatury (t) i wilgotności względnej powietrza φ' (t_r – temperatura punktu rosy)

Wykres taki przedstawia rysunek 1.3. Na osi odciętych odkłada się temperatury od 0 do 100°C, a na osi rzędnych prężności cząstkowe pary wodnej. Podstawiając do równania (1.23) odczytane z tablic prężności pary nasyconej w danej temperaturze otrzyma się krzywą dla $\phi' = 100\%$. Podstawiając do tego równania odpowiednio wartości wilgotności względnej, równe 20%, 40%, 60% itd., otrzyma się na wykresie szereg krzywych charakterystycznych dla różnych wartości tego parametru.

Nasycenie procentowe „ ψ ” (procentowa wilgotność bezwzględna). Wilgotność ta jest zdefiniowana wyrażeniem $\psi = \frac{Y}{Y_s} 100$, gdzie wartość Y_s jest obliczona dla temperatury suchego termometru mieszaniny. Graficznym obrazem tej zależności jest wykres przedstawiony na rysunku 1.4, sporządzony w układzie $Y = f(t)$. Na wykresie tym wilgotność w stanie nasycenia jest wyznaczona na podstawie równania (1.17), w ten sposób został wyznaczony przebieg krzywej 1 (dla $\psi = 100\%$). Krzywa 2 dla 50% nasycenia procentowego, wykreślona jest jako linia posiadająca rzędne dla odpowiednich temperatur, równe połowie rzędnych dla krzywej 1. W podobny sposób są naniesione krzywe dla innych wartości wilgotności procentowej.



Rys. 1.4. Zależność wilgotności bezwzględnej (Y) od temperatury (t) i nasycenia procentowego (ψ)

Krzywa 1 – nasycenie procentowe $\psi = 100\%$

Krzywa 2 – nasycenie procentowe $\psi = 50\%$

Krzywa 3 – nasycenie procentowe $\psi = 25\%$

Temperatura punktu rosy „ t_r ” – to temperatura, w której mieszanina gazu (powietrza i pary wodnej) osiągnie stan nasycenia podczas chłodzenia pod stałym ciśnieniem bez kontaktu z fazą ciekłą. Jeżeli nienasyconą mieszaninę

gazów (p. A rysunek 1.3 lub 1.4) ochłodzić przy stałym ciśnieniu bez kontaktu z fazą ciekłą wówczas proces ochłodzenia przebiega wzdłuż linii AB, mieszanina osiąga wyższy stan nasycenia w miarę obniżania temperatury, wreszcie uzyskuje stuprocentowe nasycenie w p. B, odpowiadającym temperaturze t_r – **temperaturze punktu rosy**. Na wykresie (rysunek 1.4) wszystkie mieszaniny gazowe o wilgotności bezwzględnej równej Y mają tę samą temperaturę punktu rosy. Obniżenie temperatury mieszaniny gazowej poniżej temperatury punktu rosy np. od t_r do t_c , spowoduje wydzielanie się ciekłej wody z mieszaniny, przy czym mieszanina w dalszym ciągu pozostaje nasycona.

Ilustracją graficzną takiego procesu jest linia BC (rysunek 1.4). Masę skondensowanej pary wodnej na jednostkę masy suchego powietrza można obliczyć jako różnicę $Y - Y_c$.

Objętość wilgotną „v” definiuje się jako objętość zajmowaną przez masę $(1 + Y)$ powietrza wilgotnego i oblicza się z równania:

$$v = 22,4 \left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y}{M_A} \right) \frac{273 + t}{273} = 22,4 \left(\frac{1}{29} + \frac{Y}{18} \right) \frac{T}{273} \quad (1.24)$$

przy czym wilgotność bezwzględna Y może być zawarta w granicach od 0 do Y_c . Dla powietrza nasyconego w danej temperaturze w 100% parą wodną ostatnie równanie przybierze postać:

$$v_s = 22,4 \left(\frac{1}{29} + \frac{Y_s}{18} \right) \frac{T}{273} \quad (1.25)$$

Znajomość objętości wilgotnej o mianie $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg such. pow.}} \right)$ pozwala na obliczenie objętości całkowitej mieszaniny powietrza i zawartej w nim wilgoci V wyrażonej w m^3 , jeżeli jest znana masa powietrza suchego m_B wyrażona w kg. Korzysta się wówczas z zależności:

$$V = m_B v \quad (1.26)$$

Gęstość powietrza wilgotnego ρ oblicza się z wzoru

$$\rho = \frac{1 + Y}{v} \quad (1.27)$$

Entalpia „i” powietrza odnosi się do jednostki masy powietrza suchego, a więc do masy $(1 + Y)$ kg powietrza wilgotnego. Entalpia powietrza wilgotnego „i” [kJ/kg] jest określona jako suma entalpii suchego powietrza i_B oraz entalpii zawartej w nim wilgoci $Y i_A$.

$$i = i_B + Y i_A \quad (1.28)$$

Entalpia suchego powietrza w temperaturze $[t]$ wynosi:

$$i_B = c_B t \quad (1.29)$$

gdzie: c_B — ciepło właściwe powietrza suchego.

Dla entalpii pary wodnej zawartej w powietrzu jako poziom odniesienia przyjmuje się stan ciekły w temp. 0°C , w obliczeniach należy więc uwzględnić ciepło parowania w tej temperaturze — r_o . Entalpia pary wodnej w temperaturze (t) będzie wówczas równa:

$$i_A = c_A t + r_o \quad (1.30)$$

Uwzględniając ostatnie równanie, entalpię 1 kg suchego powietrza oraz Y kg towarzyszącej mu pary wodnej można przedstawić w jednej z dwóch postaci:

$$i = c_B t + (c_A t + r_o) Y \quad (1.31)$$

$$i = (c_B + c_A Y) t + r_o Y \quad (1.32)$$

Wprowadzając pojęcie ciepła właściwego powietrza wilgotnego c_H (tak zwanego „ciepła wilgotnego”), to jest ciepła właściwego mieszaniny składającej się z 1 kg powietrza suchego i Y kg pary wodnej można napisać

$$c_H = c_B + C_A Y \quad (1.33)$$

oraz

$$i = c_H t + r_o Y \quad (1.34)$$

Dla powietrza nasyconego należy w równaniu na entalpię uwzględnić temperaturę oraz zawartość wilgoci w stanie nasycenia t_s i Y_s . Wówczas można napisać

$$i_s = c_B t_s + (c_A t_s + r_o) Y_s \quad (1.35)$$

Temperatura suchego termometru „t” jest to temperatura mieszaniny parowo-gazowej, wyznaczona przez zanurzenie w niej termometru, którego czujnik nie jest zwilżony.

Temperatura wilgotnego termometru „t_w” w teorii procesu suszenia jest jednym z ważnych parametrów charakteryzujących stan wilgotnego powietrza. Wielkość tę można zdefiniować jako temperaturę równoważną osiąganą przez małą ilość cieczy odparowującej do dużej ilości (masy) nienasyconej mieszaniny powietrza z parą wodną. W odpowiednich warunkach temperaturę wilgotnego termometru można wykorzystać do pomiaru zawartości wilgoci w powietrzu. Jeżeli termometr, którego kulka termometryczna jest owinięta gazą zanurzoną w wodzie, umieścić w szybko poruszającym się strumieniu nienasyconej mieszaniny powietrza z parą wodną, to temperatura wskazywana przez taki termometr po pewnym czasie osiągnie wartość niższą niż temperatura wskazywana przez termometr suchy. Różnica temperatur ($t - t_w$) jest proporcjonalna do wilgotności powietrza.

W celu poznania podstaw teoretycznych omawianego zjawiska należy rozważyć kroplę wody zanurzoną w przepływającym, z prędkością powyżej 4 m/s, strumieniu nienasyconej mieszaniny powietrza z parą wodną. Jeżeli ciecz ma początkowo temperaturę wyższą niż temperatura punktu rosy to pręężność cieczy będzie na powierzchni kropki wyższa od pręężności cząstkowej pary w gazie i ciecz będzie odparowywać oraz dyfundować do gazu. Ciepło wymagane do odparowania będzie dostarczone początkowo kosztem obniżenia się temperatury kropki. Z chwilą obniżenia się temperatury cieczy poniżej temperatury gazu wskazywanej przez termometr suchy, ciepło będzie płynąć od gazu do cieczy z prędkością wzrastającą w miarę wzrostu różnicy temperatur. Po pewnym czasie natężenie przepływu ciepła od gazu do cieczy stanie się równe ilości ciepła wymaganego do odparowania. Temperatura cieczy ustali się na pewnym poziomie, odpowiadającym temperaturze wilgotnego termometru t_w . Należy założyć, że powierzchnia rozpatrywanej kropki wynosi $A \text{ m}^2$ oraz, że w jednostce czasu odparowuje się $W \text{ kg/s}$ wody w temperaturze wilgotnego termometru t_w , w której ciepło parowania wynosi $r_w \text{ kJ/kg}$. Zaniedbując ilość ciepła potrzebnego do przegrzania cieczy od temperatury t_w do temperatury suchego termometru mieszaniny gazowej t , to ilość ciepła potrzebną do odparowania można wyrazić równaniem :

$$q = r_w W \quad (1.36)$$

Jednocześnie dla ustalonego ruchu ciepła mamy

$$q = \alpha(t - t_w) A \quad (1.37)$$

gdzie: α — współczynnik wnikania ciepła.



Stosując do omawianego przypadku równanie ruchu masy, zgodnie z którym ilość pary wodnej W , dyfundującej w jednostce czasu do strumienia powietrza jest proporcjonalna do siły napędowej procesu, wyrażonej w postaci różnicy wilgotności bezwzględnych powietrza w warunkach nasycenia w temperaturze wilgotnego termometru Y_w i wilgotności bezwzględnej powietrza przepływającego wokół kropli wody Y oraz do współczynnika masy k_y , można napisać:

$$W = k_y(y_w - Y) A \quad (1.38)$$

oraz uwzględniając równanie (1.36)

$$q = W r_w = k_y(Y_w - Y) A r_w \quad (1.39)$$

Porównując równanie (1.39) i (1.37) otrzymuje się

$$t - t_w = \frac{r_w(Y_w - Y)}{\frac{\alpha}{k_y}} \quad (1.40)$$

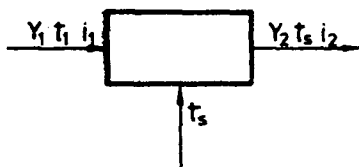
Otrzymane równanie (1.40) jest najczęściej wykorzystywane w praktyce do odczytywania z wykresów lub tablic wilgotności Y na podstawie pomiarów t i t_w . Równanie to, zwane **równaniem temperatury wilgotnego termometru**, można również przedstawić w postaci:

$$\frac{Y_w - Y}{t - t_w} = \frac{\alpha}{k_y} \frac{1}{r_w} \quad (1.41)$$

1.4.3. Adyabatyczne nasycenie powietrza

Proces nasycenia powietrza jest przedstawiony schematycznie na rysunku 1.5. Do komory, w której następuje dobry kontakt powietrza z wodą, doprowadza się strumień powietrza o wilgotności Y_1 i temperaturze t_1 . Powietrze przepływające przez aparat nawilża się i chłodzi. Należy założyć, że proces nawilżania zachodzi w sposób adyabatyczny, to jest bez wymiany ciepła z otoczeniem. Jeżeli kontakt między wodą a powietrzem jest dostatecznie duży aby doprowadzić wodę i powietrze do stanu równowagi wtedy można przyjąć,

że powietrze odpływające z komory jest nasycone parą wodną w temperaturze t_s . Ponieważ część wody odparowuje do powietrza, straty należy uzupełnić poprzez doprowadzenie wody o temperaturze t_s .



Rys. 1.5. Schemat adiabatycznego nasyce-
nia powietrza

Dla omawianego procesu można napisać bilans entalpowy odniesiony do temperatury t_s . Wówczas entalpia wody dodawanej jako uzupełnienie będzie równa zeru. Całkowita entalpia powietrza jest równa wówczas entalpii powietrza wylotowego. Entalpia powietrza wlotowego i_1 , zgodnie z równaniem (1.34) będzie równa

$$i_1 = c_{H_1}(t_1 - t_s) + r_s Y_1 \quad (1.42)$$

Entalpia powietrza wylotowego, zgodnie z zależnością $t_1 = t_s$, będzie równa

$$i_2 = r_s Y_s \quad (1.43)$$

$$c_{H_1}(t_1 - t_s) + r_s Y_1 = r_s Y_s \quad (1.44)$$

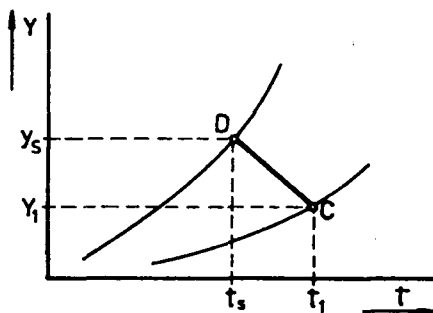
Stąd po przekształceniu

$$\frac{Y_s - Y_1}{t_1 - t_s} = \frac{c_{H_1}}{r_s} \quad (1.45)$$

albo pamiętając, że „ciepło wilgotne” zgodnie z równaniem (1.33) można wyrazić za pomocą zależności $c_{H_1} = c_{B_1} + c_{A_1} Y_1$, równanie (1.45) można przedstawić w postaci:

$$\frac{Y_s - Y_1}{t_1 - t_s} = \frac{c_{B_1} + c_{A_1} Y_1}{r_s} \quad (1.46)$$

Jest to **równanie linii adiabatycznego nasycenia**. Proces taki może być przedstawiony na wykresie (rys. 1.6) za pomocą linii CD.



Rys. 1.6. Adiabatyczne nasycenie powietrza

Ponieważ temperatura powietrza wlotowego t_1 i wilgotność Y_1 są znane, punkt C charakteryzujący parametry powietrza wilgotnego może więc być naniesiony na wykres. Ponieważ powietrze opuszcza aparat nawilżający w stanie nasycenia, to współrzędne t_s i Y_s , określające parametry powietrza odlotowego, wyznaczają punkt D położony na linii 100% nasycenia.

Wyznaczenie punktu D można również dokonać przez poprowadzenie z punktu C linii pod kątem φ , którego $\operatorname{tg} \varphi = -\frac{c_{H1}}{r_s}$, aż do przecięcia się z linią nasycenia 100% (punkt D). Linia CD nosi nazwę adiabaty. W przybliżeniu można ją traktować jako prostą, chociaż w wyniku zależności $c_H = f(Y)$ linia ta jest lekko wygięta. Nachylenie adiabat stopniowo zwiększa się przy wzroście temperatury t_s , zgodnie z równaniem adiabaty, ponieważ ciepło parowania r_s maleje ze wzrostem temperatury. Dla każdej mieszaniny parowo-gazowej istnieje temperatura adiabatycznego nasycenia t_s taka, że przez dostatecznie długi kontakt z cieczą w temperaturze t_s gaz będzie nawilżany i chłodzony aż do warunków odpowiadających stanowi nasycenia (Y_s i t_s). W procesie adiabatycznego nasycenia powietrza parą wodną gęstość mieszaniny powietrza i pary wodnej rośnie mimo, że zwiększa się w powietrzu zawartość składnika o mniejszej masie cząsteczkowej ($M_A = 18$), w porównaniu z masą cząsteczkową powietrza ($M_B = 29$). O wzroście gęstości mieszaniny decyduje wpływ spadku temperatury t_1 do t_s . Wychodząc z równania (1-24), określającego objętość wilgotną v

$$v = 22,4 \left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y}{M_A} \right) \frac{273 + t}{273} \frac{\text{m}^3}{\text{kg such. pow.}}$$

oraz wyrażając gęstość mieszaniny za pomocą równania (1.27)

$$\rho = \frac{1 + Y}{v} = \frac{(1 + Y) 273}{22,4 \left(\frac{1}{29} + \frac{Y}{18} \right) (273 + t)} \text{ kg/m}^3 \quad (1.47)$$

a następnie eliminując z ostatniego równania temperaturę przez wykorzystanie równania temperatury adiabatycznego nasycenia (1.45) otrzymuje się:

$$\rho = \frac{273(1 + Y)}{22,4 \left(\frac{1}{29} + \frac{Y}{18} \right) \left[(Y_s - Y) \frac{r_s}{c_H} + (t_s + 273) \right]} \quad (1.48)$$

Z obliczeń wynika, że pochodna z tego równania $\frac{d\rho}{dY}$ w zakresie aż do bardzo wysokich temperatur (około 900°) jest dodatnia. Oznacza to, że gęstość powietrza ρ wzrasta podczas adiabatycznego nasycenia praktycznie w całym zakresie techniki suszarniczej.

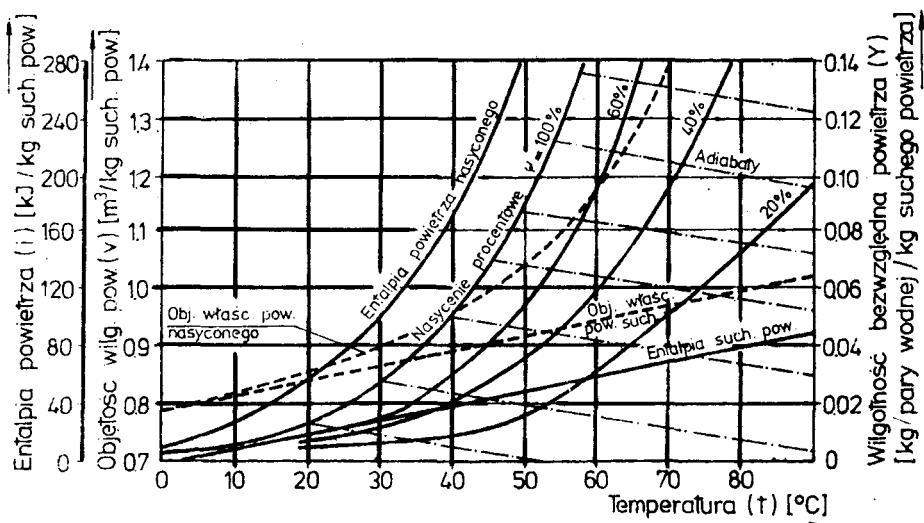
Stosunek współczynnika wnikania ciepła do współczynnika wnikania masy, pznaczony jako „stosunek psychrometryczny” dla procesu odparowania wody do strumienia powietrza można wyrazić za pomocą zależności:

$$\frac{\alpha}{k_y} = c_H$$

Należy zauważyć, że wówczas równanie temperatury wilgotnego termometru jest praktycznie identyczne z równaniem temperatury adiabatycznego nasycenia. Mamy zatem do czynienia z mieszaniną para wodna-powietrze, krzywe nasycenia adiabatycznego (adiabaty) przedstawione na rysunku 1.6 mogą być użyte zamiast równania (1.41).

1.4.4. Wykres psychrometryczny

Szerokie zastosowanie w teorii i praktyce procesu nawilżania powietrza znalazł wykres psychrometryczny (wykres Garbera) przedstawiony na rysunku 1.7. Na wykresie tym wilgotność bezwzględna, nasycenie procentowe, objętość wilgotna, entalpia oraz linie adiabatycznego nasycenia są wykreślone w zależności od temperatury



Rys. 1.7. Wykres psychrometryczny dla układu gazowego: powietrze-para wodna pod ciśnieniem 0,1 MPa

1.5. Ruch ciepła i masy w procesie suszenia

1.5.1. Wprowadzenie

Podczas suszenia materiałów wilgotnych występuje jednoczesny ruch ciepła i masy zarówno wewnątrz ciała, jak i w warstwie granicznej na powierzchni międzyfazowej. Na przebieg suszenia istotny wpływ wywierają zarówno zewnętrzne warunki otoczenia, jak i wewnętrzna struktura suszonego ciała. Obydwa te czynniki decydują w różnym stopniu o szybkości wymiany ciepła i masy, przy czym w pierwszym okresie suszenia pojawia się dodatkowy opór związany z procesami wymiany zachodzącymi wewnątrz suszonego ciała [11, 68, 115, 128].

1.5.2. Ruch ciepła

Warunki ruchu ciepła w suszarkach odznaczają się dużą różnorodnością form. Na przykład kształt cząstek materiału suszonego często różni się od

prawidłowych kształtów geometrycznych. W praktyce suszarniczej najczęściej występują jednocześnie w różnych proporcjach i odgrywają rolę wszystkie rodzaje ruchu ciepła, a więc promieniowanie, przewodzenie i konwekcja [46, 114].

1.5.2.1. Ruch ciepła przez promieniowanie

Źródłem promieniowania cieplnego czyli podczerwonego są wszystkie ciała o temperaturze podwyższonej w stosunku do otoczenia. Oczywiście natężenie tego promieniowania jest uwarunkowane poziomem temperatury powierzchni ciała promieniującego. Promieniowanie cieplne obejmuje zakres długości fal od 0,8 do 400 μm , przy maksimum energetycznym w przedziale 1-7 μm . Ilość energii przekazywanej przez promieniowanie dla przypadku, kiedy powierzchnie ciał są w stosunku do siebie równoległe lub kiedy powierzchnia ciała emitującego A_1 jest zamknięta wewnątrz powierzchni ciała odbierającego ciepło A_2 , wyraża zależność:

$$Q_{1-2} = A_1 C_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] W \quad (1.49)$$

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0} \right)} \quad (1.50)$$

gdzie: C_{1-2} – współczynnik promieniowania $W/(m^2 \cdot K^4)$,

C_1, C_2 – współczynniki promieniowania ciepła 1 i 2.

Współczynniki promieniowania można znaleźć w odpowiednich tablicach, gdzie dla różnych ciał są przytoczone wartości tzw. względnej zdolności emisyjnej ε

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0} \quad (1.51)$$

gdzie: C_0 – współczynnik promieniowania ciała doskonale czarnego = 5,68 $W/(m^2 \cdot K^4)$,

C – współczynnik promieniowania materiału suszonego zwykle w zakresie 3,9 – 5,4 $W/(m^2 \cdot K^4)$.

W przypadku wymiany ciepła przez promieniowanie między powierzchniami o różnym położeniu w przestrzeni, współczynnik C_{1-2} należy pomnożyć przez tzw. współczynnik kierunkowy lub można wyznaczyć z zależności:

$$C_{1-2} = \frac{C_1 C_2}{C_0} \quad (1.52)$$

Obliczenie ruchu ciepła przez promieniowanie jest dogodne przeprowadzić w oparciu o zastępczy współczynnik wnikania ciepła przez promieniowanie α_1 . Wówczas

$$Q_{1-2} = A_1 \alpha_r (t_1 - t_0) \quad (1.53)$$

gdzie: t_1 , t_0 – odpowiednio temperatura ciała emitującego i temperatura odniesienia. Przyjmując temperaturę odniesienia równą temperaturze płynu t_f otrzymuje się:

$$\alpha_r = \frac{Q_{1-2}}{A_1 (t_1 - t_f)} = \frac{C_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{t_1 - t_f} \quad (1.54)$$

1.5.2.2. Przewodzenie ciepła

Ruch ciepła przez przewodzenie na miejsce w warunkach bezpośredniego kontaktu ciał. Ze względu na to, że przewodnictwo cieplne materiału wilgotnego jest znacznie wyższe niż materiału suchego nie stanowi ono głównego oporu ruchu ciepła w procesie suszenia. Przy rozpatrywaniu przewodzenia ciepła w ciałach ziarnistych należy przede wszystkim określić ułożenie warstw powietrza w materiale i kierunek przepływu strumienia cieplnego.

Na rysunku 1.8 przedstawiono skrajne przypadki ułożenia warstw powietrza w materiale porowatym w stosunku do kierunku ruchu ciepła. Ilość przekazywanego przez przewodzenie ciepła wynosi odpowiednio:

$$Q_1 = A \frac{\lambda_1}{\delta} (t_1 - t_2) W \quad (1.55)$$

$$Q_2 = A \frac{\lambda_2}{\delta} (t_1 - t_2) W \quad (1.56)$$

gdzie: δ – grubość ciała porowatego mierzona w kierunku ruchu ciepła,
 λ_1, λ_2 – pozorne współczynniki przewodzenia ciepła, wyznaczone z następujących równań.

$$\lambda_1 = (1 - \varepsilon) \lambda_s + \varepsilon \lambda_B \quad \text{W/(m.k)} \quad (1.57)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{\frac{1 - \varepsilon}{\lambda_s} + \frac{\varepsilon}{\lambda_B}} \text{ W/(m.k)} \quad (1.58)$$

gdzie: ε – porowatość materiału,
 λ_s – współczynnik przewodzenia ciepła suchego materiału,
 λ_B – współczynnik przewodzenia ciepła dla powietrza.

Wartości λ_1 i λ_2 są dla tego samego materiału różne przy czym równoległemu ułożeniu warstw powietrza odpowiadają wyższe wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ_1 niż prostopadłemu [64, 114].

W zależności od kształtu warstwy, przez którą jest przewodzone ciepło, ilość tego ciepła można obliczyć z równania Fouriera:

– dla ścianki płaskiej jednowarstwowej

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) A \quad \text{W} \quad (1.59)$$

gdzie: t_{w1}, t_{w2} – temperatury na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni ścianki,
– dla ścianki rurowej

$$Q = \frac{2\pi \lambda L (t_{w1} - t_{w2})}{\ln \frac{r_z}{r_w}} \text{ W} \quad (1.60)$$

gdzie: r_z – promień zewnętrzny ścianki rurowej,
 r_w – promień wewnętrzny ścianki rurowej,
– dla ścianki kulistej

$$Q = \frac{4\pi \lambda}{\frac{1}{r_w} - \frac{1}{r_z}} (t_{w1} - t_{w2}) \text{ W} \quad (1.61)$$

1.5.2.3. Konwekcyjny ruch ciepła i wnikanie

W konwekcyjnym ruchu ciepła energia jest przenoszona za pośrednictwem poruszających się cząsteczek płynów (najczęściej gazów). W następstwie kontaktu cząstek płynnego nośnika ciepła z powierzchnią materiału następuje wnikanie ciepła i dalsze jego rozprzestrzenianie w materiale na zasadzie przewodzenia. Do praktycznych obliczeń stosuje się równanie Newtona:

$$q = \alpha(t_f - t_w) \quad \text{W/m}^2 \quad (1.62)$$

Wielkość α nosi nazwę współczynnika wnikania ciepła; t_f , t_w – temperatury otaczającego ośrodka i powierzchni ciała.

$$\alpha = \frac{q}{t_f - t_w} \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{K)} \quad \text{lub} \quad \text{kcal/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h)} \quad (1.63)$$

Najczęstszym przypadkiem mającym zastosowanie w technice suszarniczej jest wnikanie ciepła podczas opływu ciał suszonych przez gaz. Otrzymuje się wówczas następujące rozwiązanie dla $0,5 < Pr < 50$ i $Re < 10^5$:

$$Nu = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (1.64)$$

gdzie: Pr – liczba Prandtla,
 Re – liczba Reynoldsa,
 Nu – liczba Nusselta.

Równoczesny ruch ciepła przez wnikanie i promieniowanie opisać można za pomocą zależności:

$$q = (\alpha + \alpha_r)(t_w - t_f) \quad \text{W/m}^2 \quad (1.65)$$

gdzie: α – współczynnik wnikania ciepła, zdefiniowany równaniem (1.63),
 α_r – zastępczy współczynnik wnikania ciepła przez promieniowanie zdefiniowany równaniem (1.54),
 t_w , t_f – temperatury powierzchni ciała i otaczającego ośrodka.

1.5.3. Jednoczesny ruch ciepła i masy

Podczas kontaktu wilgotnego materiału z ogrzanym powietrzem opływającym ciało woda z powierzchni odparowuje. Występujący w procesie od-

parowania wody ruch masy, w kierunku prostopadłym do kierunku przepływu czynnika suszącego, wpływa na stan warstwy przysciennej, co z kolei warunkuje zmiany wartości współczynnika wnikania ciepła. Woda odparowana przenika w wyniku dyfuzji do otaczającego ośrodka.

1.5.3.1. Dyfuzyjny ruch masy

Dyfuzją nazywa się proces ruchu masy w kierunku ustalania się, w rozpatrywanym układzie, równowagowego rozkładu stężeń. W mieszaninie, o jednorodnej temperaturze i ciśnieniu, proces dyfuzji jest skierowany w kierunku wyrównywania stężeń w układzie. Następuje przy tym ruch masy od obszaru o mniejszym stężeniu. Mamy tu do czynienia z tzw. dyfuzją stężeniową, która odgrywa główną rolę w dyfuzyjnym ruchu masy.

W przypadku mieszaniny dwuskładnikowej, jednorodnej z punktu widzenia temperatury i ciśnienia, prędkość masowa składnika „i” w wyniku dyfuzji cząsteczkowej (molekularnej) określa prawo Ficka

$$\omega_{Di} = -D \frac{\partial \rho_i}{\partial y} \text{ kg/(m}^2 \text{ s)} \quad (1.66)$$

gdzie: D – współczynnik dyfuzji.

Siłą napędową warunkującą dyfuzyjny ruch masy jest tutaj gradient stężenia, podobnie jak w przypadku ruchu ciepła gradient temperatury.

Dla mieszaniny pary wodnej i powietrza, tj. dla przykładu najczęściej spotykanego w technice suszarniczej, współczynnik dyfuzji może być obliczony z równania

$$D = \frac{2,28 \cdot 10^{-10}}{P} \left(\frac{T}{273} \right)^{1,8} \text{ m}^2/\text{s} \quad (1.67)$$

gdzie: P – ciśnienie całkowite mieszaniny para wodna-powietrze.

Wykorzystując równanie stanu gazu doskonałego zależność (1.66) można napisać w postaci:

$$\omega = -D_p \frac{\partial p}{\partial y} \quad (1.68)$$

gdzie: p – prężność cząstkowa danego składnika N/m^2 ,

$D_p = \frac{D}{RT}$ – współczynnik dyfuzji cząstkowej odniesiony do gradientu prężności cząstkowej składnika dyfundującego.



Jeżeli temperatura mieszaniny jest zmienna to niezależnie od dyfuzji stężonej powstaje tzw. **dyfuzja termiczna**, w ogólności polegająca na ruchu masy skierowanym od powierzchni o temperaturze wyższej w kierunku temperatury niższej. Z teorii kinetycznej gazów wynika, że jeżeli masa cząsteczek dwóch składników jest różna, to w wyniku termodyfuzji cząsteczki o większej masie dążą do obszaru o niższej temperaturze, jeżeli natomiast masa cząsteczek jest prawie jednakowa, to do obszaru o niższej temperaturze zdążają cząsteczki większe objętościowo.

Termodyfuzja prowadzi do powstania gradientu stężenia. Z kolei pojawienie się gradientu stężenia wywołuje **dyfuzję stężeniową** dążącą do wyrównania stężeń. W rezultacie z upływem czasu dochodzi do stanu ustalonego, w którym równoważą się przeciwnie skierowane wpływy termodyfuzji i dyfuzji stężeniowej. Jednak zazwyczaj przy małych różnicach temperatur termodyfuzja jest nieznaczna i całkowity strumień masy odpowiada strumieniowi wynikłemu z różnicy stężeń. Ponadto, jeżeli w mieszaninie występuje gradient ciśnienia, to może pojawić się dyfuzja wynikająca z niejednorodności ciśnienia. Ten rodzaj dyfuzji jest nazywany **barodyfuzją**. Przy barodyfuzji cząsteczki cięższe dążą do obszaru podwyższonego ciśnienia, a lżejsze do obszaru obniżonego ciśnienia. Barodyfuzja występuje jednak dopiero przy znacznych spadkach ciśnienia, co w procesach powierzchniowego ruchu masy i ciepła, towarzyszących suszeniu występuje bardzo rzadko.

Tak więc w wyniku dyfuzji cząsteczkowej na całkowitą prędkość masową danego składnika składają się strumienie masy wynikłe z dyfuzji termicznej i barodyfuzji.

Wymienione wyżej mechanizmy dyfuzyjnego ruchu masy nie ograniczają się oczywiście do zjawisk i procesów wymiany masy zachodzących podczas suszenia w strefie powierzchniowej suszonego materiału. Odgrywają one również decydującą rolę w ruchu masy wewnątrz materiału suszonego. Jest to szczególnie ważne zwłaszcza w drugim okresie suszenia, kiedy to dyfuzyjny ruch wilgoci z wnętrza materiału ku powierzchni limituje szybkość procesu suszenia. Decydującą rolę wśród sił napędzających ruch masy wewnątrz ciała suszonego odgrywa oczywiście dyfuzja stężeniowa. Nie należy jednak lekceważyć znaczenia i roli termodyfuzji oraz barodyfuzji, zwłaszcza w końcowej fazie suszenia kiedy temperatura wnętrza ciała suszonego osiąga wartość maksymalną.

Zgodnie z podkreśloną wyżej istotą termo- i barodyfuzji celowe jest ich wykorzystanie dla przyspieszenia ruchu wilgoci wewnątrz materiału przy jednoczesnym oszczędnym doprowadzeniu ciepła z zewnątrz. Jeżeli bowiem obniżyć, w końcowej fazie temperaturę powierzchni ciała suszonego przy intensywnym odprowadzeniu oparów, to wówczas można osiągnąć stan charak-

teryzujący się wyższą temperaturą wnętrza materiału niż jego powierzchni, co automatycznie zwiększa rolę termo- i barodyfuzji przy oszczędnym wydatkowaniu energii.

Doświadczenia wykazały, że przy takim wyeksponowaniu termicznych sił napędowych dyfuzyjnego ruchu wilgoci wewnątrz materiału można osiągnąć.

- przyspieszenie procesu suszenia przy zmniejszonym zużyciu ciepła,
- zmniejszenie szkodliwego oddziaływania wysokiej temperatury na jakość wysychającego produktu,
- poprawę struktury materiału suszonego.

W poruszającym się płynie ruch masy występuje nie tylko w wyniku dyfuzji cząstkowej, ale i w wyniku konwekcji. Prędkość masową strumienia konwekcyjnego określa równanie:

$$\omega_k = \rho u \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \quad (1.69)$$

gdzie: ρ – gęstość mieszaniny,

u – prędkość strumienia konwekcyjnego.

W analogii do wnikania ciepła, proces molekularnego oraz stężeniowego i konwekcyjnego ruchu masy określa się jako wnikanie masy. W obecności poprzecznego strumienia masy, powstałego w wyniku odparowania cieczy, proces wnikania ciepła staje się bardziej złożony. Występuje tu jednoczesny ruch ciepła i masy.

Podobnie jak dla praktycznych obliczeń dotyczących ruchu ciepła korzysta się z równania:

$$q = \alpha(t_w - t_f) \quad \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

tak w przypadku ruchu masy obowiązuje zależność:

$$\omega = k_x(\rho_w - \rho_f) \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \quad (1.70)$$

Równanie (1.69) można również zapisać w innej postaci:

$$\omega = k_G(p_w - p_f) \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \quad (1.71)$$

gdzie: p_w, p_f – prężności cząstkowe pary na powierzchni odparowania i w dużej odległości od tej powierzchni.

Współczynniki k_x, k_G są związane zależnością:

$$k_G = \frac{k_x}{RT} \quad (1.72)$$



1.5.4. Przewodnictwo ciepłne materiałów wilgotnych

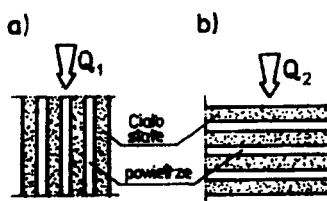
Wilgoć zawarta w materiale wywiera znaczny wpływ na wartość współczynnika przewodzenia ciepła danego materiału. W przypadku napełnienia wszystkich porów materiału wodą współczynnik przewodzenia ciepła λ można łatwo wyznaczyć korzystając z zależności przytoczonych uprzednio dla absolutnie suchego materiału. Przewodnictwo ciepłne materiału nasyconego wilgocią różni się od wartości tego parametru dla materiału suchego tylko tym, że zamiast współczynnika przewodzenia ciepła dla powietrza λ_p należy uwzględnić współczynnik przewodzenia ciepła cieczy wypełniające pory i kapilary λ_c .

Dla dwóch skrajnych przypadków, przedstawionych na rysunku 1.8 (przy zastąpieniu powietrza przez wodę), wykorzystując równania (1.57) i (1.58), można wyznaczyć współczynnik przewodzenia materiałów nasyconych wilgocią λ_{1w} (dla przypadku a) oraz λ_{2w} (dla przypadku b) z zależności:

$$\lambda_{1w} = (1 - \varepsilon) \lambda_s + \varepsilon \lambda_c \quad (1.73)$$

$$\lambda_{2w} = \frac{1}{\frac{1 - \varepsilon}{\lambda_s} + \frac{\varepsilon}{\lambda_c}} \quad (1.74)$$

Wartości współczynników przewodzenia ciepła materiału suchego i nasyconego wilgocią mogą być wykorzystane do określenia struktury ciała stałego, a dokładniej do uzyskania danych o wzajemnym ułożeniu elementów składowych materiału.



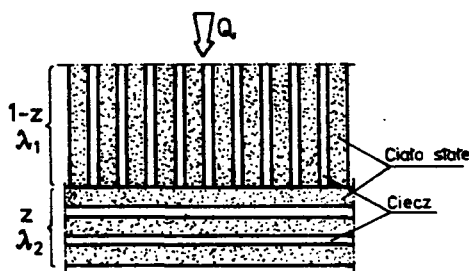
Rys. 1.8. Ułożenie warstw powietrza w materiale porowatym w stosunku do kierunku ruchu ciepła

a) równoległe ułożenie warstw powietrza w materiale w stosunku do strumienia cieplnego Q_1 , b) prostopadłe ułożenie warstw powietrza w materiale w stosunku do strumienia cieplnego Q_2

Należy sobie wyobrazić, że w uproszczonym modelu materiał składa się z dwóch części znajdujących się jedna za drugą w kierunku strumienia cieplnego Q , przy czym jedna część odpowiada przypadkowi a, a druga przypadkowi b (patrz rysunek 1.8).

Rysunek 1.9 przedstawia schemat takiego modelu. Część objętości ciała „z” odpowiada przypadkowi b, kiedy oddzielne cząstki ciała stałego rozłożone są jedna za drugą w kierunku strumienia cieplnego. Pozostała część objętości ciała $(1 - z)$ odpowiada przypadkowi a. Elementy ciała stałego są tu usytuowane równoległe do kierunku ruchu ciepła. Współczynnik przewodzenia ciepła suchego materiału w omówionych dwóch częściach ciała oznacza się $\lambda_{1such.}$ i $\lambda_{2such.}$, wówczas zgodnie z równaniem (1.57) i (1.58)

$$\lambda_{such.} = \frac{1}{\frac{1 - z}{\lambda_{1such.}} + \frac{z}{\lambda_{2such.}}} \quad (1.75)$$



Rys. 1.9. Uproszczony model ciała porowatego

Podobną zależność można otrzymać dla materiału nasyconego wilgocią

$$\lambda_w = \frac{1}{\frac{1 - z}{\lambda_{1w}} + \frac{z}{\lambda_{2w}}} \quad (1.76)$$

Tak więc dla dowolnego materiału należy wyznaczyć doświadczalnie wartości $\lambda_{such.}$ i λ_w , to wykorzystując zależności (1.57) i (1.58) oraz (1.73)÷(1.76), można obliczyć przewodnictwo cieplne materiału. Ponadto można otrzymać pewne dane dotyczące struktury materiału, a mianowicie można znaleźć tę część materiału „z”, której budowa odpowiada przypadkowi b na rysunku 1.8.

Powyższe rozważania dotyczą **przewodnictwa cieplnego w materiale nasyconym wilgocią**, jednakże w miarę zmniejszenia się wilgotności materiału w procesie suszenia następują zmiany przewodnictwa cieplnego. Toteż zagadnienie **przewodnictwa cieplnego materiałów wilgotnych nienasyconych wilgocią** należy omówić oddzielnie.

W materiale wilgotnym, w odróżnieniu od ciała nasyconego wilgocią, w którym pory są wypełnione całkowicie cieczą, część objętości porów może stanowić powietrze. Możliwe są tutaj różne warunki ruchu ciepła, a mianowicie:

1) ruch przez ciało stałe, mówi się wówczas o współczynniku przewodzenia ciepła tego ciała λ_s ,

2) ruch przez ciecz λ_c ,

3) ruch w obszarze wewnętrznym porów przez mieszanie pary z powietrzem, ograniczoną zwilżonymi ściankami porów. Zachodzi tu odparowanie i kondensacja wilgoci; oprócz ruchu ciepła przez przewodzenie w powietrzu λ_B , należy uwzględnić również ruch ciepła z dyfundującą parą λ_{dyf} . dla materiałów wilgotnych, kiedy ruch ciepła zachodzący przez dyfuzję odgrywa dużą rolę wprowadza się pojęcie równoważnego współczynnika przewodzenia ciepła ($\lambda_B + \lambda_{dyf}$),

4) ruch w obszarze wewnętrznym porów przez mieszanie pary i powietrza, ograniczoną suchymi ściankami; nie występuje tu odparowanie i kondensacja wilgoci; o ruchu ciepła decyduje przewodnictwo cieplne powietrza λ_B .

Reasumując rozważania na temat przewodnictwa cieplnego materiałów wilgotnych należy stwierdzić, że wpływ zawartości wody na przewodnictwo cieplne materiałów w procesie suszenia w dużym stopniu zależy od temperatury. Dla wysokich temperatur i średnich wilgotności współczynnik przewodzenia ciepła w materiale jest bardzo wysoki i maleje zarówno dla zmniejszających się, jak i rosnących wilgotności. Dlatego też przewodnictwo cieplne materiału w różnych stadiach procesu suszenia jest różne. Należy jednak zaznaczyć, że w czasie procesu suszenia przewodnictwo cieplne wysuszonych elementów materiału i wnikanie ciepła do (lub od) otaczającego ośrodka ma dominujące znaczenie w ocenie ruchu ciepła w porównaniu z wpływem przewodnictwa cieplnego w wilgotnej części materiału.

1.6. Kinetyka procesu suszenia

1.6.1. Ogólne charakterystyki suszenia

Pod pojęciem kinetyki suszenia rozumie się zmiany średniej wilgotności i średniej temperatury w czasie. Dane takie pozwalają obliczyć ilość odparowanej z materiału wilgoci oraz zużycie energii cieplnej.

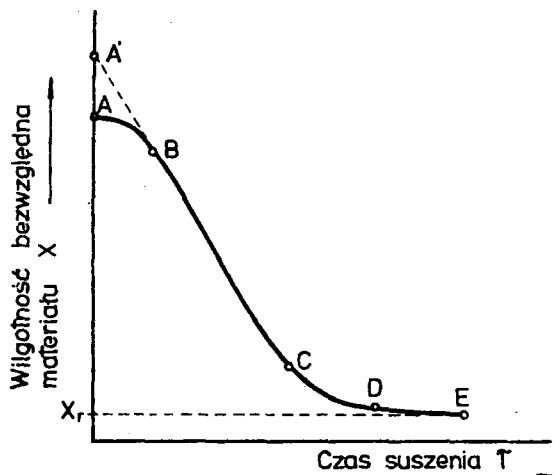
W zależności od złożonego mechanizmu ruchu masy i ciepła wewnątrz materiału oraz od wymiany ciepła i masy między powierzchnią materiału a czynnikiem suszącym zmienia się zawartość wilgoci w materiale i jego temperatura. Ponieważ ruch ciepła i masy w materiale zależy z kolei od charakteru wiązania wody z ciałem poddawany suszeniu, więc kinetyka procesu jest określona w znacznym stopniu przez właściwości fizykochemiczne materiału. Zmiana średniej wilgotności i temperatury ciała w czasie jest jednak określona przede wszystkim przez ruch ciepła i masy między powierzchnią ciała a otaczającym ośrodkiem.

Charakter przebiegu procesu suszenia dogodnie jest śledzić na podstawie wykresów sporządzonych w następujących układach współrzędnych:

- 1) wilgotność materiału – czas suszenia (krzywe suszenia),
- 2) szybkość suszenia – wilgotność materiału (krzywe szybkości suszenia),
- 3) temperatura materiału – wilgotność materiału (krzywe temperaturowe).

Należy podkreślić, że badania kinetyki procesu suszenia prowadzi się przy stałych wartościach temperatury powietrza, jego wilgotności właściwej oraz prędkości przepływu.

Z wykresu ilustrującego krzywą suszenia (rysunek 1.10) wynika jasno, że zmiany wilgotności materiału w czasie suszenia nie pozostają w zależności prostoliniowej. Początkowe stadium podgrzewania materiału charakteryzuje na wykresie odcinek krzywej AB. Okres wstępny jest zazwyczaj tak krótki, że nie bierze się go pod uwagę w rozważaniach dotyczących kinetyki suszenia.



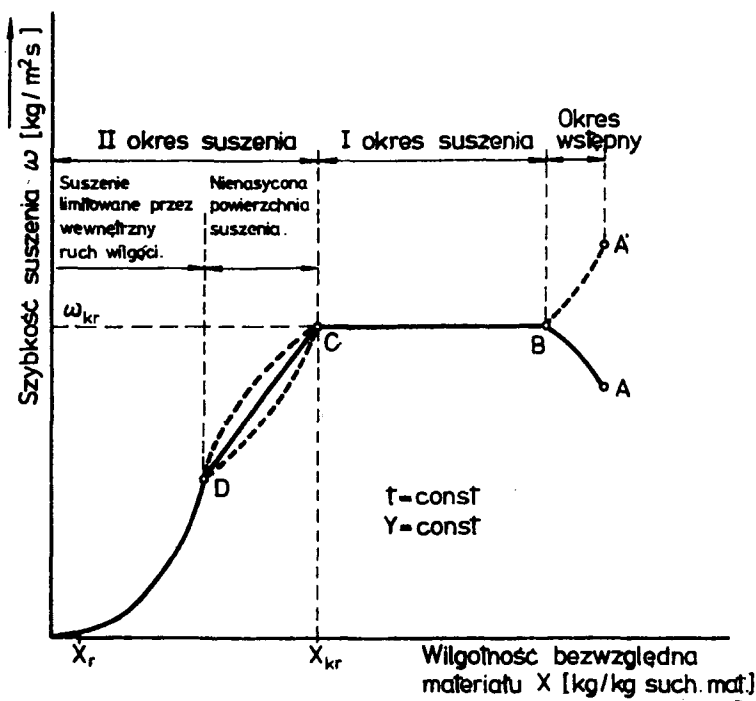
Rys. 1.10. Krzywa suszenia dla warunków ustalonych

Zasadniczy proces suszenia rozpoczyna się od momentu liniowego zmniejszenia wilgotności w czasie (punkt B) aż do tzw. **pierwszego punktu krytycznego C**. W okresie tym szybkość suszenia liczbowo równa się tangensowi kąta pochylenia stycznej do krzywej suszenia jest wielkością stałą. Zatem pierwszy okres suszenia reprezentowany przez odcinek BC nazywa się okresem stałej szybkości suszenia.

Poniżej punktu C następuje drugi okres suszenia, charakteryzujący się coraz wolniejszym zmniejszeniem wilgotności w czasie. Na wykresie linia prosta w punkcie C przechodzi w krzywą zbliżającą się asymptotycznie do równowagowej wilgotności materiału X_r .

Znacznie więcej danych o procesie suszenia można otrzymać przez sporządzenie krzywej szybkości suszenia (rysunek 1.11). Szybkość suszenia można zdefiniować jako ilość wilgoci odprowadzonej z materiału suszonego w jednostce czasu i na jednostkę powierzchni materiału suszonego.

$$\omega = -\frac{m_s}{A} \frac{dX}{d\tau} \text{ kg/(s m}^2\text{)} \quad (1.77)$$



Rys. 1.11. Krzywa szybkości suszenia

Na wykresie przedstawionym na rysunku 1.11, jak i na wykresie ilustrującym krzywą suszenia, można wyróżnić dwa charakterystyczne okresy suszenia:

- I okres o stałej szybkości,
- II okres o szybkości malejącej.

Wyjaśnienie takiego kształtu krzywej szybkości suszenia może być następujące. Powierzchnia materiału wilgotnego przed rozpoczęciem suszenia jest pokryta całkowicie cienką warstwą cieczy, którą należy traktować jako wodę niezwiązaną. W momencie kontaktu takiej powierzchni z powietrzem o małej wilgotności następuje proces odparowania wody. Szybkość z jaką wilgoć odparowuje może być wyrażona za pomocą współczynnika wnikania masy k_Y oraz gradientu wilgotności w gazie na powierzchni warstewki ciekłej Y_s i w głównym strumieniu gaz Y . Tak więc:

$$\omega_{kr} = k_Y(Y_s - Y) \quad (1.78)$$

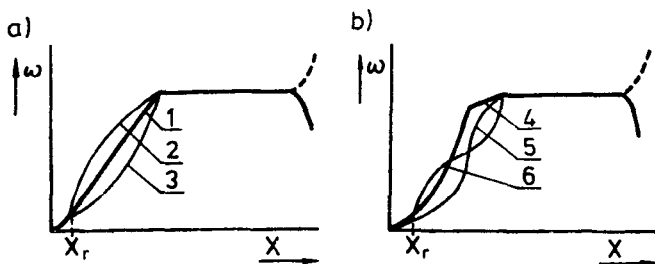
Współczynnik wnikania masy k_Y od powierzchni do gazu przy stałej prędkości i kierunku przepływu gazu w stosunku do materiału pozostanie stały. Wilgotność Y_s odpowiada wilgotności nasycenia w temperaturze warstewki ciekłej pokrywającej materiał t_s i będzie zależna od tej temperatury. Ponieważ odparowanie wilgoci wymaga dostarczenia ciepła równego ciepłu parowania, powierzchnia cieczy osiągnie po pewnym czasie temperaturę równowagi taką, że ilość ciepła przekazywanego do powierzchni od otoczenia będzie równa ciepłu zużywanemu na przemianę fazową. A zatem wilgotność Y_s pozostaje stała. Ponieważ ponadto w wyniku utrzymywania stałych warunków procesu wilgotność gazu Y również nie będzie się zmieniać, to szybkość odparowania między punktami B i C (rysunek 1.10 i 1.11) utrzyma się na stałym poziomie, równym ω_{kr} .

Natomiast w początkowej fazie suszenia zarówno ciało suszone jak i jego powierzchnia pokryta warstewką ciekłą ma niższą temperaturę niż temperatura równowagi t_s i w wyniku tego w zakresie między punktami A i B szybkość suszenia będzie wzrastać aż do momentu kiedy temperatura powierzchni osiągnie wartość aktualną dla odcinka BC. Rzadziej materiał wilgotny poddawany suszeniu jest doprowadzany do suszarki w temperaturze wyższej od temperatury t_s . Wówczas okres wstępny suszenia jest reprezentowany na rysunku 1.10 i 1.11 przez linię przerywaną A' B.

W momencie gdy średnia wilgotność materiału suszonego osiągnie wartość X_{kr} (rysunek 1.11), powierzchnia materiału pokryta warstewką ciekłą ulega stopniowej redukcji, na skutek naturalnej nierówności powierzchni zaczynają się pojawiać na powierzchni ciała suche plamy, które w miarę postępu procesu suszenia zajmują coraz większą część powierzchni całkowitej, będącej w kontak-

cie z czynnikiem suszącym. Rozwija się wówczas obszar o nienasyconej powierzchni suszenia (odcinek CD), który daje początek tzw. drugiemu okresowi suszenia, charakteryzującemu się zmienną (malejącą) wartością szybkości suszenia. Po całkowitym odparowaniu wilgoci z powierzchni materiału, czemu odpowiada na wykresie punkt D, czynnikiem decydującym o szybkości suszenia jest wewnętrzny ruch wilgoci zależny od gradientu stężenia wody między głębszymi warstwami materiału i jego powierzchnią gradient temperatury i ciśnienia. W pewnych przypadkach częściowe odparowanie wody może następować poniżej fizycznej powierzchni ciała w płaszczyźnie przesuwającej się w głąb materiału w miarę przebiegu suszenia. W okresie tym następuje dalsze zmniejszenie szybkości suszenia (zakres DE na wykresie). W punkcie E wilgotność materiału zmniejsza się do wilgotności równowagowej X_r , i proces suszenia ustaje.

W zależności od właściwości materiału suszonego krzywe szybkości suszenia mogą przybrać różne kształty pokazane na rysunku 1.12. Ilustruje on przebieg krzywych suszenia dla różnych materiałów o zróżnicowanej strukturze wewnętrznej i różnej porowatości [58].



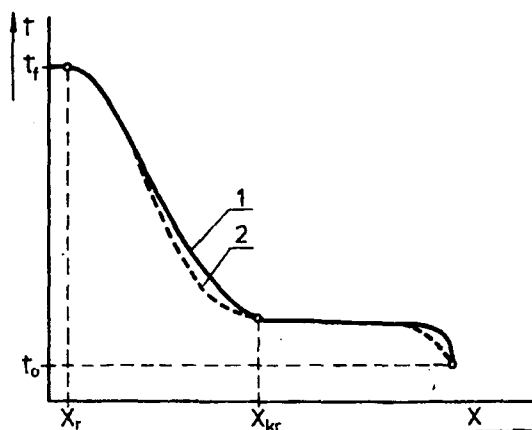
Rys. 1.12. Krzywe szybkości suszenia materiałów wilgotnych

krzywa 1 – ciała kapilarno-porowate o dużej powierzchni odparowania, krzywa 2 – ciała koloidalne, krzywa 3 – ciała kapilarno-porowate o małej powierzchni odparowania, krzywa 4, 5, 6 – układy złożone, ciała kapilarno-porowato-koloidalne

Krzywe szybkości suszenia $\omega = f(X)$ dają w zasadzie jakościowy obraz przebiegu procesu suszenia. Dokładniejsze dane do analizy drugiego okresu suszenia, o zmniejszającej się szybkości suszenia można otrzymać posługując się tzw. **krzywymi temperaturowymi** [58, 76].

Na rysunku 1.13 są przedstawione dwie krzywe charakteryzujące temperaturę powierzchni i wnętrza materiału. Podczas zmniejszania się wilgotności materiału temperatura jego powierzchni szybko wzrasta aż do osiągnięcia

wartości stałej, równej temperaturze wilgotnego termometru (temperatura cieczy odparowującej). Temperatura ta nie zmienia się aż do punktu krytycznego X_{kr} a następnie ponownie wzrasta aż do osiągnięcia równowagowej wilgotności materiału X_r , kiedy staje się równa temperaturze otoczenia t_f .



Rys. 1.13. Krzywe temperaturowe materiałów wilgotnych na powierzchni i w środku materiału

krzywa 1 — temperatura na powierzchni materiału, $^{\circ}\text{C}$, krzywa 2 — temperatura w środku materiału, $^{\circ}\text{C}$, t_o — temperatura początkowa, T_f — temperatura otoczenia

Temperatura w środku materiału o małej porowatości w początkowym okresie suszenia wzrasta nieco wolniej i osiąga temperaturę wilgotnego termometru nieco później. W okresie stałej szybkości suszenia krzywe temperaturowe dla powierzchni materiału i jego głębszych warstw pokrywają się. Tak więc pierwszy okres suszenia charakteryzuje się stałą temperaturą. Nie występuje tu ponadto gradient temperatury wewnątrz materiału. Począwszy od wilgotności krytycznej temperatura w środku ciała suszonego wzrasta wolniej niż na powierzchni, ponownie powstaje więc różnica temperatur między powierzchnią i wnętrzem ciała. Po osiągnięciu wilgotności równowagowej różnica temperatur staje się równa zero.

Dla ciał kapilarno-porowatych zmieniających nieznacznie swoje właściwości w pierwszym okresie suszenia otrzymuje się nieco inne krzywe temperaturowe. W tym przypadku temperatura materiału w dowolnym punkcie nie zmienia się w okresie stałej szybkości suszenia, jednak temperatury powierzchni i środka ciała nie są sobie równe.

Krzywe temperaturowe mają znaczenie w technice suszenia przede wszystkim dlatego, że jakość wysuszonego materiału zależy w znacznym stopniu od temperatury w jakiej jest prowadzony proces suszenia oraz od czasu jego trwania. Temperatura materiału podczas suszenia nie jest równa temperaturze powietrza. W pierwszym okresie suszenia temperatura materiału równa jest zazwyczaj temperaturze mokrego termometru, stąd też w tym okresie można stosować wysokie temperatury czynnika suszącego, przy niewielkiej jego wilgotności. Dlatego też materiały nieodporne na działanie wysokiej temperatury mogą być suszone w pierwszym okresie w wysokiej temperaturze bez wystąpienia niekorzystnych zmian w materiale. Należy przy tym dodać, że im większa jest wilgotność materiału, tym bardziej jest on odporny na działanie wysokich temperatur czynnika suszącego. Ponadto zwłaszcza w drugim okresie suszenia, działanie wysokiej temperatury może okazać się niebezpieczne podczas usuwania z materiału cieczy kapilarnej oraz cieczy związanej siłami osmozy. Krzywe temperaturowe pozwalają na ustalenie najlepszych warunków suszenia z uwzględnieniem właściwości produktu, pozwalają ponadto na ilościową ocenę zawartości różnych rodzajów wilgoci w materiale [29, 76, 114].

1.6.2. Dobór warunków suszenia w zależności od rodzaju materiału

Z punktu widzenia zachowania się materiałów w procesie suszenia mogą być one podzielone na dwie główne grupy. Do pierwszej grupy należą ciała krystaliczne lub zgranulowane, które posiadają wilgoć zawartą w szczelinach między cząstkami lub w otwartych porach. W materiałach takich ruch wilgoci występuje w wyniku siły ciężenia oraz sił kapilarnych i napięcia powierzchniowego. Okres stałej szybkości suszenia występuje aż do stosunkowo małych zawartości wilgoci.

W ciałach stałych pochodzenia organicznego ograniczonego wilgoć stanowi najczęściej integralną część jego struktury lub zamknięta we włóknach i drobnych porach wewnętrznych. Ruch wilgoci jest tu powolny i odbywa się w wyniku dyfuzji cieczy przez wewnętrzną strukturę ciała po rozerwaniu wiązań wody z materiałem. W rezultacie krzywe suszenia takich ciał wykazują występowanie bardzo krótkiego pierwszego okresu kończącego się przy wysokich wartościach wilgotności krytycznej. Również pierwsza część drugiego okresu suszenia (odcinek CD rysunek 1.11) jest krótka, proces suszenia jest tu głównie limitowany przez wewnętrzny, dyfuzyjny ruch wilgoci, który decyduje o ostatecznym przebiegu krzywej suszenia. Ciała należące do tej grupy charakteryzują się

zazwyczaj wysokimi wartościami wilgotności równowagowej X_r . Oznacza to, że znaczna część wilgoci jest tak mocno związana ze strukturą ciała stałego lub znajduje się w tak drobnych porach, że jej prężność pary jest bardzo niewielka. W wyniku tego, że wilgoć stanowi część struktury materiału suszonego, ciała takie mogą zmieniać swoje właściwości w wyniku usuwania wilgoci. Przy dużych szybkościach suszenia ubytek wilgoci może spowodować kurczenie się lub pękanie materiału. W innych przypadkach, co ma najczęściej miejsce podczas suszenia środków spożywczych, może powstawać zewnętrzna, nieprzepuszczalna warstwa hamująca ruch wilgoci z zewnętrznych warstw materiału. W rezultacie wystąpić może nierównomierny rozkład wilgoci w materiale, mogący spowodować pogorszenie się jego właściwości. Biorąc powyższe pod uwagę, należy podkreślić, że dobór odpowiednich warunków prowadzenia procesu suszenia może tu mieć decydujący wpływ na jakość produktu.

1.6.3. Ruch ciepła i masy w pierwszym i drugim okresie suszenia

W procesie suszenia, w wyniku jednoczesnego ruchu ciepła i masy mamy do czynienia z ruchem wilgoci wewnątrz materiału, odparowaniem, a następnie ruchem wilgoci od powierzchni materiału do otaczającego ośrodka. Na skutek ciągłego odprowadzania wilgoci z wewnętrznych warstw materiału do powierzchni i dalszego jej odparowania wilgotność materiału zmniejsza się nie tylko na powierzchni, ale i w głębi ciała. W najprostszym przypadku odparowanie zachodzi z powierzchni fizycznej materiału, a powstała para wnika do otoczenia w wyniku dyfuzji. W najbardziej złożonych przypadkach odparowanie zachodzi również wewnątrz materiału, w całej jego masie lub w określonych strefach, przy czym ruch wilgoci odbywa się zarówno w fazie ciekłej, jak i gazowej. Szybkość ruchu masy zależy od rodzaju wiązania wilgoci w materiale.

Tak więc charakter oraz intensywność procesu suszenia są uwarunkowane mechanizmem ruchu wilgoci od powierzchni do otaczającego ośrodka przez warstwę przyscienną przylegającą do powierzchni międzyfazowej.

Do obliczania ruchu ciepła i masy w pierwszym okresie suszenia można stosować zależności omówione w poprzednim rozdziale. Równania te nie są słuszne jednak w drugim okresie suszenia, kiedy to szybkość suszenia maleje w czasie i czynnikiem limitującym szybkość suszenia jest wewnętrzny ruch wilgoci.

W ciałach pochodzenia organicznego wilgoć wędruje do powierzchni głównie w wyniku dyfuzji cząstkowej. Do obliczenia szybkości ruchu wilgoci można wówczas wykorzystać równanie dyfuzji nie ustalonej, jednokierunkowej w postaci:

$$\frac{dX}{d\tau} = D_c \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \quad (1.79)$$

gdzie: X – wilgotność materiału po czasie τ ,
 x – odległość od środka w dowolnym punkcie,
 D_c – współczynnik dyfuzji.

Scałkowanie równania (1.79) wymaga sprecyzowania warunków graficznych oraz charakterystyki wielkości D_c . Dla przypadków najprostszych współczynnik dyfuzji można przyjąć jako stały.

1.6.4. Czas suszenia

Czas suszenia należy obliczyć oddzielnie dla pierwszego i drugiego okresu ze względu na odmienny charakter krzywych szybkości suszenia. Równanie (1.77) definiując wyjściową szybkość suszenia można przekształcić względem czasu i scałkować. Otrzymamy wówczas:

$$\int_0^{\tau} d\tau = - \frac{m_s}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{\omega} \quad (1.80)$$

gdzie: X_1 – wilgotność materiału w czasie równym zeru (przed suszeniem),
 X_2 – wilgotność materiału w czasie suszenia

Okres stałej szybkości suszenia.

Szybkość suszenia w tym okresie $\omega = \omega_1 = \text{const}$. Z równania (1.80) otrzyma się:

$$\tau_1 = - \frac{m_s}{A \omega_1} (X_{kr} - X_1) = \frac{m_s}{A \omega_1} (X_1 - X_{kr}) \quad (1.81)$$

gdzie: X_{kr} – wilgotność materiału w końcu pierwszego okresu (wilgotność krytyczna),

X_1 – wilgotność materiału przed suszeniem,

τ_1 – czas pierwszego okresu suszenia,

przy czym ω_1 zależy od współczynników wnikania ciepła α i masy k_x między czynnikiem suszącym i powierzchnią materiału.

Złożona i nierównomierna struktura suszonych materiałów porowatych stwarza duże trudności w obliczeniu wilgotności krytycznej. Wilgotność krytyczna zależy od struktury porów, grubości próbki suszonej i szybkości suszenia.

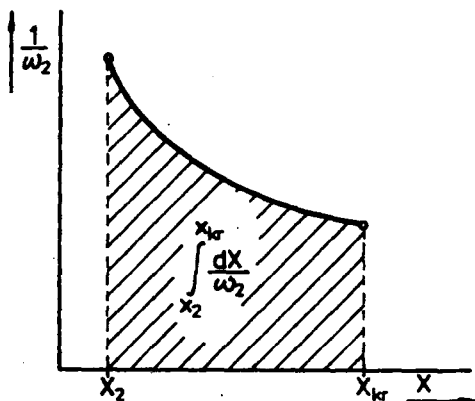
Okres malejącej szybkości suszenia.

Kształt krzywej szybkości suszenia zależy od rodzaju ciała, od szybkości suszenia w pierwszym okresie oraz wilgotności krytycznej. Prędkość przepływu czynnika suszącego, staje się coraz mniej istotna w miarę zmniejszania się szybkości suszenia.

Czas suszenia w drugim okresie oblicza się z równania:

$$\tau_2 = \frac{m_s}{A} \int_{x_2}^{x_{kr}} \frac{dX}{\omega_2} \quad (1.82)$$

gdzie: τ_2 – czas suszenia w drugim okresie od wilgotności krytycznej X_{kr} do wilgotności końcowej X_2



Rys. 1.14. Metoda graficzna obliczania czasu suszenia w drugim okresie suszenia

W tym przypadku jednak szybkość suszenia ω_2 jest zmienna i nie może być wyłączona spod znaku całki. Jeżeli wykres zależności $\omega_2 = f(X)$ jest znany, wtedy jedną z metod wyznaczania wartości całki jest całkowanie graficzne.

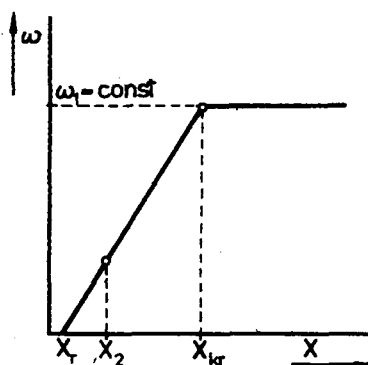
Sporządza się wówczas wykres pomocniczy w układzie osi współrzędnych $\frac{1}{\omega_2} = f(X)$, a następnie planimetrujemy pole zawarte pod krzywą między wartościami X_{kr} i X_2 (rysunek 1.14). Podstawiając otrzymaną wartość do równania (1.82) otrzymuje się poszukiwany czas suszenia.

Jeżeli zależność $\omega_2 = f(X)$ jest liniowa (rysunek 1.15), wówczas możemy napisać:

$$\omega_2 = aX + b \quad (1.83)$$

gdzie: a — nychylenie prostej,

b — stała charakterystyczna dla danego przebiegu prostej.



Rys. 1.15. Liniowy przebieg zależności $\omega = f(X)$, dla drugiego okresu suszenia

Podstawiając równanie (1.83) do równania (1.82) otrzyma się:

$$\tau_2 = \frac{m_s}{A} \int_{X_2}^{X_{kr}} \frac{dX}{aX + b} \quad (1.84)$$

skąd

$$\tau_2 = \frac{m_s}{aA} \ln \frac{aX_{kr} + b}{aX_2 + b} \quad (1.85)$$

ponieważ:

$$\omega_1 = aX_{kr} + b$$

$$\omega_2 = aX_2 + b$$

to

$$a = \frac{\omega_1 - \omega_2}{X_{kr} - X_2}$$

podstawiając wartość a do równania (1.85) otrzyma się:

$$\tau_2 = \frac{m_s}{A} \frac{X_{kr} - X_2}{\omega_1 - \omega_2} \ln \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (1.86)$$

Oznaczając średnią logarytmiczną szybkości suszenia przez wyrażenie:

$$\omega_m = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\ln \frac{\omega_1}{\omega_2}} \quad (1.87)$$

i uwzględniając ją w równaniu (1.86), możemy wyznaczyć czas suszenia w okresie malejącej szybkości suszenia za pomocą równania:

$$\tau_2 = \frac{m_s}{A \omega_m} (X_{kr} - X_2) \quad (1.88)$$

W obydwu omawianych przypadkach obliczania czasu suszenia w drugim okresie suszenia zamiast wilgotności krytycznej, można wstawić dowolną wartość wilgotności początkowej X , zawartej między X_{kr} i X_2 .

1.6.5. Bilans materiałowy i cieplny suszarki

Bilans materiałowy wilgoci. Jedną z wielkości stałych w procesie suszenia jest masa suchego powietrza zawartego w przepływającym przez suszarkę powietrzu wilgotnym (W_B kg suchego powietrza/s).

Wilgoć odprowadzona do suszarki o działaniu ciągłym składa się z następujących pozycji:

- woda wnoszona z materiałem wilgotnym $W_1 X'_1$ (kg/s),
- woda wnoszona z gazem suszącym $W_B Y_o$ (kg/s).

Wilgoć odprowadzona z suszarki składa się z:

- wody zawartej w materiale wysuszonym $W_2 X'_2$ (kg/s),
- wody zawartej w gazach odlotowych $W_B Y_2$ (kg/s).

W warunkach ustalonych masa wilgoci doprowadzonej do suszarki równa jest masie wilgoci odprowadzonej

$$W_1 X'_1 + W_B Y_o = W_2 X'_2 + W_B Y_2,$$

$$W_1 X'_1 - W_2 X'_2 = W_B (Y_2 - Y_o).$$

Masa odparowanej w suszarce wilgoci jest równa lewej stronie ostatniego równania

$$W_A = W_1 X'_1 - W_2 X'_2 = W_B (Y_2 - Y_o)$$

Tak więc masę suchego powietrza lub innego gazu przepływającego przez suszarkę w jednostce czasu, czyli zużycie powietrza do procesu suszenia można obliczyć z zależności:

$$W_B = \frac{W_A}{Y_2 - Y_o} \quad (\text{kg/s})$$

Zużycie właściwe suchego powietrza, przypadające na jednostkę masy (1 kg) odparowanej w suszarce wilgoci, podaje równanie:

$$\frac{W_B}{W_A} = \frac{1}{Y_2 - Y_o} \quad (\text{kg/s}) \quad (1.89)$$

Równanie (1.89) wskazuje, że zużycie właściwe powietrza zależy tylko od wilgotności bezwzględnej powietrza odlotowego (Y_2) oraz powietrza zewnętrznego dopływającego do suszarki (Y_o). Zwiększenie wielkości Y_2 powoduje zmniejszenie zużycia powietrza, natomiast zwiększenie wielkości Y_o – wzrost zużycia. Zużycia powietrza przy tych samych pozostałych parametrach będzie więc mniejsze dla dużych wartości t_2 i ϕ_2 (wielkości te określają wartości Y_2) oraz będzie wzrastać ze wzrostem t_o i ϕ_o . Dlatego też latem zużycie powietrza w suszarce jest większe niż w zimie.

Bilans cieplny suszarek o działaniu ciągłym sporządza się w kJ/s, natomiast dla suszarek o działaniu okresowym – w kJ/na szarżę/próbkę/. Powietrze przed wejściem do suszarki ogrzewa się w podgrzewaczu, ponadto wewnątrz suszarki mogą być zainstalowane dodatkowe powierzchnie grzejne.

Pozycje przychodu ciepła:

- ciepło wnoszone z powietrzem zewnętrznym $W_B i_o$ (kJ),

- ciepło dostarczone do powietrza w podgrzewaczu zewnętrznym Q_z (kJ),
 - ciepło wnoszone z materiałem $W_1 c_m t_{m_1}$ (kJ),
- opierając się na zależności:

$$W_1 = W_2 + W_A$$

ciepło wnoszone z materiałem można zapisać w postaci:

$$W_2 c_m t_{m_1} + W_A t_{m_1}$$

- ciepło wnoszone z urządzeniami transportowymi $W_t c_t r_{t_1}$ (kJ),
- ciepło dostarczone przez podgrzewacze wewnętrzne Q_w (kJ).

Pozycje rozchodu ciepła:

- ciepło odprowadzone z powietrzem odlotowym $W_B i_2$, (kJ),
- ciepło odprowadzone z materiałem wysuszonym $W_2 c_m t_{m_2}$, (kJ),
- ciepło odprowadzone z urządzeniami transportowymi $W_t c_t t_{t_2}$, (kJ),
- ciepło traktowane jako straty do otoczenia Q_s (kJ).

W ustalonych warunkach prowadzenia procesu pozycje przychodu ciepła można porównać do pozycji rozchodu ciepła. Otrzymamy się wówczas:

$$\begin{aligned} W_B i_o + Q_z + W_2 c_m t_{m_1} + W_A t_{m_1} + W_t c_t t_{t_1} + Q_w = \\ = W_B i_2 + W_2 c_m t_{m_2} + W_t c_t t_{t_2} + Q_s \end{aligned}$$

Ciepło zużywane na prowadzenie procesu suszenia można wyrazić następująco:

$$Q = Q_z + Q_w = \quad (1.90)$$

$$= W_B(i_2 - i_o) + W_2 c_m(t_{m_2} - t_{m_1}) + m_t c_t(t_{t_2} - t_{t_1}) + Q_s - W_A t_{m_1}$$

$W_B(i_2 - i_o)$ – ciepło zużywane na zwiększenie entalpii powietrza odlotowego,

$Q_m = W_2 c_m(t_{m_2} - t_{m_1})$ – ciepło używane na podgrzanie materiału,

$Q_t = W_t c_t(t_{t_2} - t_{t_1})$ – ciepło zużywane na podgrzanie urządzeń transportowych,

$W_A t_{m_1}$ – ciepło doprowadzone do suszarki z wilgocią zawartą w materiale,

Q_s – ciepło traczone do otoczenia, proporcjonalnie do powierzchni obudowy aparatu oraz różnicy temperatur po obu stronach obudowy



$$Q_s = \Sigma A K \Delta t \quad (1.90a)$$

gdzie: A – powierzchnia elementów obudowy,

K – współczynnik przenikania ciepła,

Δt – różnica temperatur powietrza po obu stronach obudowy.

Po przyjęciu powyższych oznaczeń, ciepło dostarczone do podgrzewacza zewnętrznego można wyrazić za pomocą zależności:

$$Q_z = W_B(i_2 - i_o) + Q_m + Q_t + Q_s - Q_w - W_A t_{m_1} \quad (1.91)$$

Równanie to służy do obliczenia zużycia ciepła w podgrzewaczu zewnętrznym.

W okresie zimy zużycie ciepła na prowadzenie procesu suszenia może zwiększyć się, jeżeli część wilgoci w materiale znajduje się w postaci lodu. Stwierdzono, że w materiale zamara tylko woda swobodna, natomiast wilgoć związana pozostaje w przechłodzonej fazie ciekłej. Rozmarzanie wymaga dodatkowego zużycia ciepła na ogrzanie lodu do temperatury 0°C i zamianę jego w ciecz w tej temperaturze. Tak więc pozycja Q_m w równaniu (1.91) musi być zwiększona o wielkość:

$$Q_{mL} = W_{AL}(r_L + c_L t_{m_1}) \quad (1.91a)$$

gdzie: W_{AL} – masa wilgoci znajdującej się w postaci lodu (kg/s),

r_L – ciepło topnienia lodu,

c_L – ciepło właściwe lodu,

przy czym

$$W_{A1} = W_1 \frac{X_1 - X_{2L}}{1 + X_2} \quad (1.91b)$$

gdzie: X_{2L} – wilgotność materiału, poniżej której wilgoć nie zamara, a powyżej której wilgoć znajduje się w postaci lodu.

Bilans cieplny dla suszarek o działaniu okresowym sporządza się dla danego cyklu pracy, aparatu w warunkach ustalonych. Jeżeli temperatura czynnika suszącego doprowadzonego do aparatu jest zmieniana w toku procesu, to cały okres pracy suszarki należy podzielić na odcinki czasu, w którym warunki pracy są ustalone. Bilans cieplny sporządza się wówczas dla każdego odcinka czasowego a następnie sumuje się. Do tak otrzymanego zużycia ciepła należy dodać ciepło konieczne do podgrzania obudowy suszarki, w której temperatura obniżyła się w czasie przerwy w pracy, wynikłej z konieczności rozładowania i załadowania aparatu [114].

1.7. Klasyfikacja i wskaźniki pracy suszarek

1.7.1. Klasyfikacja

Istnieje kilka różnych sposobów klasyfikacji suszarek. Spośród wielu kryteriów, jakie bierze się pod uwagę przy podziale suszarek, najczęściej wymienia się następujące:

- ciśnienie panujące w suszarce – suszarki atmosferyczne i próżniowe,
- charakter pracy aparatu – suszarki o działaniu okresowym i ciągłym,
- sposób doprowadzenia ciepła – suszarki konwekcyjne, kontaktowe, radiacyjne, dielektryczne, sublimacyjne,
- rozwiązanie konstrukcyjne – suszarki komorowe, tunelowe, taśmowe, szybowe, bębnowe, walcowe, fontannowe, fluidyzacyjne, pneumatyczne, rozpyłowe, wibracyjne itp.

Nonhebel i Moss [114] podają inną klasyfikację suszarek opartą na:

- metodzie doprowadzenia ciepła (radiacyjne, kontaktowe, konwekcyjne),
- fizycznej postaci materiału suszonego (ciecz, pasta, ciało stałe, materiał zgranulowany, włóknisty itd.),
- wielkości (skala) produkcji (mała skala 20-50 kg/h, średnia skala 50-1000 kg/h, duża skala Mg/h).

Ze względu na różnorodność metod suszenia i ich techniczną realizację najlepiej będzie omawiać suszarki o ścisłym związku z danymi dotyczącymi ich budowy i warunków pracy. Ponieważ jednak zasadniczym warunkiem prowadzenia procesu suszenia jest ruch i zużycie energii na przemianę fazową wilgoci zawartej w materiale, dlatego metody suszenia klasyfikuje się najczęściej w zależności od sposobu dostarczania ciepła do materiału [27].

1.7.2. Wskaźniki pracy suszarki

Sprawność energetyczna suszarki. Ocena pracy suszarki oraz porównanie różnych typów suszarek można dokonać na podstawie określonych wskaźników. Jednym z nich jest sprawność energetyczna suszarki, którą definiujemy jako stosunek energii (ciepła) użytecznej do całkowitej ilości energii zużytej w procesie suszenia.

$$\eta_s = \frac{q_{u\acute{z}y\acute{t}.}}{q_{ca\acute{l}k.}} \quad (1.92)$$

Dla dowolnej suszarki jako ciepło użyteczne dogodnie jest przyjmować ciepło zużyte na odparowanie wilgoci z materiału. Wartość tego ciepła, odniesioną do 1 kg suchego gazu, można wyznaczyć z równania:

$$q_{u\acute{z}yt.} = r(Y_2 - Y_1) \text{ kJ/kg such. gazu} \quad (1.93)$$

gdzie: r – ciepło parowania przyjmowane dla średniej temperatury materiału

$$t_{m'sr} = \frac{t_{m_1} + t_{m_2}}{2}.$$

Jeżeli proces prowadzi się do wysokiego stopnia wysuszenia, wówczas należy również uwzględnić pozycję zużycia energii Δr na pokonanie sił wiązania wilgoci z materiałem.

Ciepło całkowite, tracone na prowadzenie procesu suszenia, dla suszarek konwekcyjnych wyznacza się jako ciepło przyjmowane przez 1 kg gazu w podgrzewaczu

$$q_{calc.} = c_p(t_1 - t_o) \quad (1.94)$$

Jeżeli obliczenia prowadzi się na 1 kg odparowanej wilgoci, to wówczas można równanie (1-92) przedstawić w postaci:

$$\eta_s = \frac{q_{u\acute{z}yt.}}{q_{calc.}} = \frac{r}{q_{podgrz.}} \quad (1.95)$$

lub

$$\eta_s = \frac{r + \Delta r}{q_{podgrz.}} \quad (1.96)$$

gdzie: $q_{podgrz.}$ – zużycie ciepła w podgrzewaczu na 1 kg odparowanej wilgoci. Jeżeli w suszarce jako czynnik suszący wykorzystuje się gorące gazy i w skład instalacji suszarniczej wchodzi palenisko, należy wówczas uwzględnić sprawność paleniska

$$\eta_p = \frac{c_p(t_1 - t_o)}{m_{p.wl.} Q_p} \quad (1.97)$$

gdzie: $m_{p.wl.}$ – zużycie właściwe paliwa na 1 kg suchego gazu (kg/kg),

Q_p – wartość opałowa paliwa, (kJ/kg).

przy czym

$$m_{p.wl.} = \frac{W_p}{W_B} \quad (1.98)$$

gdzie: W_p i W_B – odpowiednio natężenie przepływu masy paliwa i suchego czynnika suszącego, (kg/s).

Uwzględniając powyższe, sprawność energetyczna suszarki będzie równa:

$$\eta_s = \frac{r(Y_2 - Y_1)}{\eta_p m_{p.wl.} Q_p} \quad (1.99)$$

Natomiast sprawność całej instalacji suszarniczej:

$$\eta_{IS} = \eta_{En} \eta_p = \frac{r(Y_2 - Y_1)}{m_{p.wl.} Q_p} \quad (1.100)$$

lub

$$\eta_{IS} = \frac{r(Y_2 - Y_1) W_B}{W_p Q_p} \quad (1.101)$$

Ponieważ zgodnie z równaniem (1.89) $Y_o = Y_1$, to ostatecznie sprawność energetyczną instalacji suszarniczej z paleniskiem można wyrazić za pomocą równania:

$$\eta_{IS} = \frac{rW_A}{W_p Q_p} \quad (1.102)$$

gdzie: W_A – natężenie odparowania wilgoci (kg/s).

Objętościowe natężenie odparowania w_v (kg/m³. s). Objętościowe natężenie odparowania jest to masa wilgoci odparowanej w jednostce czasu, przypadająca na jednostkę objętości danej suszarki.

Powierzchniowe natężenie odparowania w_A (kg/m².s) jest to masa wilgoci odparowanej w jednostce czasu z jednostki powierzchni materiału w suszarce.

Jednostkowe zużycie ciepła jest to ilość ciepła zużyta w suszarce na jednostkę masy wilgotności usuniętej z materiału.

1.8. Suszenie konwekcyjne

Największą grupę suszarek w konwekcyjnej metodzie suszenia stanowią suszarki z opływem warstwy materiału przez czynnik suszący. Są to różne typy konstrukcji suszarek komorowych, suszarki tunelowe, turbinowo-talerzowe, taśmowe, pętlcowe, szybowe oraz suszarki z doprowadzeniem gazu opływającego materiał przez dysze.

1.8.1. Suszarki komorowe – zasada działania, zastosowanie

Suszarki komorowe zazwyczaj składają się z jednej lub kilku komór, w których są umieszczone odpowiednie pojemniki, najczęściej tace, zawierające materiał poddawany suszeniu. Podobną konstrukcję mają również suszarki szafkowe. Różnice między tymi suszarkami polegają jedynie na wymiarach. Suszarki szafkowe są obsługiwane od zewnątrz, natomiast suszarki komorowe są dostępne dla obsługi również od wewnątrz. Podczas suszenia z wymuszonym ruchem gazów, czynnik suszący (gorące powietrze lub inny gaz) jest poruszany względem powierzchni materiału suszonego za pomocą wentylatorów. Tace mogą być perforowane; czynnik suszący może wówczas przepływać przez warstwę materiału lub nad jej powierzchnią, czyli mamy do czynienia z tzw. nawiewem poprzecznym. Obok przepływu wymuszonego do cyrkulacji powietrza może być również wykorzystana konwekcja swobodna. Kierunek ruchu czynnika suszącego w stosunku do materiału jest bardzo istotny i ma wpływ na równomierność procesu suszenia w różnych miejscach komory zwłaszcza wówczas, gdy materiał umieszczony w suszarce jest nieruchomy i nie jest poddawany mieszaniu.

Ciepło dostarczone jest zazwyczaj przez parę grzejną lub gorącą wodę, rzadziej jest stosowane ogrzewanie elektryczne, gazowe lub olejowe. Grzejniki mogą być umieszczone wewnątrz komory suszarniczej lub na zewnątrz.

Suszarki komorowe pomimo licznych zastosowań mają wiele wad, na przykład:

- 1) nierównomierność procesu suszenia w różnych miejscach suszarki,
- 2) znaczne straty ciepła przy załadunku i wyładunku,
- 3) trudna kontrola procesu,
- 4) znaczne straty powietrza wynikającego z nieuszczelności,
- 5) złe warunki sanitarne.

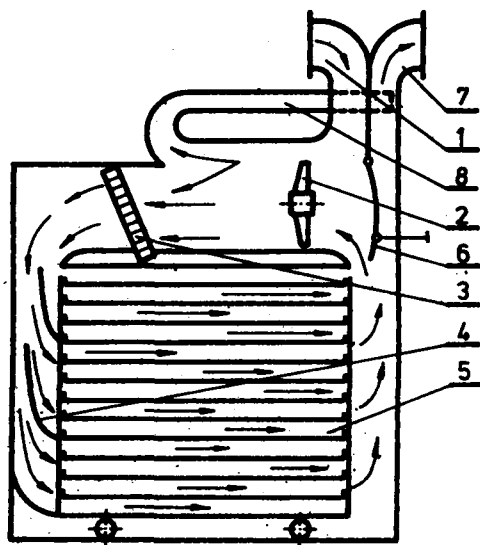
Suszarki tej grupy są bardzo rozpowszechnione w praktyce przemysłowej starszych typów i w laboratoriach. Szczególnie szerokie zastosowanie znalazły

w odniesieniu do materiałów wymagających długiego, lecz niezbyt intensywnego suszenia, a także do materiałów wymagających specjalnych warunków prowadzenia procesu.

Najprostszym rozwiązaniem w odniesieniu do aparatów komorowych i szafkowych są suszarki komorowe z cyrkulacją naturalną. Jednakże ze względu na bardzo niską efektywność pracy i trudności uniknięcia martwych przestrzeni obecnie są traktowane jako rozwiązanie prymitywne i przestarzałe.

W nowoczesnych konstrukcjach suszarek tego typu dla uzyskania równomiernego suszenia całego materiału dąży się do skrócenia drogi powietrza, która odpowiada zazwyczaj nie więcej niż dwóm lub trzem półkom z tacami, i następnie recyrkulacji gorącego powietrza z częściowym wyeliminowaniem powietrza wilgotnego przez uzupełnienie zawrotu powietrzem świeżym. Zapewnia się jednocześnie ponowne podgrzanie powietrza po każdym przepływie nad półkami. Wiadomo bowiem, że intensywność ruchu ciepła oraz szybkość suszenia w pierwszym okresie jest uzależniona od masowej prędkości powietrza. Zainstalowanie grzejników wewnętrznych z jednoczesną recyrkulacją czynnika grzejnego pozwala przy nieznacznym zużyciu energii cieplnej na ponowne podgrzanie powietrza recyrkulacyjnego o kilka stopni, ogrzanie dodawanego powietrza świeżego oraz uzupełnienia strat ciepłych wynikłych z promieniowania i konwekcji. Jeżeli droga powietrza w pojedynczym cyklu nie jest duża oraz grzejniki są odpowiednio rozmieszczone, spadek temperatury powietrza przy przejściu przez suszarkę może być utrzymany na bardzo niskim poziomie dając w rezultacie dużą równomierność temperatury materiału oraz znaczną szybkość suszenia. Tak więc zasadą projektowania suszarek komorowych jest stosowanie dużego udziału objętościowego recyrkulującego powietrza z częstym podgrzewaniem i jednoczesnym kontrolowaniem doprowadzonego świeżego powietrza do układu oraz kontrolowanym usuwaniem odpowiedniej ilości powietrza wilgotnego.

Na rysunku 1.16 przedstawiono przekrój typowej suszarki komorowej. Duża objętość powietrza cyrkuluje w obiegu wymuszonym za pomocą wentylatora umieszczonego wewnątrz suszarki. Temperatura powietrza po jego przepłynięciu przez nagrzewnicę wzrasta, po czym po przejściu nad materiałem wilgotnym spada, a następnie przez kontakt z następnym grzejnikiem wzrasta ponownie. Powietrze zewnętrzne stanowiące zazwyczaj 10% całkowitej objętości znajdującego się w suszarce powietrza, jest doprowadzone przez nagrzewnicę, podczas gdy powietrze wilgotne w ilości zwiększonej o masę odparowanej wilgoci jest usuwane na zewnątrz przed drugim grzejnikiem. Stosując tego rodzaju operację można prowadzić proces niższych temperaturach niż byłoby to konieczne przy jednorazowym przepływie gorącego powietrza przez suszarkę komorową.



Rys. 1.16. Schemat suszarki komorowej z wymuszoną cyrkulacją i podgrzewaniem powietrza

1 — dopływ świeżego powietrza, 2 — wentylator, 3 — nagrzewnica, 4 — kierownice, 5 — wózek transportowy z tacami, 6 — przepustnica powietrza, 7 — odlot powietrza, 8 — kanał wyrównawczy

W niektórych konstrukcjach suszarek wentylatory powodujące wymuszoną cyrkulację powietrza instaluje się na zewnątrz suszarki. Jednak nowoczesne rozwiązania suszarek komorowych zmierzają do rozmieszczania wentylatorów wewnątrz obudowy suszarki. Podobnie grzejniki, wbudowuje się zazwyczaj do wnętrza komory suszarniczej w celu zarówno zmniejszenia strat ciepłych jak i zmniejszenia spadku ciśnienia podczas przepływu czynnika suszącego. Dla zapewnienia równomiernego rozdziału cyrkulacyjnego powietrza instalowane są specjalnej konstrukcji nastawne żaluzje, które spełniają jednocześnie rolę osłony przed bezpośrednim promieniowaniem ciepłym od elementów grzejnych. Promieniowanie takie może powodować dodatkowe nierównomierności przebiegu procesu suszenia. Zastosowanie odpowiedniego typu grzejników zależy od wielkości suszarki oraz od rodzaju produkowanego suszu i możliwości danego zakładu w zakresie energii cieplnej.

W przypadku większej skali produkcyjnej najczęściej stosuje się ogrzewanie parowe, w jednostkach mniejszych ogrzewanie elektryczne, gazowe lub bezpośrednie ogrzewanie spalinami. Odstęp między półkami przyjmuje się zwykle w granicach 50 — 80 mm.

Grubość warstwy materiału ma istotny wpływ na szybkość suszenia, zwłaszcza w drugim okresie suszenia. Szybkość suszenia jest limitowana przez wewnętrzny ruch wilgoci w kierunku powierzchni odparowania i wzrost grubości warstwy materiału powoduje wyraźne zmniejszenie średniej szybkości suszenia. Ponieważ wydajność suszarki zależy od wysokości złoza materiału na półkach oraz od liczby półek, zatem znalezienie optymalnych wartości tych parametrów ma tu istotne znaczenie. Praktycznie wysokość złoza materiału na półkach powinna wynosić nie więcej niż 30-50 mm. Ważnym parametrem, decydującym również o szybkości suszenia jest prędkość przepływu gazowego czynnika suszącego. Wielkość ta jest uzależniona od rodzaju materiału suszonego. Dla materiałów bardziej pylistych wartości te muszą być mniejsze. Zatem stosowana w praktyce szybkość przepływu gazu między półkami wynosi od 1,5 do 5 m/s.

Oprócz suszarek komorowych z równoległym przepływem powietrza stosuje się suszarki komorowe z nawiewem poprzecznym tzn. takie w których czynnik suszący jest zmuszony do przepływu przez porowate złoże materiału spoczywające na perforowanej półce. Zaopatrzone są one dodatkowo w odpowiednie przegrody ukierunkowujące przepływ powietrza przez materiał, co powoduje znaczne powiększenie czynnej powierzchni suszenia oraz znaczne skrócenie czasu suszenia. Obliczono, że przy nawiewie poprzecznym można o 100% zwiększyć szybkość odparowania wilgoci oraz około trzykrotnie skrócić czas suszenia.

Rozpatrując sprawę doboru czynnika suszącego, można stwierdzić, że do materiałów mających skłonność do zapłonu w wyższych temperaturach lub pod chemicznym działaniem tlenu jest stosowane suszenie konwekcyjne za pomocą przegrzanej pary wodnej lub gorącymi gazami obojętnymi. Parę wodną podgrzewa się w wymienniku ciepła ogrzanym parą lub wysokotemperaturowym nośnikiem ciepła. Para przegrzana przez kontakt z materiałem wilgotnym powoduje jego ogrzanie i odparowanie odpowiedniej wilgoci.

Zaletą suszenia materiałów za pomocą pary przegrzanej lub jej mieszaniny z gazami obojętnymi, azotem lub CO_2 , jest brak lub bardzo mała zawartość tlenu w czynniku suszącym, dzięki czemu nie następuje utlenianie lub zapłon materiału.

Wadami omawianej metody suszenia są duże wymagania odnośnie odpowiedniej hermetyzacji i związane z tym trudności konstrukcyjne, znaczna powierzchnia grzejna wymagana dla otrzymania odpowiedniego przegrzania pary oraz wysoka temperatura pary grzejnej względnie duże koszty gazów obojętnych.



1.8.2. Suszarki tunelowe

Do tej grupy suszarek należą takie, w których materiał suszony przesuwa się wzdłuż tunelu za pomocą urządzenia transportującego. Przy równoległym, współprądowym lub przeciwpądowym przepływie czynnika suszącego tunel składa się z kilku sekcji, w których stan gazów może być kontrolowany. Zazwyczaj stosuje się przeciwpądowy przepływ powietrza w stosunku do ruchu materiału na wózkach. W zależności od rodzaju materiału wilgotnego są stosowane różne urządzenia transportujące. W zależności od właściwości materiału i wymagań stawianych procesowi suszenia stosuje się suszarki jedno- i wielostrefowe, przy czym każda strefa może pracować przy różnych temperaturach i wilgotnościach czynnika suszącego. Cyrkulacja czynnika suszącego może być wzdłużna lub poprzeczna. W zależności od rodzaju materiału suszonego i przepływu czynnika suszącego można skonstruować szereg typów suszarek tunelowych. W technologii przetwórstwa ziemniaczanego tego typu suszarki nie mają zastosowania.

1.8.3. Suszarki taśmowe

Suszarki taśmowe są zaopatrzone w przenośnik taśmowy, zazwyczaj poziomo, którego taśma wykonana z tkaniny lub siatki metalowej służy do przenoszenia materiału wewnątrz komory suszarki. Czynnik suszący może przepływać przeciwpądowo, współprądowo, w prądzie krzyżowym lub poprzez materiał. Jako czynnik stosuje się gorące powietrze, gazy paleniskowe, względnie parę przegrzaną.

Suszarki taśmowe można podzielić na:

- suszarki taśmowe z wymuszonym lub konwekcyjnym nawiewem poprzez materiał (z przepływem czynnika suszącego przez warstwę materiału spoczywającego na perforowanej taśmie),
- suszarki taśmowe konwekcyjne, w których taśma nie jest przepuszczalna dla czynnika suszącego i jest on przesyłany nad powierzchnią materiału,
- suszarki taśmowe kontaktowe, w których nieperforowana taśma przesuwa się nad gorącą powierzchnią: ciepło wymagane do prowadzenia procesu suszenia jest przenoszone od ogrzewanej taśmy do materiału przez przewodzenie; operacja taka jest zazwyczaj prowadzona pod zmniejszonym ciśnieniem.

1.8.4. Suszarki bębnowe

Suszarki bębnowe mogą pracować jako suszarki konwekcyjne lub kontaktowe. Suszarki bębnowe obok suszarek komorowych i taśmowych są najbardziej rozpowszechnione w praktyce przemysłowej. Dzięki wszechstronności, prostocie konstrukcji, dużej przepustowości i stosunkowo dobrej sprawności cieplnej suszarki bębnowe nadają się do szybkiego suszenia wielu materiałów, przy niskich kosztach jednostkowych dla dużych partii materiału. Mogą one pracować w zakresie czasów suszenia od 5 do 60 min. Ich przepustowość waha się od kilkuset kilogramów do kilkuset Mg na godzinę.

Materiał suszony jest w sposób ciągły unoszony przez obrót bębna, a następnie opada w strumieniu gorącego czynnika suszącego, który przepływa przez bęben we współ- lub przeciwpądzie w stosunku do materiału. Bęben jest lekko pochylony, aby materiał mógł samoczynnie przesunąć się wzdłuż bębna suszarki.

Suszarki bębnowe znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym, szczególnie nadają się one do suszenia krajanki lub materiałów zgranulowanych, swobodnie przesypujących się. Suszarki bębnowe nie nadają się natomiast do suszenia materiałów bardzo lepkich (pastowatych), a także wymagających znacznych czasów suszenia. Ponadto materiały kruche, pyłące które mogą być łatwo unoszone na zewnątrz suszarki ze strumieniem powietrza nie powinny być suszone w suszarkach bębnowych konwekcyjnych, a raczej w suszarkach przepustowych (kontaktowych).

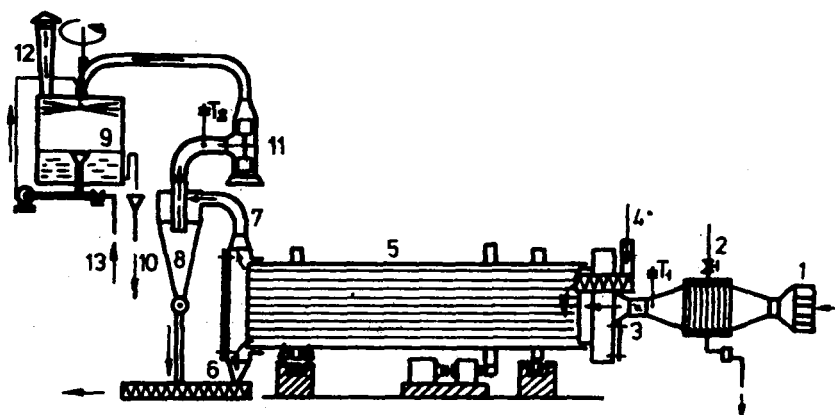
Suszarki bębnowe można podzielić na 3 główne typy:

- suszarki bezprzeponowe (konwekcyjne),
- suszarki z żaluzjami (typu Roto-Louvre),
- suszarki przeponowe (kontaktowe).

Schemat bębnowej suszarki bezprzeponowej, współprądowej przedstawia rysunek 1.17. Bęben o długości 4 – 7, 5 raza większej od średnicy, spoczywający na rolkach jest usytuowany w pozycji leżącej z małym pochyleniem w kierunku biegu produktu. Napęd obrotowy bębna jest dokonywany za pośrednictwem wieńca zębatego na obwodzie bębna. Przez bęben przepływa powietrze ogrzane przeponowo w nagrzewnicy parowej, wciągane wentylatorem ssącym, umieszczonym na końcu suszarki, za cyklonem i skrubierem.

Suszenie glukozy odbywa się współprądowo z gorącym powietrzem. Bęben suszarki wykonuje 3, 2 – 6 obr/min, przy czym kryształy glukozy, podnoszone na półkach zainstalowanych wewnątrz bębna, są przerzucane ciągle w strumieniu gorącego powietrza. Powietrze porywa część drobnych kryształów glukozy, ale są one chwytywane w cyklonie i zwracane do głównej masy wysuszonej

glukozy. Resztki pyłu glukozydowego, nie zatrzymanego w cyklonie, są chwytywane w skruberze z natryskiem wodnym, przez który w przeciwnym kierunku przechodzi powietrze z oparami przed wlotem do wentylatora ssącego [95].



Rys. 1.17. Schemat bębnowej suszarki współprądowej (do suszenia glukozy krystalicznej) – przekrój podłużny

1 – filtr powietrza, 2 – nagrzewnica parowa powietrza, 3 – przepustnica, 4 – wsyp mokrej glukozy, 5 – obrotowy bęben suszący, 6 – wylot suszonej glukozy, 7 – wylot powietrza i oparów, 8 – cyklon, 9 – skruber, 10 – odpływ roztworu glukozy, 11 – wentylator ssący, 12 – komin wylotowy powietrza i oparów, 13 – dopływ wody do skrubera, T_1 , T_2 – termometry

Istotnym parametrem charakteryzującym pracę suszarki bębnowej jest tzw. **załadowanie** określane zazwyczaj jako stosunek średniej objętości materiału w bębnie do objętości pustego bębna.

$$\kappa = \frac{V_{m.sr}}{V} \quad (1.103)$$

Załadowanie zależy od konstrukcji i liczby przeszkód, szybkości obrotów oraz kąta pochylenia suszarki do poziomu.

Czas przebywania materiału w bębnie może być obliczony jako iloraz masy załadowanej i przepustowości suszarki. Czasy przebywania i załadowania materiału w suszarkach bębnowych z przepływem współprądowym są mniejsze dla suszarek przeciwnieprądowych. Suszenie współprądowe można stosować do materiałów, które przy dużej wilgotności dobrze znoszą działanie wysokiej temperatury, natomiast źle po wysuszeniu. Suszarki bębnowe przeciwnieprądowe są zalecane do suszenia materiałów, które wymagają łagodnego suszenia w stanie

wilgotnym, a dopiero po częściowym usunięciu wilgoci mogą być poddane bardziej intensywnemu suszeniu w drastycznych warunkach.

W suszarkach żaluzjowo-bębnowych (typu Roto-Louvre) czynnik suszący przepływa przez materiał, wzdłuż kanałów utworzonych przez specjalnie uformowane płyty żaluzjowe, a następnie przedostaje się przez żaluzje do złoża materiału suszonego. Rozdział czynnika suszącego wzdłuż bębna jest regularny w miarę przebiegu procesu suszenia w zależności od grubości warstwy materiału. Zachodzenie płytek na siebie zapobiega przedostawaniu się cząstek materiału do kanału gazowego. Przez zmianę kąta, pod którym są ułożone płytki można regulować zatrzymanie materiału. Dzięki takiemu rozwiązaniu konstrukcyjnemu suszarki, powietrze o tej samej temperaturze dopływa do każdego punktu przekroju bębna, porcja materiału suszonego w czasie przepływu przez suszarkę znajduje się w takich samych warunkach, w jakich by się znajdowała w pracującej w zbliżonych warunkach suszarce okresowej.

1.8.5. Suszarki dyspersyjne

W suszarkach dyspersyjnych materiał w postaci ziaren ciała stałego lub kropeł cieczy suszy się w tzw. **stanie zawieszonym**. Nazwa ta obejmuje szereg różnych stanów pośrednich od stanu fluidalnego do przepływu dwufazowego. Stan taki charakteryzują dobre warunki ruchu ciepła i masy wynikające z dobrego wymieszania obu faz i dużego rozwinięcia powierzchni kontaktu.

Istnieje szereg konkretnych rozwiązań aparatów pracujących ze złożem materiału ziarnistego w stanie zawieszonym, począwszy od aparatów o dość dużej gęstości złoża, jak suszarki fluidyzacyjne, wibracyjno-fluidyzacyjne, fontannowe itp., do aparatów pracujących ze złożem bardziej rozrzedzonym, jak suszarki strumieniowe (pneumatyczne, rozpyłowe itp.).

Podstawowymi cechami, które decydują o doborze suszarki dyspersyjnej dla suszenia danego materiału są:

- wielkość cząsteczek materiału,
- stopień polidispersyjności,
- adhezyjne właściwości cząsteczek mokrych,
- dopuszczalny czas suszenia materiału w stanie zawieszonym.

Metoda **suszenia fluidalnego** zajmuje ważną pozycję wśród nowoczesnych metod suszarniczych. Jest ona wykorzystywana głównie do materiałów ziarnistych, znajduje jednakże zastosowanie również do suszenia past, zawiesin i roztworów natryskiwanych podczas suszenia na fluidalne złoża inertne.



Konkurencyjność tej metody do pozostałych (np. suszarki komorowe, szybowe, talerzowe czy bębnowe), jak i niektórych nowoczesnych (suszarki pneumatyczne, suszarki ze skrzyżowanymi prądami) polega na najlepszym stosunku uzyskiwanej intensywności suszenia do kosztów przetłaczania gazu. Konkurencyjność ta wzrasta w miarę rozwoju nowoczesnych modyfikacji tej metody, takich jak np. wibrofluidyzacja czy pulsofluidyzacja. Główne zalety suszenia fluidalnego są następujące:

- „płynność” złoża fluidalnego pozwala na ciągłą, łatwą w obsłudze pracę urządzeń nawet w bardzo dużej skali (rzędu kilkaset Mg na dobę),
- brak ruchomych części,
- doskonałe warunki ruchu ciepła i masy,
- możliwość stosowania dodatkowych źródeł ciepła, np. grzejników zanurzonych lub promienników,
- dobre wymieszanie materiału w złożu, co pozwala skutecznie kontrolować przebieg procesu i sterować jakością produktu.

Ogólna zasada tej metody polega na przepuszczeniu gorącego powietrza przez złożę materiału unoszącego się w warstwie nad perforowaną przegrodą, noszącej nazwę dystrybutora gazu lub przegrody fluidyzacyjnej. Jeśli prędkość gazu jest większa od tzw. prędkości krytycznej (prędkość początku fluidyzacji), złożę ulega rozluźnieniu do stanu przypominającego wrzącą ciecz. Zjawisko to nosi nazwę **fluidyzacji**. Suszarki do suszenia fluidalnego mogą pracować jako ciągłe lub okresowe.

Suszarki **okresowe** znajdują zastosowanie w produkcji małotonażowej, szczególnie wtedy, gdy cały proces produkcji jest również okresowy. W produkcji wielotonażowej stosuje się suszarki o działaniu **ciągłym**. Wśród tej grupy suszarek wyodrębniamy dwa zasadnicze typy konstrukcyjne:

1) suszarki z przepływem materiału, zbliżonym do przepływu z idealnym wymieszaniem, typu zbiornikowego (stosowane wówczas, gdy materiał trudno fluidyzuje),

2) suszarki z przepływem materiału, zbliżonym do przepływu tłokowego, typu korytowego, rynnowego (stosowane do materiałów łatwo fluidyzujących oraz wtedy, gdy wilgotność końcowa produktu musi być wysoce jednorodna). Objętość suszarki fluidyzacyjnej waha się w granicach od ok. 1 m³ do kilkudziesięciu m³ i zależy od wielu czynników m.in. od wydajności materiału suszonego, masy usuwania wilgoci, prędkości przepływu gazu, czasu przepływania materiału w aparacie itd.

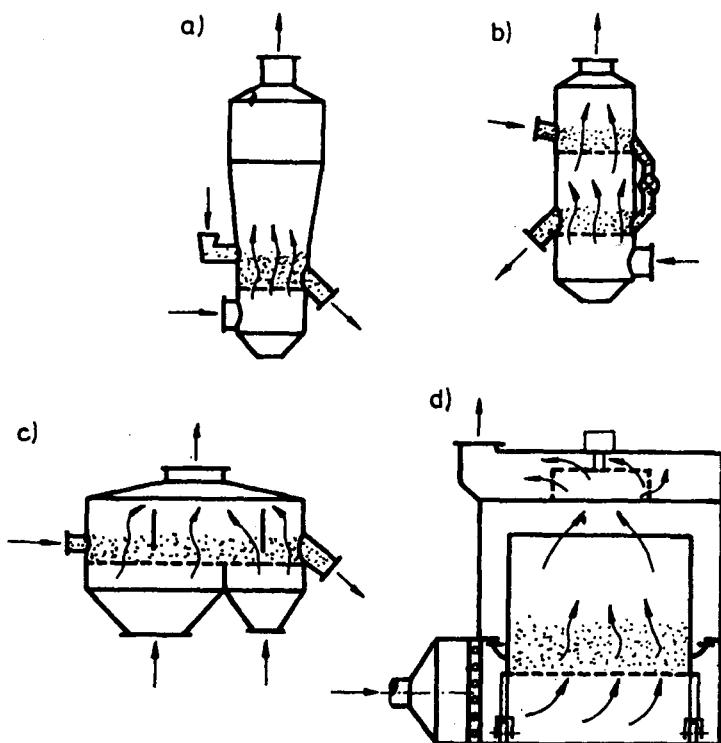
Materiał, który nadaje się do suszenia fluidalnego powinien mieć następujące cechy:

- średnica cząstek powinna mieścić się w przedziale 0,01 – 20 mm,

- w przypadku materiałów polidispersyjnych zakres średnic powinien być dostatecznie wąski (stopień polidispersyjności 8–10),
- kształt cząstek powinien być izometryczny, gdyż igły, płatki źle fluidyzują,
- materiał wprowadzony do suszarki nie powinien zawierać trudnych do rozbicia brył,
- materiał nie powinien sklejać się lub zbrylać w warunkach suszenia.

Metoda suszenia fluidalnego pozwala często zastąpić kilka operacji lub przeprowadzić je w jednym aparacie (np. suszenie, granulowanie, chłodzenie i klasyfikacja w poszczególnych sekcjach tego samego aparatu).

Istnieje duża różnorodność suszarek, w których jest wykorzystane złoże fluidalne. Stosując różne kryteria podziału, można wyróżnić wśród nich kilka grup suszarek fluidyzacyjnych (rysunek 1.18).

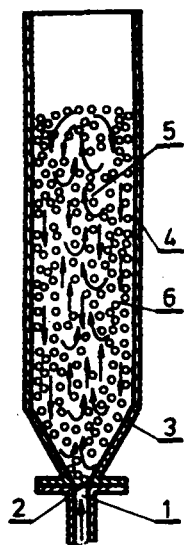


Rys. 1.18. Różne typy suszarek fluidyzacyjnych

- a) suszarka o działaniu ciągłym, jednostopniowa, typu zbiornikowego, (b) suszarka o działaniu ciągłym, dwusekcyjna typu zbiornikowego z przeciwnieprądowym przepływem gazu, c) suszarka o działaniu ciągłym, wielosekcyjna w układzie poziomym, d) suszarka o działaniu okresowym*

Aparaty fluidyzacyjne posiadają komory o stałym przekroju, ze względu na to nie mają możliwości pracy w zakresie wyższych prędkości przepływu gazu, występują trudności suszenia materiałów polidispersyjnych, mają ograniczone zastosowanie. Dla uniknięcia wymienionych trudności wprowadzono aparaty z komorą o średnicy rozszerzającej się wraz z wysokością komory, pracujące w warunkach **warstwy fontannowej**. Hydrodynamiczne warunki pracy takiej warstwy są inne niż w zwykłym złożu fluidalnym.

Materiał do suszenia jest doprowadzany do komory od dołu tuż nad przegrodą sitową, względnie od góry. Strumień gazu doprowadzany jest od dołu przez otwory w przegrodzie do środka części stożkowej aparatu (rysunek 1.19) i nie jest rozdzielony równomiernie w całym przekroju komory. Strumień ten przepływa do góry centralnym kanałem razem z cząstkami materiału przy czym w obrębie tego kanału ustalają się warunki transportu pneumatycznego.



Rys. 1.19. Schemat warstwy fontannowej

1 — wlot powietrza,
2 — przegroda, 3 — część stożkowa, 4 — część cylindryczna, 5 — rozszerzony kanał centralny,
— 6 zewnętrzna przestrzeń pierścieniowa

Schematyczny, cykliczny ruch jest przekazywany cząstkom ciała stałego, które wędrują do góry przez „rozcieńczony” kanał centralny, a natępnie w górnej części fontanny następuje zmiana kierunku cząstek, które opadają w dół w zewnętrznej przestrzeni pierścieniowej jako faza gęsta. W tej przestrzeni pierścieniowej cząstki opadają pod wpływem siły ciężkości początkowo bez wyraźnej zmiany położenia względem siebie, aż do momentu dostania się powrotnie w strumień centralny.

Kombinacja dwóch różnych zakresów hydrodynamicznych: transportu pneumatycznego w centralnym kanale rozcieńczonym i ruchu (opadania) cząsteczek w fazie gęstej, stwarza charakterystyczną cyrkulację materiału i jest cechą charakterystyczną hydrodynamiki aparatów z warstwą fontannową. Aparaty takie wykazują następujące zalety istotne dla techniki suszarniczej.

1) regularna zmiana prędkości przepływu gazu od dołu do góry pozwala poddawać jednoczesnemu suszeniu cząstki ciała stałego o różnych wymiarach i w zakresie różnorodnej intensywności suszenia.

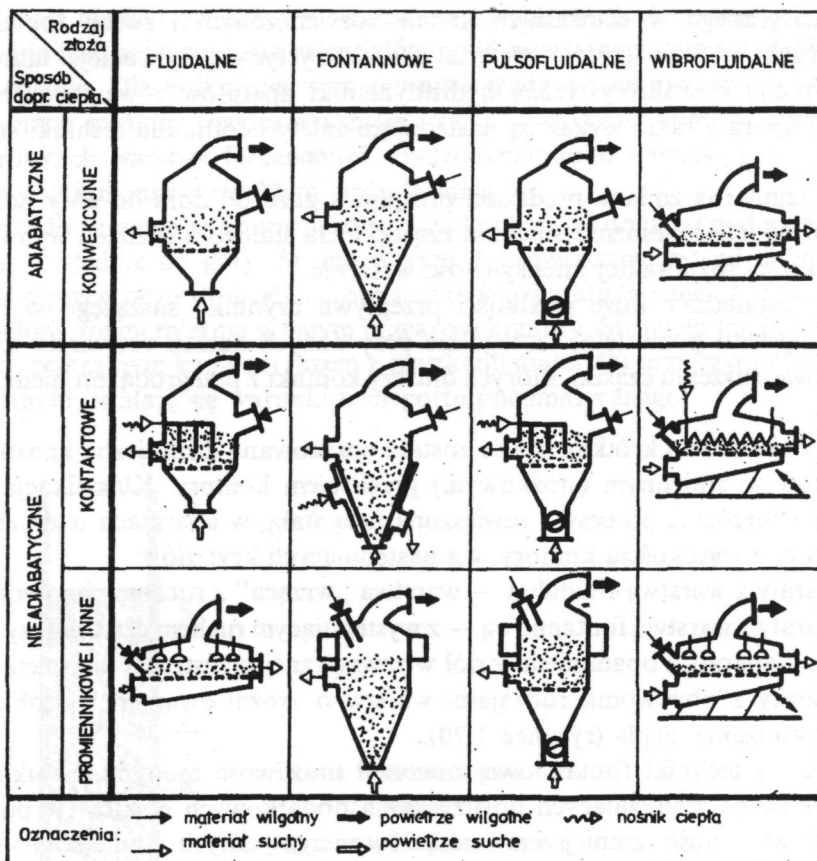
2) dostatecznie duże prędkości przepływu czynnika suszącego w dolnej części aparatu pozwalają, szczególnie przy dużych kątach rozwarcia stożka, poddawać suszeniu cząstki, których dłuższy kontakt z przegrodą jest niedopuszczalny.

W stosunkowo krótkim czasie została opracowana duża liczba konstrukcji aparatów ze zmiennym (stożkowym) przekrojem komory. Klasyfikacja taka pozwala rozróżnić procesy z zawieszoną fazą stałą, w aparatach o zmiennym przekroju z wysokością komory, wg następujących kryteriów:

- aparaty z warstwą fluidalną – warstwa „wrząca” z ruchem chaotycznym,
- aparaty z warstwą fontannową – z występującym ruchem cząstek fazy stałej w osi aparatu i opadaniem w dół w zewnętrznej przestrzeni pierścieniowej,
- aparaty z obydwoma rodzajami warstw o zróżnicowanym sposobie doprowadzania ciepła (rysunek 1.20).

Rozwój techniki fontannowej otworzył możliwość modyfikacji układów fontannowych zmierzających do uzyskania dodatkowych efektów w postaci: wzrostu wydajności, zmniejszenia nakładów energetycznych, zmniejszania spadku ciśnienia, budowy aparatu o dużych natężeniach odparowania itp.

Suszarki, w których złożę jest poddawane drganiom o przyspieszeniu większym od przyspieszenia ziemskiego i jest suszone bez przepływu powietrza, z przepływem nad materiałem lub z przepływem powietrza przez materiał z prędkością mniejszą od prędkości początku fluidyzacji (mierzonej dla złoża niewibrowanego) noszą nazwę suszarek ze złożem **wibracyjnym**. Natomiast suszarki z pulsacyjnym przepływem gazu będą nazywane **pulsofluidyzacyjnymi**. W suszarkach tych działanie drgań wpływa intensyfikująco na proces suszenia przez to, że umożliwia fluidyzację nawet takich złożów, które bardzo trudno fluidyzują.



Rys. 1.20. Różne sposoby doprowadzenia ciepła w suszarkach ze złożem fluidalnym i fontannowym

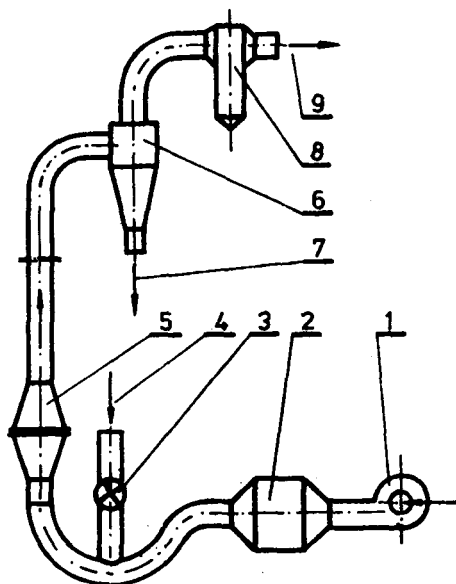
1.8.6. Suszarki strumieniowe

Suszenie strumieniowe polega na wprowadzeniu drobnych cząstek materiału wilgotnego do strumienia gorącego czynnika suszącego, zazwyczaj powietrze. W suszarce strumieniowej w odróżnieniu od suszarki fluidyzacyjnej występuje większe rozrzedzenie fazy stałej w gazie. Charakterystyczna jest dla tych suszarek wielka intensywność ruchu ciepła i masy między zdyspergowanym ciałem stałym a czynnikiem suszącym, co jest wynikiem znacznego rozwinięcia powierzchni materiału oraz dużej siły napędowej przy wymianie ciepła i masy, a także dużych względnych prędkości przepływu gazu w stosunku do cząstek. Ta ostatnia

wielkość, zwana poślizgiem, jest głównym czynnikiem określającym stopień intensyfikacji ruchu ciepła i masy w suszarkach strumieniowych.

Suszarki strumieniowe w zależności od rodzaju konstrukcji charakteryzują się szerokim zakresem stosowania do suszenia materiałów wilgotnych o różnej postaci. Główną wadą tego typu suszarek jest duże zużycie powietrza i mocy na przetłaczanie powietrza. Głównym reprezentantem suszarek strumieniowych są suszarki pneumatyczne, a ponadto suszarki wirowe, spiralne i inne.

Najgorszym typem suszarki strumieniowej jest suszarka pneumatyczna przedstawiona schematycznie na rysunku 1.21. Suszenie przebiega w rurze pionowej lub częściowo pionowej i poziomej, w której gorące powietrze przepływa z prędkością większą niż prędkość swobodnego opadania cząsteczek ciała wilgotnego. Materiał suszony jest wprowadzany u dołu do środka rury suszarniczej za pomocą odpowiedniego zasilacza. Duże aglomeraty cząsteczek są rozbijane, natomiast mniejsze unoszone są ku górze w szybkim prądzie gazu, tracąc jednocześnie wilgoć. Wysuszony produkt jest zatrzymywany w cyklonie w filtrze workowym lub elektrofiltrze.



Rys. 1.21. Schemat suszarki pneumatycznej

1 – wentylator, 2 – nagrzewnica, 3 – podajnik sektorowy, 4 – doprowadzenie wilgotnego materiału, 5 – komora suszenia, 6 – cyklon, 7 – wylot materiału suszonego, 8 – filtr workowy, 9 – odpływ zużytego powietrza

W typowej suszarce omawianego typu czas przebywania cząstek w rurze waha się od 0,5 do 4 s. Ogranicza to zakres zastosowania suszarek pneumatycznych do materiałów łatwo schnących. W suszarkach przemysłowych w celu zwiększenia czasu przebywania (np. do 1 min.) stosuje się recyrkulację materiału.

Zalety suszarek pneumatycznych są następujące:

- bardzo krótki czas suszenia oraz przepływ współprądowy pozwala na suszenie materiałów nieodpornych na działanie wysokiej temperatury na wylocie, przyczyniając się do osiągnięcia wysokich sprawności termicznych,
- suszarka spełnia jednocześnie rolę przenośnika ciała stałego, tak że nie trzeba instalować urządzeń transportowych,
- suszarka wymaga bardzo małej powierzchni oraz może być instalowana na otwartym powietrzu. Końcowe urządzenia odpylające muszą być jednak umieszczone wewnątrz ogrzewanego budynku w celu uniknięcia zawilgocenia i osadzenia się pyłu,
- suszarka jest łatwa do kontroli, małe zawartości materiału w suszarce pozwalają na szybkie osiąganie równowagi po zmianie warunków,
- dzięki małej liczbie części ruchomych koszty konserwacji są niskie,
- niskie koszty inwestycyjne i łatwość budowy w porównaniu z innymi typami suszarek.

Wady suszarek pneumatycznych:

- wymagane są urządzenia odpylające o dużej sprawności,
- ze względu na emisję pyłów suszarka nie nadaje się do suszenia materiałów toksycznych,
- mogą wystąpić trudności w prowadzeniu procesu jeżeli materiał suszony zawiera dużą ilość aglomeratów trudnych do rozdrobnienia,
- przy zastosowaniu recyrkulacji nie wszystkie cząstki mają te same czasy przebywania w suszarce.

Suszarki pneumatyczne znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu spożywczego np. w krochmalnictwie uzyskały wyłączność. Instaluje się je do różnych wartości odparowanej wilgoci, od kilkudziesięciu kilogramów do kilku Mg odparowanej wody na godzinę, przy czym maksymalne wartości średnicy rury wahają się w granicach od 0,9 do 1,1 m. Największe wydajności uzyskuje się, gdy doprowadzony gaz suszący ma bardzo wysoką temperaturę (nawet do 1000°C) jako czynnik suszący stosuje się wówczas mieszaninę powietrza z gazami spalinowymi:

Przeciętne wartości parametrów charakteryzujących pracę suszarek pneumatycznych (przypadające na 1 kg odparowanej wody) przedstawiają się następująco:

- jednostkowe zużycie ciepła od 4000 do 4600 kJ/kg,
- jednostkowe zużycie energii elektrycznej od 72 do 180 kJ/kg,
- jednostkowa masa instalacji od 5 do 10 kg/kg.

W suszarkach pneumatycznych suszy się materiały:

- swobodnie przesypujące się, nielepkie,
- zawierające przede wszystkim wilgoć powierzchniową, szybko schnące,
- te, których maksymalna wielkość cząstek nie jest zbyt duża, w celu uniknięcia konieczności stosowania dużych prędkości przepływu gazu i związanych z tym dużych spadków ciśnienia,
- max. średnica cząstek zalecana jest w granicach 1 do 2 mm, co odpowiada maksymalnej prędkości przepływu gazu do ok. 25 m/s,
- krystaliczne i nie mające tendencji do tworzenia aglomeratów.

Innym przykładem suszenia dyspersyjnego jest **suszenie rozpyłowe** stosowane wyłącznie do suszenia cieczy lub zawiesin. Rozwinięcie powierzchni suchego pyłu polega na rozpyleniu dyspersji tego płynu w postaci mgły w strumieniu gorącego gazu. Ze względu na konieczne małe stężenie strumienia suszenie to charakteryzuje się dużym zużyciem jednostkowym ciepła i skomplikowaną konstrukcją aparatury. Produkt suszenia otrzymuje się w postaci proszku.

1.9. Suszenie kontaktowe

Suszenie kontaktowe oraz suszenie kombinowane kontaktowo-konwekcyjne znalazło wiele zastosowań dzięki znacznej intensywności procesu oraz wysokiej sprawności energetycznej.

Zasadniczym parametrem przy projektowaniu tego typu suszarek jest wielkość powierzchni grzejnej zapewniającej przekazanie wymaganej ilości ciepła. Jako źródło ciepła najczęściej jest wykorzystywana para grzejna, wysokowrzące ograniczone nośniki ciepła, woda o temperaturze powyżej 100°C, przy odpowiednim ciśnieniu. Ciepło do materiału suszącego jest przekazywane przez ściankę o dużym przewodnictwie cieplnym. Również współczynnik wnikania ciepła od czynnika grzejnego do ścianki powinien mieć dużą wartość. Dlatego gorące gazy są rzadko stosowane jako źródło ciepła.

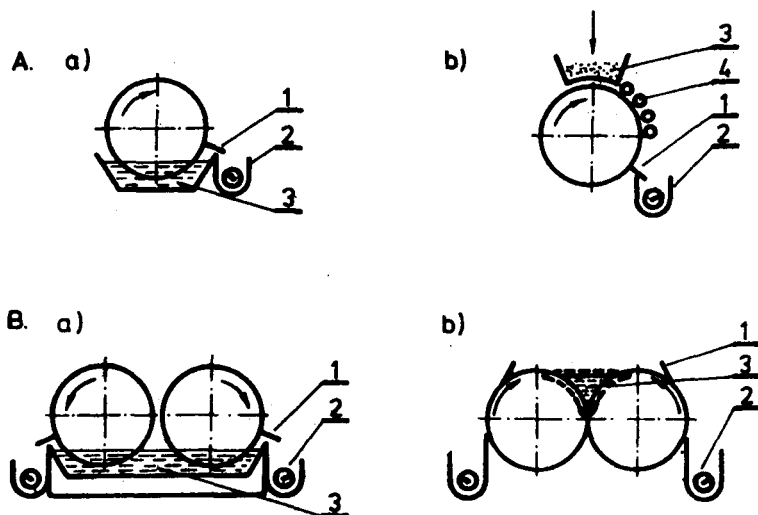
1.9.1. Suszarki walcowe

Zasada działania suszarek walcowych polega na suszeniu nałożonej uprzednio cienkiej warstwy materiału na ogrzanym walcu i następnym usuwaniu warstwy materiału wysuszonego za pomocą odpowiedniego skrobaka.



Suszarka walcowa składa się z jednego lub wielu wewnątrz ogrzewanych i obracających się walców, na które jest nakładana warstwa materiału suszonego. W suszarkach pracujących pod ciśnieniem atmosferycznym jako czynnik grzejny stosuje się najczęściej parę wodną, w instalacjach próżniowych walce ogrzewa się gorącą wodą lub parą wodną, a podciśnienie wytwarza się na powierzchni walców suszących.

Maksymalne wymiary walców ze względów wytrzymałościowych są ograniczone zazwyczaj do powierzchni walca $\sim 12 \text{ m}^2$. Suszarka walcowa znajduje zastosowanie do suszenia materiałów pastowatych i zawieszin, a także do materiałów nieodpornych na działanie wysokiej temperatury, kiedy jest dopuszczalny tylko krótki okres suszenia w wysokiej temperaturze. Przez zmianę ciśnienia pary grzejnej oraz zmianę szybkości obrotowej walca warunki suszenia mogą być zmieniane w szerokim zakresie.

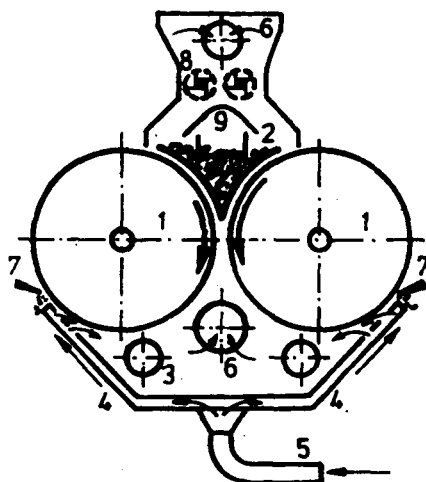


Rys. 1.22. Rodzaje suszarek walcowych

*A – suszarki jednowalcowe: a) zasilanie zanurzeniowe, b) zasilanie walcowe,
B – suszarki dwuwalcowe: a) zasilanie zanurzeniowe, b) zasilanie szczelinowe,
1 – skrobaki, 2 – odbiór materiału wysuszonego, 3 – materiał wilgotny, 4 – walce dociskające*

Podział suszarek walcowych jest oparty na liczbie walców, kierunku ich obrotu oraz systemie zasilania, co przedstawia rysunek 1.22. Wszystkie zamieszczone na rysunku typy suszarek walcowych mogą pracować pod ciśnieniem atmosferycznym lub pod „próżnią”. Próżniowe suszarki walcowe są stosowane

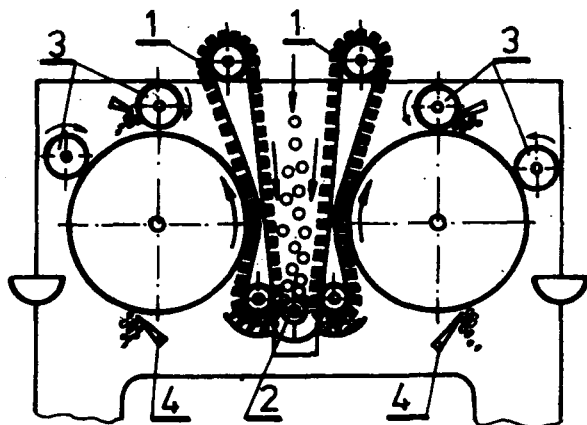
do suszenia materiałów nieodpornych na działanie wysokich temperatur, w celu zmniejszenia utleniania, względnie w przypadku konieczności regeneracji lub separacji rozpuszczalnika. Produkt suszenia walcowego otrzymuje się najczęściej w postaci płatków lub folii. W przemyśle ziemniaczanym najczęściej stosowanymi suszarkami walcowymi są jedno- lub dwuwalcowe suszarki.



Rys. 1.23. Schemat suszarki dwuwalcowej Paukscha

1 – walce, 2 – materiał wilgotny, 3 – wálki nakładacze, 4 – koryto o podwójnych ściankach, 5 – doprowadzenie gorącego powietrza, 6 – otwory odprowadzające wilgotne powietrze, 7 – noże skrobaki, 8 – rozdrabniacze materiału wilgotnego, 9 – rozdzielacz materiału wilgotnego

Schemat dwuwalcowej suszarki Paukscha, stosowanej do produkcji płatków ziemniaczanych, przedstawia rysunek 1.23. Ze względu na mały odstęp między walcami (0,2 – 0,5 mm) i sztywne ustawienie walców względem siebie narażenie powierzchni walców na uszkodzenie od twardych zanieczyszczeń jest duże. W celu uchronienia suszarki od takich wypadków, Foerster skonstruował suszarkę z wałcami rozstawionymi (250 mm), gdzie poddawanie miazgi ziemniaczanej na walce odbywa się za pomocą żaluzjowych nakładaczy. Schemat suszarki Foerстера przedstawia rysunek 1.24.



Rys. 1.24. Schemat suszarki dwuwalcowej Foerстера

1 — żaluzje nakładacze materiału wilgotnego, 2 — rozdrabniacz materiału wilgotnego, 3 — wałki nakładacze, 4 — noże-skrabaki

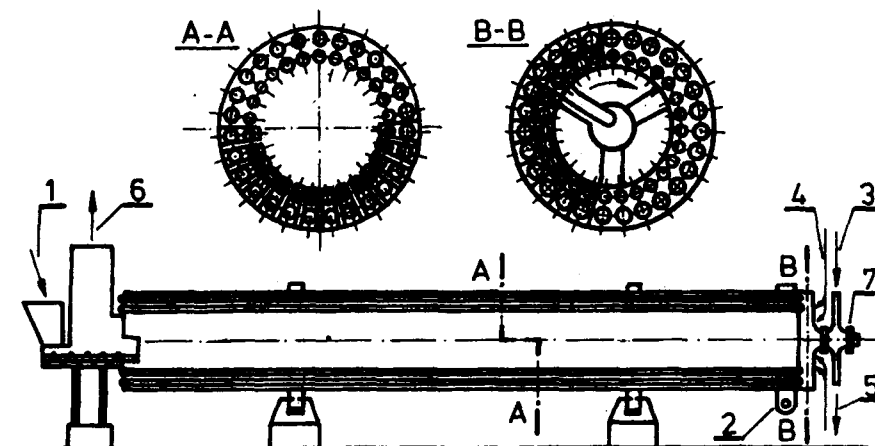
1.9.2. Suszarki bębnowe, przeponowe

W suszarkach bębnowych przeponowych (rurowo-bębnowych) ruch ciepła odbywa się głównie w wyniku przewodzenia, a tylko częściowo konwekcyjnie i przez promieniowanie, przy czym udział promieniowania jest szczególnie wyraźny przy wysokich temperaturach powierzchni rur. Ciepło do podgrzania materiału i odparowania wilgoci jest dostarczone w wyniku przewodzenia przez ścianki suszarki lub przez wewnętrzne rury grzejne, ogrzewane zazwyczaj za pomocą pary grzejnej lub gorących płynów.

Na rysunku 1.25 przedstawiono schematycznie przeponową suszarkę bębnową. Obrót bębna powoduje przesypywanie się materiału w postaci cienkiej warstwy. Ogrzewanie zapewnia bezpośredni kontakt z przewodami grzejnymi. Odlotowy czynnik suszący odprowadza się z suszarki w stanie bliskim nasycenia, stąd też jego ilość może być znacznie mniejsza niż w bezprzeponowych (konwekcyjnych) suszarkach bębnowych.

Doprowadzenie pary grzejnej do rur oraz usuwanie kondensatu odbywa się przez obrotową głowicę umieszczoną w końcowej części bębna, z której jest odbierany materiał wysuszony. Ruch materiału w suszarce jest zapewniony przez odpowiednie pochylenie bębna. Sprawność cieplna przeponowych suszarek bębnowych jest bardzo wysoka rzędu 75–90%, jednostko-

we zużycie pary grzejnej waha się w granicach $1,5 \div 1,8$ kg/kg odparowanej wody. Zaletą suszarek bębnowych jest możliwość utrzymania przez dłuższy czas stałej temperatury, ponadto ruch obrotowy bębna zapobiega osadzaniu się cząstek na konstrukcji wewnętrznej, a mieszanie złoża ułatwia odparowanie wilgoci.



Rys. 1.25. Schemat bębnowej suszarki przeponowej

1 – zasilanie, 2 – odbiór materiału wysuszonego, 3 – para grzejna, 4 – E powietrze, 5 – kondensat, 6 – odprowadzenie gazów do układu odpylającego, 7 – dławik

Ze względów konstrukcyjno-mechanicznych suszarki bębnowe przeponowe nie mogą osiągać takich rozmiarów co suszarki bezprzeponowe. Średnice suszarek przeponowych wahają się w granicach $1,5 \div 3,0$ m, długość $10 \div 20$ m. Średnice wewnętrznych rur grzejnych dla rzędu zewnętrznego wynoszą 110 mm, a dla rzędu wewnętrznego – 75 mm, przy natężeniu dopływu ciepła do materiału ok. $2 \text{ KW}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Ze względu na niewielkie możliwości odprowadzania dużych mas wilgoci przez suszarki bębnowe przeponowe, często stosowanym rozwiązaniem jest układ suszarek bębnowych składający się z bezprzeponowej suszarki przeciwpądowej, a następnie z przeponowej suszarki bębnowej z przepływem równoległym.

Przeponowe suszarki bębnowe znajdują często zastosowanie jako specjalne prażki np. do prażenia skrobi celem otrzymania dekstryn.

1.10. Inne metody suszenia

1.10.1. Suszenie pod działaniem pola energetycznego

Procesy suszenia można w znacznym stopniu zintensyfikować przez wykorzystanie energii odpowiedniego pola; może to być pole elektromagnetyczne (suszenie radiacyjne i dielektryczne) oraz pole akustyczne – ultradźwiękowe.

Suszenie radiacyjne

Suszeniem za pomocą promieniowania nazywa się suszenie wilgotnych materiałów, które odbywa się dzięki przekazywaniu ciepła od ogrzanych powierzchni w formie energii promieniowania podczerwonego. Podstawową zaletą suszenia radiacyjnego w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym jest tu możliwe otrzymanie dużych strumieni ciepłych. Powoduje to jednak powstawanie w materiale wysokich gradientów temperatury, na co nie zawsze pozwalają właściwości ciała suszonego. Dlatego też suszenie radiacyjne znajduje zastosowanie przede wszystkim w odniesieniu do materiałów o małej grubości warstwek.

Zalety suszenia radiacyjnego są następujące:

- aparatura jest prosta w obsłudze i łatwo może być przystosowana do zmiennych warunków,
- przestrzeń zajmowana przez suszarkę radiacyjną jest znacznie mniejsza w porównaniu z innymi suszarkami,
- w pewnych przypadkach suszenie radiacyjne pozwala na znaczne skrócenie czasu operacji w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym,
- dzięki kierunkowym charakterystykom elementów promieniujących mogą być suszone określone powierzchnie dużych obiektów.

Wady suszenia radiacyjnego:

- wysokie koszty eksploatacji i mała sprawność energetyczna,
- ograniczony zakres stosowania – suszarki radiacyjne nadają się w zasadzie do suszenia powierzchniowego.

Radiacyjna metoda suszenia znajduje dlatego zastosowanie jedynie do specjalnych produktów przemysłu spożywczego zwłaszcza tam, gdzie zależy nam aby prowadzić obróbkę cieplną materiału bez naruszenia jego struktury, podwyższyć lub zmniejszyć aktywność biologiczną materiału.

Ponieważ materiał napromieniowany osiąga, szczególnie na powierzchni temperaturę znacznie wyższą niż temperatura wilgotnego termometru otaczają-

cego powietrza, dlatego radiacyjna metoda suszenia nie nadaje się do suszenia materiałów, w których czynnikiem limitującym suszenie jest wewnętrzna dyfuzja wilgoci, względnie kiedy podczas suszenia następuje skurcz materiału.

Jako radiatory podczerwieni — źródła promieniowania w zakresie długości fali $\lambda = 800 - 1800 \text{ nm}$ — wykorzystywane są lampy elektryczne, elementy oporowe — termoradiatory, bezpłomieniowe palniki gazowe, płytowe lub rurowe radiatory ogrzewane od wewnątrz parą, gazami spalinowymi czy też wysokotemperaturowymi nośnikami ciepła itp. Wybór typu radiatora jest uzależniony od charakterystyki absorpcyjnej materiału suszonego. Zmieniając temperaturę źródła promieniowania można tak dobrać pasmo promieniowania, aby uzyskać maksymalną absorpcję w określonej warstwie materiału.

W przypadku, gdy długość fali promieniowej nie ma decydującego wpływu, wyboru źródła promieniowania dokonuje się głównie w zależności od kosztów i wygody stosowania.

Suszarki radiacyjne są zazwyczaj stosowane do materiałów przesuwanych za pomocą taśmy. Stąd też mają one postać tunelu przystosowanego do kształtów i rozmiarów obiektu suszonego. W przemyśle spożywczym suszarki radiacyjne raczej nie znalazły powszechnego zastosowania, jedynie badania laboratoryjne wykonywane są w radiacyjnych suszarkach doświadczalnych.

Suszenie dielektryczne

Większość materiałów poddawanych procesowi suszenia należy do grupy dielektryków. Każda cząsteczka dielektryka zawiera elementarne ładunki elektryczne związane siłami wewnątrzcząsteczkowymi, tworzące tzw. dipole. Pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego powstają siły elektrodynamiczne, które powodują obrót i ustawienie się dipoli równoległe do kierunku zewnętrznego pola elektrycznego. Jeżeli pole elektryczne jest przemienne, to wraz ze zmianą kierunku pola zachodzi ciągłe przemieszczanie się ładunków i związanych z nimi cząsteczek, czemu towarzyszy zjawisko tarcia międzycząsteczkowego, powodujące wydzielanie energii cieplnej.

W praktyce suszarniczej najlepsze efekty można uzyskać stosując pole elektromagnetyczne zmieniające się z wielką częstotliwością $2,7 \cdot 10^4 \text{ MHz}$.

Z fizycznego punktu widzenia porowaty materiał wilgotny jest układem trójfazowym ciało stałe — woda — powietrze. Elektromagnetyczne właściwości takiego układu zależą nie tylko od jego składu, temperatury, częstotliwości pola elektromagnetycznego, ale także od struktury materiału, stanu jego powierzchni oraz rodzaju wiązania wody z materiałem.



Intensywność suszenia dielektrycznego jest zależna od właściwości cieplnych ciała wilgotnego (przewodnictwo cieplne, odporność temperaturowa) oraz jego właściwości dielektrycznych jak również ich zmian wraz ze zmianami temperatury, wilgotności, częstotliwości pola oraz grubości warstwy.

Podstawowym elementem suszarki dielektrycznej jest komora, w której zachodzi pochłanianie przez materiał suszony dostatecznej energii. Komorę taką może stanowić **falowód**, używany w technice wielkich częstotliwości do przesyłania energii mikrofalowej lub tzw. rezonator wnękowy, czyli **komora rezonansowa**, przeznaczona do magazynowania energii elektromagnetycznej o częstotliwościach zbliżonych do częstotliwości rezonansowych.

Suszenie dielektryczne można kojarzyć z suszeniem dokonywanym w suszarkach komorowych. Można również prowadzić suszenie rozdrobnionych materiałów w złożu fluidalnym lub fontannowych, a tym samym połączyć suszenie dielektryczne z suszeniem konwekcyjnym.

Suszenie w polu akustycznym

Suszenie w polu akustycznym jest jedną z perspektywicznych metod praktycznego wykorzystania drgań ultradźwiękowych [17]. Podczas suszenia akustycznego ośrodek gazowy otaczający materiał i znajdujący się w jego wnętrzu, a także sam materiał suszony poddawane są działaniu vibracyjnemu.

W zastosowaniu do materiałów rozdrobnionych suszenie akustyczne jest dalszym rozwinięciem suszenia w warstwie fluidalnej z pulsacyjnym strumieniem gazu, gdzie częstotliwość działania vibracyjnego na ośrodek gazowy osiąga wartość od 20 do 250 kHz.

W wyniku pochłaniania energii akustycznej następuje wydzielenie się pewnej ilości ciepła i podwyższanie temperatury. Do wytwarzania pola akustycznego są stosowane aerodynamiczne generatory dźwiękowe. Ta nowoczesna technika suszenia nie jest jeszcze wykorzystywana w praktyce przemysłowej.

1.10.2. Suszenie sublimacyjne

Ten rodzaj suszenia opiera się na przemianie fazowej zestalonej wody (lód) w gaz na drodze sublimacji, z pominięciem fazy ciekłej. Podczas suszenia sublimacyjnego, zwanego także liofilizacją, materiał suszony poddawany jest zamrożeniu oraz sublimacji zamrożonej wilgoci pod zmniejszonym ciśnieniem poniżej 10-40 Pa, w temperaturach od -10 do -40°C. Ciepło sublimacji jest dostarczone przez przewodzenie lub promieniowanie. Sublimacja zamarzniętej



wilgoci (lodu) rozpoczyna się na powierzchni materiału. Po sublimacyjnym usunięciu wilgoci utworzona sucha warstwa materiału znajdująca się w stanie zamrożenia zachowuje swoją postać i strukturę.

Operacja suszenia sublimacyjnego przebiega w dwóch stadiach. Najpierw w wyniku niskiego ciśnienia i dostarczania pewnych ilości ciepła następuje sublimacja lodu z zamrożonego materiału. W tym stadium usuwane jest 98 do 99% wilgoci zawartej w materiale. Ilość i natężenie dostarczanego ciepła jest czynnikiem decydującym o ruchu powierzchni lodu w głąb ciała suszonego w miarę sublimacji wilgoci. W następnym stadium ogrzewanie nie jest tak istotne, ponieważ porowata struktura materiału jest utworzona i wilgoć pozostała jeszcze w materiale dzięki tej porowatej strukturze łatwo się uwalnia, chociaż usunięcie ostatnich 2-5% wilgoci może trwać dość długo ze względu na fizykochemiczne związanie tej wody z materiałem.

Obok przemysłu farmaceutycznego suszenie sublimacyjne znalazło zastosowanie również w przemyśle spożywczym.

1.10.3. Suszenie chemiczne

Suszeniem chemicznym nazywa się sposób usuwania wilgoci z materiałów, polegający na chemicznym lub fizykochemicznym związaniu wody z czynnikiem suszącym i wydzieleniu jej w ten sposób z materiału. Jako chemiczne środki suszące mogą mieć zastosowanie różnego rodzaju sole higroskopijne podlegające łatwo rekrytalizacji i wiążące wodę na budowę kryształów uwodnionych. W ostatnich latach coraz powszechniej stosuje się nowoczesne środki odwadniające w postaci różnego rodzaju sorbentów wilgoci, żelów odwadniających itp. suszenie chemiczne ma szczególnie duże zastosowanie do usuwania wilgoci z materiałów niewodnych np. tłuszczowych. Jest to niewątpliwie wygodna i skuteczna metoda suszenia, pozwalająca uniknąć szeregu niekorzystnych procesów ubocznych suszenia termicznego między innymi strat substancji lotnych i reakcji przyspieszonych temperaturowo.

Szczególnym zastosowaniem i odmianą chemicznego suszenia jest fizykochemiczne wspomaganie suszenia termicznego w postaci zwiększania siły napędowej procesu i zdolności odprowadzania wilgoci np. przez fizykochemiczne odwodnienie gazów suszących. Jest oczywiste, że do suszenia chemicznego zwłaszcza suszenia żywności muszą być szczególnie troskliwie dobrane odpowiednie środki odwadniające, aby uniknąć niekorzystnych skutków reakcji ubocznych.

1.11. Dobór suszarek i warunków prowadzenia procesu suszenia

Podjęcie decyzji co do wyboru odpowiedniego typu suszarki jest zagadnieniem złożonym. Zastosowanie odpowiedniej metody suszenia i dobranie odpowiedniego rodzaju suszarki musi uwzględniać przede wszystkim strukturę i właściwości wilgotnego materiału oraz wysuszonego produktu. Ponadto mogą decydować również inne względy, takie jak: zapotrzebowanie energii cieplnej i mechanicznej, zużycie materiałów do budowy suszarki, mechanizacja, automatyzacja procesu itd.

Z uwagi na właściwości materiału przed wyborem suszarki należy rozpatrzyć następujące aspekty:

- właściwości fizyczne, cieplno-fizyczne, fizyko-chemiczne i biologiczne materiału,
- kinetykę procesu suszenia wilgotnych materiałów,
- zdolność do transportu,
- aspekty bezpieczeństwa (możliwość zapłonu i wybuchu).

Informacje takie pozwalają zakwalifikować materiał do określonej grupy, a to stanowi podstawę doboru suszarki. Podstawą klasyfikacji mogą być również inne kryteria np. dopuszczalna temperatura ogrzewania, toksyczność, czy właściwości względnie zagrożenie chemiczne.

1.11.1. Wybór metody suszenia i typu aparatu

W zasadzie każdy indywidualny materiał przeznaczony do suszenia wymaga odrębnej analizy parametrów procesu suszenia. Wskazanie precyzyjnych zasad doboru metody suszenia z uwzględnieniem parametrów procesu jest w zasadzie niemożliwe. Postać fizyczna i właściwości wilgotnego materiału stanowią jednak podstawę konkretnego rozwiązania aparaturowego. Ogólnie można podać, że kryteria te są następujące:

- charakter powiązań wilgoci z materiałem i jego struktura,
- „krytyczne wielkości porów”,
- postać fizyczna materiału (płyn, krajanka, zawiesina, pasta, proszek itd.),
- odporność termiczna materiału,
- zdolność do transportu wilgotnego materiału,
- właściwości i wymagania dotyczące suchego produktu,
- dane ogólne zawierające informacje dotyczące skali i miejsca produkcji, dostępności źródeł energii itp.,

- mechanizacja i automatyzacja układu suszenia i jego powiązanie z operacjami poprzedzającymi,
- straty produktu w toku operacji suszenia,
- parametry ekonomiczne głównie określone przez koszt suszenia i koszty inwestycyjne,
- możliwość występowania toksyczności, zapłonu i wybuchu.

Bardzo często stosuje się kombinowane układy suszarnicze o różnych metodach i warunkach suszenia. W każdym przypadku prowadzi to do uzyskania korzystniejszych warunków suszenia.

Po dokonaniu wstępnego wyboru typu aparatu suszarniczego zaleca się następnie wykonanie prób na suszarce badawczej w mniejszej skali. Takie wstępne badania laboratoryjne są konieczne, gdyż pozwalają na dokonanie konkretnych zmian w technologii procesu suszenia. Są również podstawą do przeprowadzenia analizy optymalizacyjnej i wyboru parametrów prowadzenia procesu. Analiza optymalizacyjna musi być dopasowana do konkretnej metody suszenia, z uwzględnieniem jej specyfiki i charakterystyk hydrodynamiczno-cieplnych.

Bardzo ważnym problemem w procesie suszenia jest jego energochłonność. Dostarczona do suszarki energia zużywana jest na ogrzewanie materiału oraz straty ciepła do otoczenia. Zatem wobec ogromnej energochłonności procesu suszenia oraz malejących zasobów i rosnących kosztów paliw ważne jest, aby zużycie energii przy suszeniu utrzymywać na możliwie niskim poziomie.

Przy projektowaniu suszarki należy oprócz kosztów energii uwzględnić koszty i możliwości inwestycyjne suszarki, dmuchaw i układów odpylających. Ścisłe przestrzeganie optymalnych warunków pracy instalacji suszarniczej oraz hermetyzacja, jak również kontrola izolacji instalacji suszarniczej oraz czyszczenie powierzchni wymienników ciepła i filtrów jest kolejnym źródłem oszczędności energetycznych. Istotne znaczenie ma również zmniejszenie do minimum czasu pracy suszarki przy niepełnym obciążeniu. Bardzo ważne z punktu widzenia oszczędności energii jest również unikanie przesuszenia punktu, czyli przekroczenia granicy niezbędnych zawartości wilgoci. Nakłady energii są wówczas bardzo duże i zbędne a nawet szkodliwe.

Wyniki badań w skali laboratoryjnej na instalacjach modelowych są podstawą do realizacji badań w skali przemysłowej [29].

1.11.2. Przygotowanie materiału do suszenia

Na jakość wysuszonego materiału oraz na warunki prowadzenia procesu suszenia i jego intensywność duży wpływ ma specjalna obróbka wstępna

materiału wilgotnego. Można tu wspomnieć o wstępnym rozdrabnianiu, ogrzewaniu, stabilizacji biochemicznej, zwięźnieniu, zateżnieniu, wprowadzaniu specjalnych dodatków do materiału suszonego itp. Celem rozdrobnienia jest optymalne rozwinięcie powierzchni dla maksymalizacji intensywności suszenia. Wstępne ogrzewanie materiału pozwala na intensyfikację suszenia przez zwiększenie sprawności cieplnej suszarki oraz zapobiega powstawaniu niedopuszczalnych naprężeń prowadzących do pęknięcia materiału i zmian struktury. Niekiedy materiał wilgotny bardzo źle oddaje wilgoć i nie udaje się wtedy otrzymać produktu w postaci sypkiej. Wówczas w niektórych przypadkach można polepszyć suszenie przez zmianę procesów poprzedzających operację suszenia lub recyrkulację materiału.

Recyrkulację rozdrobnionego materiału suszonego stosuje się w celu:

- rozwinięcia powierzchni materiału,
- polepszenia właściwości sypkich materiału wilgotnego doprowadzanego do suszarki np. w suszarkach strumieniowych,
- otrzymania produktu zgranulowanego i zmniejszenia frakcji pylistych,
- lepszego wysuszenia materiału bez jego przegrzania.

Przez zmieszanie materiału wilgotnego z materiałem wysuszonym może następować ponadto szybkie wyrównanie temperatury i wilgotności w cząstkach materiału. Recyrkulacja gorącego produktu pozwala również na prowadzenie procesu suszenia konwekcyjnego z kontaktowym doprowadzeniem części ciepła.

1.11.3. Optymalizacja warunków procesu suszenia

Wobec trwającego kryzysu energetycznego oraz rosnących cen paliw i energii na całym świecie dąży się do zmniejszenia energochłonności procesu suszenia. Rozpatruje się możliwości modernizacji istniejących suszarek, jak i budowę nowych, doskonalszych.

Jako optymalne warunki suszenia określa się takie warunki, w których otrzymuje się żadaną wydajność i jakość produktu, szybko i przy minimalnym nakładzie kosztów. Na koszty te oprócz rozwiązań aparaturowych ma także wpływ wybór czynnika suszącego, jego parametrów oraz wybór źródła ciepła.

Podstawowymi źródłami ciepła jest stałe, ciekłe lub gazowe paliwo, a nośnikami para i prąd elektryczny. Jako czynnik suszący może być stosowane gorące powietrze, gazy spalinowe, gazy obojętne lub para wodna przegrzana. Najdogodniejszy sposób suszenia z wykorzystaniem powietrza może być stosowany jednak tylko w tych przypadkach, w których temperatura susze-

nia nie jest szczególnie wysoka i obecność tlenu nie wywołuje niekorzystnych zmian w materiale suszonym.

Gazy spalinowe z reguły wykorzystuje się przy suszeniu w wysokich temperaturach wówczas, gdy materiał nie wchodzi w reakcję z dwutlenkiem węgla lub zanieczyszczeniami znajdującymi się w gazach otrzymywanych przy spalaniu paliwa. Zwykle dotyczy to materiałów nie przeznaczonych bezpośrednio do produkcji żywności. Parę przegrzaną można stosować wówczas, gdy materiał poddawany suszeniu nie zmienia swoich właściwości w temperaturach do 130°C. Stosowanie jako czynnika suszącego pary grzejnej lub azotu zalecane jest również w przypadku niebezpieczeństwa wybuchu. Może to mieć miejsce wówczas, kiedy podczas suszenia materiałów w stanie zawieszonym gromadzą się duże ładunki elektryczne.

Recyrkulacja czynnika suszącego

W celu zmniejszenia zużycia ciepła, zwiększenia wilgotności czynnika suszącego, obniżenia stężenia tlenu, zwiększenia prędkości przepływu gazu w suszarce itp. stosuje się recyrkulację czynnika suszącego.

W procesie wysokotemperaturowego suszenia recyrkulację gazu należy prowadzić w taki sposób, aby cząstki pyłu nie były zawracane do obiegu. Ze względu na wysoką temperaturę cząstki pyłu mogą ulec zapłonowi lub rozkładowi termicznemu przy kontakcie z gorącym gazem, dlatego też zaleca się oczyszczenie gazów odlotowych przed ich zawrotem.

Ogrzewanie bezprzeponowe i przeponowe. Ogrzewanie ma wiele zalet. Materiał najczęściej jest ogrzewany przy wykorzystaniu powietrza zewnętrznego, którego temperatura może być dokładnie kontrolowana, tak aby materiał nie został przegrzany powyżej dopuszczalnego poziomu. Na ogół dzięki wyeliminowaniu z instalacji płaszczy grzejnych czy rur do przesłania czynnika grzejnego, suszarki z ogrzewaniem bezprzeponowym są konstrukcyjnie prostsze i tańsze niż przeponowe. Jednak metoda bezprzeponowa dostarczania ciepła ma również pewne wady. Z odlotowym powietrzem jest unoszona znacznie większa ilość ciepła, co pogarsza sprawność cieplną instalacji. Produkt, względnie odparowana wilgoć, może reagować z tlenem i innymi gazami będącymi w nadmiernym kontakcie z materiałem. W przypadku materiałów pylistych i puszystych cyrkulujące powietrze może porywać drobne cząstki, co prowadzi do komplikacji konstrukcji odpylających lub do znacznych strat materiału. Sprawność energetyczną suszarki można zwiększyć przez recyrkulację części powietrza odlotowego. Straty wynikłe z pylenia można redukować przez zmniejszenie prędkości powietrza lub zastosowanie odpowiednich aparatów odpylających.



Temperatura. Temperaturowe warunki prowadzenia procesu są narzucone przez właściwości materiału suszonego i technologię jego wytwarzania. Aby uzyskać najwyższą intensyfikację procesu oraz najwyższe wskaźniki ekonomiczne należy temperaturę czynnika suszącego przyjmować jako najwyższą w granicach dopuszczalnych właściwościami materiału. Temperatura gazów odlotowych uwarunkowana jest względami ekonomicznymi oraz założoną końcową temperaturą produktu.

Współprąd i przeciwprąd. W procesie suszenia często jest wykorzystywana zasada współprądowego przepływu materiału i czynnika suszącego. Umożliwia to pracę w podwyższonej temperaturze początkowej gazów, ponieważ w pierwszym okresie suszenia temperatura materiału jest równa temperaturze wilgotnego termometru.

Proces suszenia w przepływie współprądowym, jak wszystkie procesy wymiany ciepła i masy jest jednak mniej intensywny i efektywny niż w przeciwprądzie. Z uwagi na drastyczne warunki suszenia przeciwprąd nie zawsze jednak może być w procesie suszenia wykorzystywany. Jest on jednak pożądany np. przy jednoczesnym suszeniu i prażeniu, przy suszeniu do małej wilgotności końcowej materiału higroskopijnego lub kiedy materiał podsuszony jest odporny na działanie wysokiej temperatury. W przeciwprądzie bowiem siły napędowe procesów wymiany masy i ciepła, czyli różnice wilgotności czynników oraz różnice temperaturowe podczas całego procesu są w przybliżeniu stałe i ustalone na wysokim poziomie.

Liczba sekcji. Stosowanie suszarek wielosekcyjnych jest konieczne w przypadkach, kiedy właściwości materiału suszonego wyraźnie zmieniają się w miarę usuwania wilgoci, względnie wówczas, gdy proces suszenia jest połączony z innymi operacjami pośrednimi. Aby dokonać wyboru liczby sekcji oraz właściwych parametrów suszenia, jest pożądane sporządzenie tzw. termogramów materiału suszonego. Analiza termogramów pozwala na ocenę dopuszczalnych temperatur procesu w określonych zakresach zawartości wilgoci w materiale i na tej podstawie pozwala ustalić optymalną liczbę sekcji oraz warunki pracy w każdej sekcji.

2. ZMIANY JAKOŚCI PRODUKTÓW W CZASIE SUSZENIA

2.1. Wprowadzenie

Zadaniem głównym suszenia środków żywności jest obniżenie aktywności wodnej do poziomu, przy którym pogorszenie się jakości żywności z powodów biologicznych lub biochemicznych przebiega dostatecznie wolno, aby mogła ona być składana przez długi czas i dogodnie transportowana. Jednak podczas samego procesu suszenia są również możliwe niekorzystne zmiany jakości materiału. Pogorszenie się jakości wynika z oddziaływania następujących parametrów, istotnych w procesie suszenia:

- 1) wysoka temperatura intensyfikująca reakcje chemiczne,
- 2) przegrupowanie składników i wewnętrzny przepływ masy (zerwanie powiązań wody z materiałem, zmiana struktury ciała),
- 3) stosowanie obniżonego ciśnienia przy sublimacji i innych procesów próżniowych (zmiana składu chemicznego przez usunięcie substancji łatwo lotnych).

Wśród zmian najpowszechniej związanych z procesem suszenia znajdują się: zmiany tekstury żywności wynikające z usuwania wody i sieciowania składników polimerowych, utrata aromatu i obniżenie wartości odżywczej lub jakości spowodowane reakcjami chemicznymi, w szczególności brązowaniem nieenzymatycznym. Zmiany struktury stanowią bardzo złożone zagadnienie i w wielu przypadkach są bezpośrednio związane z procesem usuwania wody. Utrata aromatu zależy od zmian strukturalnych wewnątrz produktu spożywczego. Natomiast reakcje obniżające wartość odżywczą są uzależnione od gradientów wilgotności i temperatury występujących w procesie suszenia [113].

2.2. Zmiany tekstury i zdolności rehydracji żywności suszonej

Jakość żywności suszonej jest często limitowana zmianami tekstury i zdolności rehydracji. Tak więc „zdrewniała” tekstura, powolna i niecałkowita rehy-

dracja oraz utrata soczystości typowej dla świeżej żywności, są najpowszechniejszymi wadami jakości produktów suszonych. Fizykochemiczne podstawy tych zmian nie są całkowicie poznane.

W przypadku materiałów roślinnych utrata integralności komórkowej oraz krystalizacja polimerów są uważane za główne przyczyny tych zmian; wiadomo, że usuwanie wody przyczynia się do zmiany drugorzędowej struktury i wewnątrzcząsteczkowego odwodnienia polisacharydów takich jak: skrobia i celuloza oraz krystalizacji innych składników żywności. W ziemniakach i innych produktach, których głównym składnikiem jest skrobia, jej retrogracja jest oczywistą przyczyną zmian strukturalnych, ściśle związanych z procesem odwadniania.

2.3. Retencja aromatu w żywności suszonej

Retencja związków zapachowych jest istotnym elementem jakości żywności suszonej. Niezwykle rzadko prowadzenie procesu suszenia nawet w optymalnych warunkach suszenia pozostawia naturalny aromat materiału surowego. Najlepszą retencję aromatu umożliwia proces liofilizacji. Uważa się, że retencja organicznych związków lotnych wynika z ich adsorpcji na powierzchni suchej warstwy materiału liofilizowanego lub z mechanizmu wychwytywania i unieruchomienia związków lotnych w amorficznej matrycy substancji rozpuszczonych. W przypadku liofilizacji roztworów cukru zjawisko retencji aromatu zależy przede wszystkim od miejscowego wychwytywania niż adsorpcji. Natomiast w przypadku polimerów takich jak np. skrobia czy celuloza obok retencji przez wychwytywanie, adsorpcja odgrywa też istotną rolę [113].

2.4. Niszczenie składników odżywczych i inne niepożądane reakcje występujące w procesie suszenia

Reakcje występujące w czasie suszenia mogą prowadzić do obniżenia jakości suszu, w szczególności do niszczenia składników odżywczych i niepożądanych zmian wynikających z brązowienia. Podjęto próby analizy ilościowej tych zmian w powiązaniu z parametrami procesu. Przyczyniło się do określenia optymalnych warunków suszenia w odniesieniu do zachowania wartości odżywczej i jakości organoleptycznej.

Kluge i Heiss [57] mierzyli szybkość nieenzymatycznego brązowienia suszu w systemie modelowym (glukoza, glicyna i celuloza), a uzyskane wyniki użyli do

wprowadzenia zależności umożliwiających obliczenie stopnia zbrązowienia punktu w czasie suszenia. Mając dane tempo obniżania się jakości w funkcji zawartości wody i temperatury oraz znając rozkład wilgotności i temperatury wewnątrz materiału w procesie suszenia, można przeprowadzić odpowiednie obliczenia w odniesieniu do miejsca i czasu, które po zsumowaniu określają całkowitą zmianę jakości gotowego produktu.

Hendel i in. [45] badali m.in. stopień nieenzymatycznego brązowienia w plasterkach suszonego ziemniaka i stwierdzili, że szybkość brązowienia i związanych z tym efektów smakowo-zapachowych zależy od zawartości wody i temperatury materiału suszonego.



3. PODSTAWY PRZETWÓRSTWA ZIEMNIAKÓW NA CELE SPOŻYWCZE

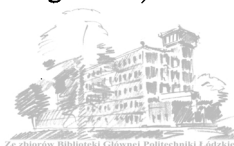
3.1. Rozwój przetwórstwa ziemniaczanego i struktura spożycia wyrobów ziemniaczanych

Ziemniaki ze względu na swój skład chemiczny, a zwłaszcza na dużą zawartość węglowodanów, białka, soli mineralnych i witamin, posiadają dużą wartość odżywczą oraz szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki żywnościowej [8, 88, 104]. Z uwagi na dużą zawartość wody w ziemniakach są one produktem nietrwałym, stwarza to znaczne trudności przy obrocie, a przede wszystkim podczas ich długotrwałego przechowywania.

Straty powstające w wyniku przechowywania ziemniaków szacuje się w granicach 10-20% całorocznych zbiorów, w Polsce stanowi to 4-8 mln Mg ziemniaków rocznie [10, 15]. Z tej przyczyny dąży się do minimalizacji masy ziemniaczanej przechowywanej w stanie surowym, a przede wszystkim do poszukiwania nowych rozwiązań technologicznych, w wyniku których powstaną trwałe produkty ziemniaczane o zachowanej wartości pokarmowej lub zmienionej w niewielkim stopniu [6, 34, 112].

Z ostatnich publikacji krajowych i zagranicznych wynika, że najbardziej dynamicznie rozwijającą się gałęzią przetwórstwa ziemniaków jest aktualnie produkcja uszlachetnionych wyrobów ziemniaczanych [5, 15, 17, 42, 56, 73, 123, 125, 130].

Polska, mimo dużej rocznej produkcji ziemniaków (przed 1980 r. ok. 50 mln Mg, ostatnie lata spadek: 1981 r. — 42,5 mln Mg, 1982 r. — 31,9 mln Mg) posiada jeden z najniższych (10-krotnie mniejszy niż w USA) wskaźników produkcji i spożycia uszlachetnionych produktów ziemniaka na osobę [41, 62]. Chcąc przybliżyć spożycie ziemniaków przetworzonych do wielkości porównywalnych z innymi wysoko uprzemysłowionymi krajami podejmuje się cały szereg prac badawczych i wdrożeniowych z tego zakresu. Obecnie spożycie ziemniaków w przeliczeniu na jednego mieszkańca w świecie waha się od 13 kg do 155 kg rocznie. Przykładowo: Japonia — 13 kg, USA — 25 kg, CSSR — 88 kg, RFN — 81 kg, NRD — 145 kg, Polska — 155 kg (wg Rocznika Statystycznego 1984).



W krajach półkuli północnej, a szczególnie w Polsce i Rosji ziemniaki stanowią jeden z podstawowych artykułów żywnościowych. W okresie powojennym z uwagi na wzrost stopy życiowej ludności, zmienioną strukturą żywienia (diety niskokaloryczne, odżywkę) i zwiększony popyt na żywność nie wymagającą długiego czasu przygotowania (szybkie tempo życia) wystąpiła wyraźna tendencja do zmniejszenia konsumpcji ziemniaków.

W ostatnich latach jednakże zauważono niezwykle ważne walory dietetyczne ziemniaków, przez co nastąpiło wyraźne zahamowanie spadku konsumpcji tego artykułu. Ostatnio jesteśmy świadkami dynamicznego rozwoju przetwórstwa ziemniaczanego, a w szczególności rozwoju chłodniczego przetwarzania żywności na bazie ziemniaków. Spożycie ziemniaków w tradycyjnej formie w wielu krajach zmniejszyło się, podczas gdy spożycie przetworów ziemniaczanych wzrosło kilkakrotnie [15, 42, 62]. Tendencja ta jest bardziej widoczna w krajach wysoko uprzemysłowionych. Przykładem zmian w strukturze konsumpcji może być Szwecja, gdzie w latach 1965-78 spożycie ziemniaków tradycyjnie podanych zmniejszyło się o 1/3, podczas gdy spożycie przetworów wzrosło 2,5-krotnie [62]. Do połowy lat sześćdziesiątych największą rolę na europejskich rynkach spożywczych przetworów ziemniaczanych odgrywały susze. Następne lata przyniosły intensywny wzrost produkcji wyrobów o wyższym stopniu przetworzenia i łatwiejszych w przygotowaniu do spożycia. Susze ustąpiły miejsca zdobywającym coraz większą popularność frytkom smażonym i mrożonym, które stanowią już połowę wszystkich wyrobów tej gałęzi przemysłu spożywczego USA. Ze względu na to, że przetwory ziemniaczane doskonale znoszą zamrażanie, możliwości asortymentowe przemysłu przetwórczego w ostatnich kilkunastu latach znacznie się rozszerzyły, wzrosło również znaczenie takich wyrobów mrożonych jak: krokiety, kluski, pyzy itd.

Asortyment produktów spożywczych pochodzących z ziemniaków jest obecnie bardzo szeroki i zależy od upodobań i zwyczajów ludzi w poszczególnych regionach świata. Już w 1970 r. w Stanach Zjednoczonych produkowano około 65 różnych rodzajów i odmian produktów z ziemniaków [93], a ostatnie badania spożycia produktów ziemniaczanych w krajach Europy Zachodniej dowodzą, że asortyment potraw z produktów ziemniaczanych rozszerzył się jeszcze bardziej i osiągnął już liczbę 100 [20, 42]. Produkcja spożywczych przetworów z ziemniaków najwcześniej rozwinęła się w Stanach Zjednoczonych. Już w latach sześćdziesiątych w kraju tym przerabiano około 50% zbiorów. W Europie przeznacza się dla przemysłu przetwórczego mniejszą część produkcji np. w Wielkiej Brytanii, która jest największym europejskim wytwórcą tych artykułów, przeznacza się około 20% zbiorów. Z ilości tej około 40% – to frytki, 40% chipsy i około 20% – susz [62]. Nieco inaczej przedstawia się produkcja spożywczych przetworów z ziemniaków w RFN. W kraju tym przeznacza się

około 10% zbiorów na produkcję gotowych wyrobów ziemniaczanych, przy czym frytki stanowią ponad 60% całej ilości wytworzonych wyrobów. Należy podkreślić, że jest to jedyny artykuł w grupie przetworów ziemniaczanych, którego produkcja w RFN rośnie w bardzo szybkim tempie. Natomiast produkcja puree, przekąsek i innych produktów ziemniaczanych od wielu lat pozostaje na nie zmienionym poziomie [62]. Trzeba tu zaznaczyć, że duży wpływ na wzrost konsumpcji ziemniaczanych produktów uszlachetnionych w krajach wysoko-uprzemysłowionych ma szeroko prowadzona akcja reklamowa, w której wskazuje się zalety tych wyrobów i korzyści płynące z zastosowania ich w gospodarstwie domowym [120].

Ogólnie należy podkreślić, że tendencja światowa w przemyśle przetwórczym jest taka, iż popyt na przetwory ziemniaczane będzie się zwiększał. Wynika to chociażby z obserwacji rynków europejskich, gdzie pojawili się nowi odbiorcy przetworów ziemniaczanych z innych kontynentów. Poza USA i Kanadą, gdzie nie ma tradycji spożywania ziemniaków, są takie kraje jak Japonia, zamożniejsze kraje Dalekiego Wschodu i niektóre kraje arabskie, w których zaobserwowano w ostatnich latach wzrost zapotrzebowania na ziemniaki i ich przetwory. Stąd też wzrastająca ogólnoswiatowa konkurencja w produkcji przetworów ziemniaczanych. Niestety, Polska w małym stopniu będzie mogła skorzystać z tej koniunktury. Mimo, że w Polsce do niedawna osiągnano największe zbiory ziemniaków na świecie, w przeliczeniu na jednego mieszkańca, a także najwyższe ich spożycie w stanie nieprzetworzonym, to jednak posiadamy niewspółmiernie mały potencjał produkcyjny przemysłu przetwórczego.

3.2. Wartość odżywcza ziemniaków i skład chemiczny

Dzięki swoim wszechstroonnym możliwościom zastosowania, a przede wszystkim dzięki wysokiej wartości odżywczej, ziemniaki zachowały i z pewnością zachowują nadal swą pozycję jednego z podstawowych składników żywienia, zwłaszcza w Europie [14, 87, 88, 104, 118].

Skład chemiczny ziemniaków różni się, zależnie od odmiany, okresu i warunków wegetacji, terminu zbioru, warunków i długości okresu przechowywania. Można jednak przyjąć, że przeciętny skład chemiczny ziemniaków przedstawia się następująco [105]:

- woda – 77,5%
- s.s. – 22,5% w tym:
 - węglowodany – 19,4%
 - sub. białkowe – 2,0%
 - sub. mineralne – 1,0%
 - tłuszcz – 0,1%

Zawartość składników rozpuszczalnych bulwy ziemniaczanej (soku ziemniaczanego) podawana przez różnych badaczy [79, 94] waha się w granicach 60 ÷ 80%. Najważniejszymi składnikami soku komórkowego są związki azotowe (substancje białkowe), które w 60-70% są rozpuszczalne. Badania żywieniowe wykazały, że białko zawarte w dość tanim artykule spożywczym, jakim jest ziemniak, jest pełnowartościowe [8, 88, 104]. Zawartość białka w ziemniaku, w porównaniu z białkami innych artykułów spożywczych biorących udział w odżywianiu człowieka przedstawia się następująco [60, 81, 120]:

mleko —	100% (białko zawarte w 100 g mleka przyjmuje się za 100%)
soja —	90%
płatki	
owsiane —	89%
cielęcina —	80%
ziemniaki —	71%
ryż —	68%
groch —	56%
kukurydza —	54%

Procentowa zawartość białka w ziemniakach jest znacznie mniejsza niż w mięsie czy mleku, to jednak biologiczna jego wartość jest zadziwiająco wysoka. Chodzi tu o nieodzowne aminokwasy, które są niezbędne dla regeneracji organizmu ludzkiego. Białko ziemniaczane zawiera ponad 52 aminokwasy, w tym prawie wszystkie aminokwasy egzogenne.

Według Malchera [79] skład aminokwasowy białka ziemniaczanego kształtuje się następująco:

arginina —	2,2%
fenyloalanina —	6,6%
histydyna —	7,7%
lecytyna —	17,5%
lizyna —	2,1%
metionina —	2,3%
treonina —	6,0%
tryptofan —	1,6%
walina —	6,1%

Ziemniaki, zawierające stosunkowo niedużo protein, przy masowym spożyciu są bardzo istotnym dawcą białka w żywieniu człowieka. W zależności od spożycia ziemniaki pokrywają od 8 do 20% zapotrzebowania dziennego na białko [120].

Obliczono, że 300 mln Mg ziemniaków produkowanych rocznie na świecie dostarcza 6 mln Mg białka [59]. Z uwagi na wysoką wartość odżywczą białka ziemniaczanego naukowcy zaczęli szerzej zajmować się tym problemem, badając

skład poszczególnych aminokwasów białka ziemniaczanego [12, 54, 85, 136], a także badając wpływ różnych warunków przechowywania ziemniaków na zawartość białka [22, 122].

Jakkolwiek bulwy ziemniaczane nie są bogatym źródłem witamin (w porównaniu z owocami), to jednak nie można nie doceniać ich wartości pod tym względem. Z uwagi na wysokie spożycie ziemniaków, zwłaszcza w Polsce, dawka dzienna dostarczonych organizmowi witamin jest dość znaczna [121].

Najważniejszym składnikiem witaminowym ziemniaka jest kwas askorbinowy – witamina C. Ilość witaminy C w świeżych surowych ziemniakach wynosi około 40 mg% [7, 134]. Wartość ta może ulegać dość dużym zmianom podczas przechowywania ziemniaków, czy też obróbki mechanicznej lub termicznej [9, 23, 51, 107, 110, 111, 118]. Poza witaminą C w ziemniakach występuje jeszcze witamina A, w formie prowitaminy – β -karotenu, w ilości 0,01 – 0,06 mg% oraz następujące witaminy z grupy B:

- B₁ (tiamina) – 0,02 – 0,18 mg%
- B₂ (kwas ryboflawinofosforowy) – 0,007 – 0,2 mg%
- B₆ (fosforan pirydoksalu i pirydoksaminy) – 0,225 mg%
- PP (amid kwasu nikotynowego) – 0,36 – 2,0 mg%

Poza tym surowy ziemniak zawiera śladowe ilości witaminy H i K₁ oraz kwas pantotenowy w ilości 0,19 – 0,32 mg% [95]. Witaminy zawarte w ziemniakach działają skutecznie tylko wówczas, gdy są powiązane z białkiem i solami mineralnymi znajdującymi się w bulwach ziemniaczanych.

Ziemniak zawiera szereg soli mineralnych, spośród których potas wysuwa się na pierwsze miejsce [80, 92]. Bobkova [16] podaje, że średnia zawartość potasu oznaczona bezpośrednio w świeżych bulwach ziemniaczanych wynosi około 0,6%. Drugie miejsce wśród składników mineralnych ziemniaka zajmuje fosfor, którego zawartość w przeliczeniu na P₂O₅ wynosi średnio 0,165% [95]. W skład substancji mineralnych bulw ziemniaczanych wchodzi jeszcze sole sodu, wapnia, żelaza, magnezu i szereg mikroelementów, a z anionów krzemiany, siarczany i chlorki. Wahania zawartości składników mineralnych w bulwie są przede wszystkim wynikiem właściwości odmianowych ziemniaków, niemniej jednak duży wpływ mogą wywierać też warunki siedliskowe, tj. gleba i nawożenie. Spożywana przeciętnie porcja 200 – 300 g ziemniaków pokrywa dzienne zapotrzebowanie organizmu dorosłego człowieka na potas w 50 – 60%, magnez – 25%, żelazo – 18%, fosfor – 18%, wapń – 3% [121].

Z uwagi na tak bogaty skład substancji mineralnych ziemniaki stosowane są w wielu dietach klinicznych pobudzających pracę nerek, krążenia krwi, a przede

wszystkim usuwając z organizmu ludzkiego nadmiar wody. Stąd też są one zalecane w dietach odchudzających, pomimo dość dużej zawartości węglowodanów.

Pośród cukrowców występujących w bulwach ziemniaczanych należy wymienić na pierwszym miejscu skrobię, której zawartość wynosi średnio 18,5%, co stanowi około 80% suchej substancji bulwy. Ta wysoka zawartość skrobi decyduje oczywiście o zastosowaniu ziemniaka, zarówno jako artykułu spożywczego i produktu paszowego, jak też jako surowca w przemyśle rolno-spożywczym. Zawartość skrobi w ziemniaku jest w zasadzie cechą odmianową uwarunkowaną genetycznie, choć na skrobiowość bulw może wpłynąć także racjonalne nawożenie, odpowiednie zabiegi agrotechniczne, a także warunki klimatyczne i glebowe. Obok skrobi występują w bulwach ziemniaka inne wielocukry jak: celuloza (0,17 – 3,5%), hemicelulozy (około 1,4%) oraz substancje pektynowe (0,02 – 0,8%) [33].

Wśród węglowodanów oprócz wielocukrów występują w bulwach ziemniaka zmienne ilości cukrów prostych takich jak: glukoza, fruktoza oraz dwucukier – sacharoza. W dojrzałych bulwach, zaraz po zbiorze ziemniaków, zawartość cukrów prostych jest niewielka – 0,2%. Wielkość ta jednak ulega częstym i dużym zmianom, a warunki przechowywania mają tu decydujący wpływ i zawartość cukrów prostych może wzrastać nawet do kilku procent [2, 71, 72, 98]. Ziemniak surowy zawiera jeszcze niewielką ilość tłuszczu – 0,1%. Ze względu na swój skład chemiczny odgrywa on szczególną rolę biologiczną w procesie żywienia. Zawiera bowiem głównie nienasycone kwasy tłuszczowe, których w tłuszczu ziemniaka jest ponad 70%. Są to przede wszystkim glicerydy takich kwasów jak: oleinowy, linolowy, linolenowy, γ -linolenowy. Te dwa ostatnie kwasy spełniają ważną rolę fizjologiczną, jako tzw. niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT). Inne składniki tłuszczu ziemniaka to nasycone kwasy tłuszczowe (głównie palmitynowy), fosfolipidy (głównie lecytyna) i glicero-fosforan choliney.

3.3. Przydatność ziemniaków do przetwórstwa spożywczego

W związku z szybko rozwijającym się przemysłem przerabiającym ziemniaki na wyroby uszlachetnione, nastąpiła zmiana struktury w gospodarowaniu ziemniakami. Powstał nowy duży odbiorca surowca ziemniaczanego ze specjalnymi wymaganiami, tj. przemysł spożywczy wyrobów z ziemniaka. Ziemniak produkowany dla określonego przerobu przemysłowego i uszlachetniania musi poza cechami organoleptycznymi, odpowiadać również formą i składem chemi-

cznym bulw [1, 48, 67, 119]. Na ostateczną jakość produktów otrzymanych z ziemniaków wywiera wpływ wiele czynników, takich jak: odmiana ziemniaków, kształt i wielkość bulw, warunki wzrostu, warunki zbioru i przechowywania, obróbka technologiczna oraz przechowywanie gotowego produktu [4, 13, 119, 126].

Podstawowymi kryteriami gotowych przetworów czy półproduktów ziemniaczanych są:

- niewielka tendencja do przebarwienia po rozdrobnieniu bulw, ugotowaniu czy innej obróbce,
- właściwy smak i zapach,
- odpowiednia tekstura.

Barwa przetworów ziemniaczanych zależy od intensywnej reakcji enzymatycznych przemian fenoli, reakcji kwasu chlorogenowego z żelazem i reakcji karbonyloaminowych [18, 19, 48]. Na związki zapachowe ziemniaka mają wpływ połączenia siarkowe i karbonylowe. Spośród czynników wpływających na smak największą zmienność wykazują cukry, których zawartość powyżej 3% jest na ogół nie pożądana. Dla przykładu – do produkcji czipsów ziemniaki powinny zawierać max. 1,3% cukrów red./s.s., dla wyrobu frytek lub puree max. 2,7%/s.s [50].

Z dotychczasowych badań wynika, że na smak i zapach produktu ziemniaczanego mają wpływ także składniki mineralne. Optymalna zawartość poszczególnych grup składników bulw przeznaczonych na produkty spożywcze jest następująca: cukry – $1 \div 3\%$, popiół – $1,2 \div 3\%$, skrobia – $15 \div 18\%$, azot – $0,25 \div 0,35\%$, solanina nie więcej niż 20 mg% [82, 108, 133, 135].

Tekstura ziemniaków odgrywa szczególną rolę przy ocenie jakości ziemniaków do produkcji wyrobów spożywczych gotowanych lub konserwowanych. Na konsystencję ziemniaków po ugotowaniu ma wpływ gęstość bulw (najlepiej poniżej 1,075), zawartość skrobi, substancji pektynowych, soli mineralnych i fityny [49, 61, 75]. Kleistość ugotowanych ziemniaków zależy od dezintegracji komórek i przemian skrobiowych, a mączność od zachowania się skrobi i substancji pektynowych [48]. Dowiedziono także, że tekstura przerobionych ziemniaków zależy od struktury komórkowej, a przede wszystkim od wielkości gałeczek skrobiowych (różnice struktury i w zawartości amylozy i amylopektyny) [97].

Rozpatrując przydatność surowca do przerobu na spożywcze przetwory ziemniaczane należy uwzględnić aspekty technologiczne, ziemniak bowiem jest surowcem posiadającym szereg cech utrudniających otrzymanie produktu utrwalonego, który po przygotowaniu do spożycia zachowałby wszystkie cechy produktu świeżego. A tylko takie produkty, w połączeniu z łatwością przygotowania z nich potrawy do spożycia mogą zdobyć uznanie konsumenta i rynki



zbytu. Obok aspektów technologicznych w przetwórstwie ziemniaczanym ważny jest również aspekt ekonomiczny procesu przetwarzania. Dotyczy to wzrostu wydajności produkcji oraz zmniejszenia kosztów wytwarzania. I tak np. wzrost zawartości s.s. ziemniaków o 2% zwiększa wydajność gotowego produktu średnio o 10%, przy znacznej oszczędności energii. Właściwie dobrana wielkość i kształt ziemniaków pozwala na zmniejszenie ilości odpadów i wymaga mniejszych nakładów na robociznę w fazie obróbki wstępnej, która pochłania około 50% ogólnych nakładów na pracę [67].

3.4. Zmiany składu chemicznego ziemniaków podczas przechowywania

Bulwy ziemniaczane są żywym organizmem, w którym nawet w okresie spoczynku zachodzą procesy życiowe. Woda, która stanowi aż 75% całości bulwy ziemniaczanej spełnia tutaj dużą rolę fizjologiczną. Stanowi źródło tlenu i wodoru w przemianach biochemicznych, jest ponadto środowiskiem, w którym zachodzą wszystkie przemiany metaboliczne [65]. Jednakże z gospodarczego i technologicznego punktu widzenia duża zawartość wody w ziemniakach jest czynnikiem niekorzystnym. Podczas przechowywania ziemniaków jest ona główną przyczyną poważnych strat. Następuje bowiem wzmożenie procesów życiowych w ziemniaku, takich jak: oddychanie, parowanie, kiełkowanie. Zachodzi szybka przemiana materii, a także rozwój mikroflory gnilnej i chorobotwórczej. Wszystkie te procesy powodują w rezultacie zmiany w składzie chemicznym ziemniaków, co objawiać się może stratami masy i niekorzystnymi zmianami smakowymi [10]. Zatem prawidłowe przechowywanie ziemniaków jadalnych powinno:

- ograniczyć straty masy do minimum [10, 103, 109, 132],
- zapobiec porocesosom gnilnym,
- zachować walory jakościowe i odżywcze [21, 66, 102].

Wielkość ubytków naturalnych powstających w procesie przechowywania zdrowych ziemniaków jest uzależniona od intensywności przebiegu procesów życiowych samych bulw, uwarunkowanych parametrami procesu składowania. Optymalne warunki przechowywania to temperatura 3–5°C i wilgotność względna powietrza około 80%. Straty ilościowe masy ziemniaczanej kształtują się wówczas na poziomie 9–10%. Przy czym stwierdzono, że krótkotrwałe obniżenie wilgotności do 60% nie wykazuje istotnego wpływu na jakość ziemniaków [66, 109, 131, 132].



Można znacznie zredukować straty masy ziemniaków, gdy przez 2 tygodnie bezpośrednio po zbiorze przetrzyma się ziemniaki w otoczeniu o wilgoności powietrza około 100%, w temp. poniżej 7,5°C [101].

Straty jakościowe powstające podczas przechowywania to: obniżenie wartości przemysłowej ziemniaków (przemiana skrobi na cukry, wzrost zawartości substancji nieskrobiowych) oraz zmniejszenie wartości konsumpcyjnej (zmniejszenie zawartości witamin, niekorzystne zmiany smakowe i barwne). W pierwszych tygodniach przechowywania ziemniaków następuje duże zmniejszenie zawartości witaminy C. Straty tej witaminy w okresie zimowym mogą wynosić około 50%. Podczas, gdy w dalszych miesiącach przechowywania, zwłaszcza w maju, czerwcu następuje wzrost zawartości witaminy C na skutek intensywnie przebiegających przemian oksydoredukcyjnych podczas wzmożonego oddychania i przemiany materii, związanej z kiełkowaniem bulw [9, 95, 107]. Istotne zmiany zaobserwowano również w zawartości białka i w składzie aminokwasowym ziemniaków podczas ich przechowywania [22, 122]. Wzrost zawartości wolnych aminokwasów jest związany z przemianą materii i resyntezą białkowych związków [32, 83, 84, 89].

Amberger i współautorzy uważają, że skład aminokwasowy ziemniaków przechowywanych w różnych warunkach zależy w mniejszym stopniu od parametrów przechowywania, a przede wszystkim zależy od miejsca uprawy, gatunku czy odmiany ziemniaków. Badano także wpływ w/w czynników na składniki biorące udział w reakcji Maillarda. Stwierdzono, że zawartość sacharozy i cukrów redukujących w ziemniakach przechowywanych zależy od okresu wegetacyjnego i warunków składowania ziemniaków. Odmiana ziemniaka decyduje natomiast o tym, czy charakteryzują się one powolnym przebiegiem procesu rekondycjonowania i dużą akumulacją cukrów czy też odwrotnie [3, 4, 65, 90, 99, 100]. Badano również wpływ niskich temperatur przechowywania ziemniaków na przyrost cukrów [44, 52, 77, 98], a także wpływ stężenia tlenu azotu i CO₂ na przemiany węglowodanowe zachodzące w składowanych ziemniakach w atmosferze różnych gazów [43, 44, 71, 72]. Istotne zmiany zaobserwowano również w zawartości substancji pektynowych ziemniaków, co jest związane z teksturą tkanki ziemniaczanej [33].

W miarę przedłużania się przechowywania pogarszają się także właściwości organoleptyczne ziemniaków. Przyczyną zmian smakowo-zapachowych ziemniaków mogą być procesy utleniania kwasów tłuszczowych. Mimo stosunkowo małej zawartości tłuszczu w ziemniakach (około 0,2%) wynika to prawdopodobnie stąd, że około 70% kwasów tłuszczowych bulwy – to kwasy wyskonienasycone [74].

3.5. Zmiany składu chemicznego ziemniaków podczas obróbki technologicznej

Z uwagi na niestrawność ziemniaków w postaci surowej, spożywanie tego cennego produktu roślinnego może odbywać się dopiero po jego obróbce termicznej. Jednakże procesy takie jak: obieranie, blanszowanie, gotowanie, smażenie czy suszenie powodują zmiany w składzie ziemniaka. Dotyczy to zarówno składu aminokwasowego białek ziemniaka, jak i węglowodanów, a zwłaszcza witamin i soli mineralnych. Stwierdzono przy tym, że przy przerobie przemysłowym straty niektórych witamin, zwłaszcza wit. C są większe średnio o 10% niż przy przerobie w gospodarstwie domowym [111].

Podczas obierania, cięcia i mycia ziemniaków zaobserwowano także niewielkie straty witamin, które są przypisywane wymyciu bądź utlenianiu bez udziału enzymów [37, 51]. Wpływ metody obierania ziemniaków na zawartość składników odżywczych jest bardzo duży. Okazuje się, że najlepszym pod tym względem sposobem oczyszczania kłębów ziemniaczanych jest obieranie parowe. Powstają wówczas najmniejsze straty masy surowca (18%), minimalne straty witaminy C i witamin z grupy B oraz najmniejszy ubytek węglowodanów [35, 36, 37, 53, 112].

Warunki blanszowania bądź gotowania ziemniaków mają bardzo duży wpływ na zachowanie składników odżywczych. W zależności od warunków gotowania (temperatura, ciśnienie, czas gotowania, dodatek różnych soli) straty witaminy C wahają się od kilkunastu do 50%, zaś straty witamin z grupy B od 10 do 20% [6, 7, 23, 26, 91, 110, 129]. Dalsze ubytki witamin powodują kolejne operacje w procesie produkcyjnym takie jak: rozdrabnianie, mieszanie, suszenie. W zależności od metody suszenia straty te są bardzo zróżnicowane. Suszenie walcowe okazało się najmniej korzystne, mniejsze straty powoduje suszenie promiennikowe, a najmniejsze suszenie fluidyzacyjne [6, 28, 78, 127].

W zależności od sposobu obróbki technologicznej ziemniaków zachodzą zmiany w składzie jakościowym i ilościowym substancji mineralnych, przy czym stwierdzono, że tylko gotowanie nieobraniach ziemniaków zmienia nieznacznie ich skład chemiczny [30, 39, 40, 106, 124]. Podczas obróbki termicznej ziemniaków zachodzą również zmiany w składzie aminokwasowym białka ziemniaczanego. Najkorzystniejsze wyniki dało suszenie fluidyzacyjne [2, 25, 31, 38, 83, 84].

Podczas suszenia ziemniaków zachodzą również przemiany węglowodanów, a także procesy wzajemnego oddziaływania skrobi ze składnikami mineralnymi i białkami. Zachodzi przy tym znaczna degradacja skrobi, co potwierdzają pomiary masy cząsteczkowej, lepkości czy zakresu β -amylolizy* [25, 71].

*Stopień scukrzenia skrobi w wyniku działania β -amylazy na skrobię

Obróbka termiczna ziemniaków, a także rozdrabnianie ugotowanych ziemniaków, mieszanie, kondycjonowanie i suszenie sprzyja reakcjom utleniania i hydrolizy tłuszczów. Prowadzi to do zakłócenia proporcji między ilością kwasów nienasyconych i nasyconych w przetworzonych ziemniakach. Podobnie przechowywanie produktów ziemniaczanych, zwłaszcza w temperaturze pokojowej, powoduje jęłczenie tłuszczów, a więc rozpad kwasów tłuszczowych na aldehydy i ketony, które to związki prowadzą do powstania nieprzyjemnego zapachu i smaku.

3.6. Systematyka uszlachetnionych produktów ziemniaczanych

Nazwa „produkty uszlachetnione” z ziemniaka obejmuje wszystkie produkty wytworzone przemysłowo z ziemniaków jadalnych oraz produkty spożywcze, których są one głównym składnikiem.

Asortyment produktów spożywczych oferowany przez współczesny przemysł przetwórstwa ziemniaczanego jest duży, a różnicowanie upodobań, zwyczajów i tradycji w poszczególnych regionach świata sprawia, że dają się w nim zauważyć znaczne różnice [125, 130].

Według technologii wytwarzania, a następnie utrwalania produkty z ziemniaków można usystematyzować następująco:

1) susze ziemniaczane — produkty otrzymane przez częściowe odwodnienie ziemniaków surowych lub ugotowanych, często z domieszką innych składników np. skrobi, mąki pszennej, przypraw itd. [5, 17, 69, 73, 77, 123],

a) wyroby suszone z ziemniaków gotowanych to:

- granulaty ziemniaczane,
- aglomeraty ziemniaczane,
- płatki ziemniaczane,

b) wyroby suszone z ziemniaków surowych:

- krajanka ziemniaczana (plasterki, kostka),
- grys ziemniaczany (zmielona krajanka),

2) wyroby smażone — produkty otrzymane przez smażenie krajanki z ziemniaków surowych [15, 34, 70, 108]:

- frytki,
- chipsy,
- prażynki,

3) wyroby mrożone — produkty otrzymane z mieszanek ciasta ziemniaczanego*, które po wstępnym przygotowaniu ich w postaci półproduktu lub gotowej potrawy — zostają zamrożone [47, 116, 117]:

- frytki mrożone,
- pyzy,
- kluski,
- placki,
- kopytka,

4) wyroby konserwowane – produkty otrzymane przez zakonserwowanie ziemniaków surowych lub gotowanych w puszkach, często z domieszką innych składników – w postaci półproduktu lub gotowej potrawy [15, 26],

- ziemniaki całe puszkowane,
- sałatka ziemniaczana w puszkach (niemiecka, amerykańska),

5) przekąski – wyroby otrzymywane wg specyficznej technologii i receptury, w skład których mogą wchodzić oprócz podstawowych surowców takich jak ziemniaki, mąka, różne dodatki smakowe typu ser, papryka, zioła itp. [15].

* Ciasto ziemniaczane otrzymuje się przez zmieszanie suszu ziemniaczanego, wody, mąki pszennej lub mączki ziemniaczanej i dodatków smakowych.

4. LITERATURA

- [1] **Adler G.:** Anforderungen der Verarbeitungsindustrie an den Rohstoff Kartoffeln, Kartoffelbau 1977, 28 (9), 21.
- [2] **Adrian J.:** La réaction de Maillard vue sous l'angle nutritionnel. I. Domaine de la réaction de Maillard. Industr. alim. agr 1972, 89, (9–10), 1281-1289.
- [3] **Amberger A., Schaller K.:** Einfluss von Stärke und Lagertemperatur auf die an der enzymatischen Verfärbung der Kartoffelknolle beteiligten Inhaltsstoffe. Z. Lebensm. Unters. – Forsch. 1974, 156 (4), 231–236.
- [4] **Amberger A., Schaller K.:** Wertgebende Inhaltsstoffe verschiedener Kartoffelsorten im Hinblick auf ihre Verarbeitung zu Edelerzeugnissen. II Der Einfluss von Sorte und Standort auf die an der Maillard – Reaktion beteiligten Inhaltsstoffe. Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm. 1973, 2, 107 – 11, wg Lebensm. Unters. – Forsch. 1974, 155 (3), 172.
- [5] **American Potato Co.:** Procédé de fabrication d'aliments déshydratés à base de pommes de terre et produits obtenus par ce procédé pat. France 2.308. 319, 24.03.1976.
- [6] **Augustin J. i in.:** Changes in nutrient composition of dehydrated potato products during commercial processing. J. Food Sci. 1979, 44 (1), 216–219.
- [7] **Augustin J. i in.:** Changes in the nutrient composition of potatoes during home preparation. II Vitamins. Amer. Pot. J. 1978, 55, 653–662.
- [8] **Augustin J.:** Variations in the nutritional composition of potatoes. J. Food Sci. 1975, 40, 1295–1299.
- [9] **Augustin J.:** Vitamin composition of freshly harvested and stored potatoes. J. Food Sci. 1978, 43, (5), 1566–70.
- [10] **Bathke K., Köcrotz T., Pöthe E.:** Der Schwund bei der Lagerung von Kartoffeln und seine Ursachen. Agrartechnik 1975, 25 (7), 328–333.
- [11] **Bennett C.O., Myers E.:** Przenoszenie ciepła i masy. WNT, W-wa 1967.
- [12] **Bergrofer E. i in.:** Enzymatische Hydrolyse von hitzeoaguliertem Kartoffelprotein. Die Stärke 1980, 32, 231–238.
- [13] **Beule A.J.M., Ludwig J.W., Meijers C.P.:** Kartoffelsorten für die industrielle Verarbeitung. Kartoffelbau 1979, 9, 342–343.
- [14] **Bielarz K.:** Skład i wartość ziemniaka i uszlachetnionych produktów spożywczych z ziemniaka. Biul. Inf. Prz. Ziem. 1968, 1, 56–62.
- [15] **Bielarz H., Gładkowski J.:** Spożywcze produkty z ziemniaka. Przem. Spoż. 1978, 32, 48–51.
- [16] **Бобкова Л.П.:** Упрощенная методика определения содержания кальция в картофеле. Консерв. Овощесуш. Пром. 1975, 12, 27–28.

- [17] **Boruch M. i in.:** Otrzymywanie suszów ziemniaczanych. Zesz. Nauk. PŁ, Chemia Spoż. 1976, 5.
- [18] **Boruch M., Kokuszko Z., Skalski J.:** Pomiar zabarwienia suszu ziemniaczanego. Zesz. Nauk., PŁ, Chemia Spoż. 1975, z. 25, 67–82.
- [19] **Boruch M., Kokuszko Z.:** Remisyjny pomiar zabarwienia ciała stałego o niejednorodnej (chropowatej) strukturze powierzchni. Zesz. Nauk., PŁ, Chemia Spoż. 1975, z. 25, 53–66.
- [20] **Bremer K.:** Zukunftsträchtige Kartoffel-Veredlung-industriemehr als 100 Kartoffelfertigprodukte. Kartoffelbau 1979, T. 30, nr 3, 83–84.
- [21] **Cunningham H.H., Zachringer M.V.:** Storage temperature for maintenance of internal quality in Idaho Russet Burbank potatoes. Amer. Potato J. 1972, 48, 320–328.
- [22] **Desborough S.L., Weiser C.J.:** Improving potato protein I. Evaluation of selection techniques. Amer. Pot. J. 1974, 51, (6), 185–196.
- [23] **Domah A.M.B. i in.:** Changes of L-ascorbic and L-dehydroascorbic acids during cooking and frying of potatoes. Z-Lebensm. Unters.-Forsch. 1974, 154 (5), 270–272.
- [24] **Duckworth R.B.:** The properties of water around the surfaces of food colloids. Proc. Inst. Food Sci. Technol. (UK) 1972, 5, (2), 60.
- [25] **Дудкин М.Ц. и др.:** Характеристика изменений крахмала при сушке картофеля. Пищевая Технол. 1978, 2, 102.
- [26] **Franke F.:** Über den Vitamin C-Gehalt in konservierten Kartoffeln, Ernährungs-Umschau 1972, 19, (4), 118–119.
- [27] **Filonienko G.K., Lebiediew P.D.:** Urządzenia suszarnicze. PWT, W-wa 1956.
- [28] **Gawryszek A.:** Oznaczenie witamin grupy B w suszach ziemniaczanych. Praca dypl. Inst. Bioch. Tecz. PŁ 1975.
- [29] **Гинзбург А.С.:** Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. Пищевая Промышленность 1973.
- [30] **Голинская Л.А., Раптунович Г.А.:** Исследование минеральных веществ сухого картофельного пюре. Консервн. Овощесуш. Пром. 1975, 5, 27–29.
- [31] **Голинская Л.А., Раптунович Г.А.:** Исследование пищевой ценности сухого белка картофельного пюре. Консервн. Овощесуш. Пром. 1979, 6, 36–37.
- [32] **Горшкова Т., Кутovenko Л.:** Накопление аминокислот в картофеле. Картогель в Овощи 1974, 7, 12–13.
- [33] **Горун Е.Г.:** Изменение пектиновых веществ картофеля в процессе роста клубней, хранения и кулинарной обработки. Консервн. Овощесуш. Пром. 1979, 3, 36–38.
- [34] **Горун Е.Г.:** Исследование химического состава и пищевой ценности хрустящего картофеля. Консервн. Овощесуш. Пром. 1979, 7, 42–44.
- [35] **Горун Е.Г.:** Семинар по обмену опытом производства сухого картофельного пюре. Консервн. Овощесуш. Пром. 1973, I, 42–43.
- [36] **Горун Е.Г. и др.:** Влияние метода очистки картофеля на содержание углеводов. Консервн. Овощесуш. Пром. 1974, 2, 39–41.

- [37] **Горун Е.Г.:** Влияние способа очистки картофеля на содержание витаминов группы Б. Пищевая Технол. 1978, 6, 154.
- [38] **Горун Е.Г.:** Содержание аминокислот в новых картофельных продуктах. Вопросы Питания 1978, 2, 76.
- [39] **Горун Е.Г., Чедаева Я.С.:** Исследование влияния технологии на изменение содержания минеральных веществ в быстрозамороженном гарнирном картофеле. Консервн. Обошесуш. Пром. 1979, 6, 17.
- [40] **Горун Е.Г., Чедаева Я.С.:** Влияние технологических факторов на изменение содержания минеральных веществ при производстве хрустящего картофеля. Консервн. Овошесуш. Пром. 1978, 5, 24—27.
- [41] **Graf G.:** Die Welt-Kartoffelernte 1982. Kartoffelbau 1983, 34, 330—331.
- [42] **Hacko F.:** Production von Kartoffelerzeugnissen. Kartoffelwirtschaft 1979, T. 32, nr 34, 3—4.
- [43] **Hansen H.:** Lagerung von Kartoffeln in kontrollierter Atmosphäre. Die Stärke 1974, 26, 390—392.
- [44] **Harkett P.H.:** The effect oxygen concentration on the sugar content of potato tubers stored at low temperature. Potato Res. 1971, 14, (4), 305—311.
- [45] **Hendel C.E. i in.:** Rates of non-enzymatic browning of white potato during dehydration. Food Technol. 1955, 9, 433.
- [46] **Hobler T.:** Ruch ciepła i wymienniki. WNT, W-wa 1979.
- [47] **Hoffman R.:** Kontinuierliche Gefriertrocknung granulierungsfähiger Lebensmittel. Die Lebensmittel — Industrie 1975, t. 22, z. 7. 297—303.
- [48] **Horubala A.:** Skład chemiczny ziemniaków, a ich przydatność dla przetwórstwa ziemniaczanego. Przem. Spoż. 1978, 11, 405—407.
- [49] **Hughes J.C. i in.:** Texture of cooked potatoes; Relationship between the compressive strength of cooked potato disks and release of pectic substances. J. Sc. Food Agric. 1975, 26, 713—738.
- [50] **Hunn W.:** Arbeitstagung über Zucker in der Kartoffel. Kartoffelbau 1973, 24, (11), 302.
- [51] **Jadhav S., Steele L., Hadzije D.:** Vitamin C Losses during production of dehydrated mashed potatoes. Lebensmitt. Wissenschaft. Technol. 1975, 8, (5), 225—230.
- [52] **Jarvis M.C., Duncn H.J.:** Variations in free sugars and lipids in different potato varieties during low-temperature storage. J. Sc. Food Agric. 1974, 25, (11), 1405—1409.
- [53] **Кацай Б.Е., Кочетова Л.Т.:** Физикохимическое изменения картофеля при очистке паром. Консервн. Овошесуш. Пром. 1974, 2, 22—25.
- [54] **Kapoor A.C., Desborough S.L.:** Potato tuber proteins and nutritional quality. Potato Res. 1975, 18 (4), 469—478.
- [55] **Karel M.:** Recent research and development in the field of low moisture and intermediate moisture foods. CRC Critical Rev. of Food Technol. 1973, 3, 329.
- [56] **Kempf W., Putz B.:** Technologie der Kartoffelveredlung. Ernährungs-Umschau. 1979, 26 (5), 143.

- [57] Kluge G., Heiss R.: Untersuchungen zur besseren Beherrschung der Qualität von Getrockneten Lebensmitteln unter besonderer Berücksichtigung der Gefriertrocknung. *Verfahrenstechnik* 1967, 6, 251.
- [58] Kneule F.: Suszenie. Arkady, W-wa 1970.
- [59] Knorr D.: Protein quality of the potato and potato protein concentrates. *Lebensmitt. Wiss. Technol.* 1978, 11 (3), 109–115.
- [60] Kofranjy E.: Biologische Wertigkeit von Kartoffelprotein. *Kartoffelbau* 1969, 9, 254.
- [61] Kołodziej Z.: Wpływ zawartości skrobi i fityny na dezintegrację tkanki bulwy ziemniaka podczas gotowania. *Roczniki Techn. i Chem. Żywn.* 1974, 34 (3), 309–319.
- [62] Kosmala B.: Rozwój artykułów spożywczych z ziemniaków. *Rynki Zagraniczne* 1979, 148, 5–8.
- [63] Ковганко Р.Л. и др.: Производство картофельного пюре в виде гранул на Весегонском овощесушильном заводе. *Консервн. Овощесуш. Пром.* 1979, 7, 19–22.
- [64] Krischer O., Kröll K.: *Trockner und Trockungsverfahren*. Springer-Verlag, Berlin 1959.
- [65] Kubicki K.: Biologiczne procesy zachodzące w czasie przechowywania ziemniaków. *Nowe Rolnictwo* 1974, 23, (21), 21–22.
- [66] Kubicki K.: *Zasady przechowywania ziemniaków*. PWRiL, W-wa 1972.
- [67] Kujawa S., Żelechowski G.: Surowiec do produkcji spożywczych przetworów z ziemniaka. *Przem. Spoż.* 1972, 26, 257–259.
- [68] Кутателадзе С.С.: *Основы теории теплообмена*. Атомиздат, Москва 1979.
- [69] Lamb-Weston Inc. Portland: Method of heat tempering potatoes prior to further processing, pat. USA 3.669.866, 22.07. 1969.
- [70] Lisińska G., Arciszewska M.: Jakość ziemniaka smażonego, Cz. II: Wpływ blanszowania na barwę czypsov i zawartość w nich tłuszczu. *AR Wrocław* 1978, s. 10.
- [71] Lisińska G.: Porównanie przemian węglowodanów i związków azotowych jakie zachodzą w ziemniakach w czasie suszenia i chłodzenia w powietrzu i innych gazach. *Przem. Rolno-Spoż.* 1971, 11–15.
- [72] Lisińska G.: Przemiana skrobia-cukry w bulwach ziemniaków chłodzonych w różnych gazach. *Zesz. Nauk. AR Wrocław* 1973, 193, 61–70.
- [73] Lisińska G.: Suszenie bulw ziemniaczanych przez liofilizację. *Zesz. Nauk. AR Wrocław* 1977, 9, 3–5.
- [74] Lisińska G., Wnuczkowska H.: Zmiany własności organoleptycznych i składu bulw ziemniaczanych przechowywanych w różnych warunkach *AR Wrocław* 1979, 65.
- [75] Le Tourneau D.J., Zaehring M.V.: Constituents of the potato tuber and their relation to texture. *Res. Bull*, 64, Univ. of Idaho, Coll. of Agric. 1965.
- [76] Лыков А.В.: *Теория сушки*, Энергия, Москва 1968.
- [77] Maag W.: Zur Lagertemperatur von Chips-Kartoffeln, *Mitt. Schweiz. Landw.* 1978, 55 (7), 136.



- [78] **Maciejewski A.**: Wpływ techniki suszenia na wartość witaminową suszów ziemniaczanych. Praca dypl. Instytut Biochemii Technicznej PŁ 1974.
- [79] **Malcher J., Medal K.**: Unschädlichmachung von Abwässern durch bessere Ausnutzung des Rohstoffes bei der Kartoffelstärkeerzeugung. Die Stärke 1966, 18, 141 – 154.
- [80] **Mar L.**: Die Kartoffel-eine wertvolle Mineralstoff-Quelle. Kartoffelbau 1971, 4, 130-132.
- [81] **Mar L.**: Gesunde Ernährung durch Kartoffelverzehr. Kartoffelbau 1969, 9, 252 – 253.
- [82] **Miśa B.**: Einfluss des Verhältnisses von Stärke zu anderen Inhaltsstoffen auf den Geschmack von Kartoffeln. Die Stärke 1978, 30, 313 – 315.
- [83] **Miśa B.**: Wpływ przechowywania i gotowania na zawartość wolnych aminokwasów w ziemniakach. Rostlinna Vyroba 1978, 24 (7), 731 – 737; wg Przegl. Dok. Prz. Ziem. 1980, 3, 2.
- [84] **Miśa B.**: Zmiany zawartości azotu ogólnego i białkowego podczas przechowywania i gotowania ziemniaków. Rostlinna Vyroba 1978, 24 (8), 861 – 867; wg Przegl. Dok. Prz. Ziem. 1980, 3, 2.
- [85] **Mittelbach F. i in.**: Enzymatische Hydrolyse von hitzecoaguliertem Kartoffelprotein. Die Stärke 1980, 32, 369 – 375.
- [86] **Mc Cain Foods Ltd.**: Verfahren zur Herstellung von gefrorenen Pommes Frites. Pat. RFN 2.713.935, 29.03.1977.
- [87] **Mc Cay C.M., Cay J.B.**: The Nutritive Value of Potatoes. Pot. Handbook 1967, 12, 54 – 56.
- [88] **Müller K.**: Kartoffeln und Kartoffelerzeugnisse-wertvolle Nahrungsmittel unserer Zeit. Kartoffelbau 1971, 9, 244 – 246.
- [89] **Назаров Н. и др.**: Изменение содержания свободных амин окислот в клубнях при хранении. Пищевая Технол. 1975, 6, 135 – 138.
- [90] **Nursten H.E.**: Recent developments in studies of the Maillard reaction. Food Chem. 1980 – 81, T. 6, 263 – 277.
- [91] **Oguntona T.E., Bender A.E.**: Loss of tiamin from potatoes J. Food Technol. 1976, 11, 347.
- [92] **Писарев В.Д. и др.**: Содержание микроэлементов в картофеле. Известия Вузов. Пищевая Технол. 1979, 5, 49 – 50.
- [93] **Politowicz P.**: Rozwój produkcji wyrobów spożywczych z ziemniaka na świecie. Biul. Inf. Prz. Ziem. 1970, 1, 49 – 53.
- [94] Praca zbiorowa. Technologia przemysłów ziemniaczanych. Cz. I W-wa 1952.
- [95] Praca zbiorowa. Technologia przetwórstwa ziemniaczanego WNT, W-wa 1972.
- [96] **Quast D.G., Karel M.**: Effects of environmental factors on the oxidation of potato chips. J. Food Sci. 1972, 37, 584 – 588.
- [97] **Reeve R.M.**: A review of cellular structure, starch and texture qualities of processed potatoes. Economic Botany 1967, 294 – 308.

- [98] **Samotus B. i in.:** Dynamika nagromadzania i zanikania cukrów w bulwach ziemniaka podczas zimowego przechowywania i rekondycjonowania. *Roczniki Technologii i Chemii Żywności* 1974, 24 (3), 245–259.
- [99] **Samotus B. in.:** Storage and reconditioning of Polish potato varieties and strains. I Influence of storage temperature on sugar level in potato tubers of different varieties and strains. *Potato Res.* 1974, 17 (1), 64–81.
- [100] **Samotus B. i in.:** Storage and reconditioning of Polish potato varieties and strains. II. Changes in sugar level in potato tubers of different varieties and strains during reconditioning of – stored potatoes. *Potato Res.* 1974, 17 (4), 82–96.
- [101] **Schippers P.A.:** The influence of during conditions on weight loss of potato during storage. *Am. Pot. J.* 1972, 48, 278–286.
- [102] **Schippers P.A.:** The influence of storage conditions on various properties of potatoes. *Amer. Pot. J.* 1972, 48 (7), 234–245.
- [103] **Schippers P.A.:** The relation between storage conditions and changes in weight and specific gravity of potatoes. *Amer. Pot. J.* 1972, 48, 313–319.
- [104] **Schmidt Th.:** Ernährungsphysiologische Bedeutung von Speisekartoffeln. *Kartoffelbau* 1973, 24, 7–9.
- [105] **Schwimmer S., Burr H.K.:** Structure and chemical composition of the potato tuber. *Pot. Handbook* 1967, 12, 42–45.
- [106] **Seiler H. i in.:** Der Mineralstoffgehalt von Kartoffeln in Abhängigkeit von der Zubereitungsart. *Mit. Gebiete Lebensmitteluntersuch. u. Hyg.* 1977, 68, 213–224.
- [107] **Shekhar V.C. i in.:** Changes in ascorbic acid content during growth and short-term storage of potato tubers. *Amer. Pot. J.* 1978, 55, 663–670.
- [108] **Simek J.:** Aminokyseliny v bramborach a jejich vliv na barvu a chut smažených hranolků a lupínků. *Průmysl Potravin* 1977, 28 (9), 532–534.
- [109] **Сокол Л.Ф., Лавренко З.И.:** Изучение потерь картофеля при хранении. *Докл. Всес. Сельскохозяй. Акад. Наук* 1971, 3, 21–22.
- [110] **Somogyi J.C.:** Einfluss der Zubereitungsweise auf den Vitamin C – Gehalt von Kartoffeln und Gemüse. *Ernähr.-Umsch.* 1975, 22, (2), 42–45.
- [111] **Samogyi J.C., Trautner K.:** Vitamin C – Verluste bei industriell und haushalts-massig hergestellten Kartoffelprodukten. *Ind. Obst. u. Gem. Verwertung* 1975, 60 (13), 364–369.
- [112] **Spengler M.:** Nährwertveränderungen durch die Prozesse der Be- und Verarbeitung. *Ind. Obst.-u. Gemüseverwert* 1971, 56 (12), 329–335.
- [113] **Spicer A.:** Nowe metody ząsęszczania i suszenia żywności. *WNT, W-wa* 1980.
- [114] **Strumiłło Cz.:** Podstawy teorii i techniki suszenia WNT, W-wa 1980.
- [115] **Strumiłło Cz.:** Ruch ciepła. Podstawy Teoretyczne Inżynierii Procesowej (skrypt) Łódź, Wyd. Nauk 1980.
- [116] **Шуб Л.П., Гурало И.И.:** Исследование процесса сушки замороженного картофельного пюре. *Консервн. Овощесуш. Пром.* 1978, 12, 17–19.
- [117] **Suortti i in.:** Verfahren zum Konservieren von Knollenföchten durch Tiefgefrieren. *Pat. RFN* 2.549.434, 4.11.1975.
- [118] **Suryń W.:** Wartość odżywcza ziemniaka. *Poradnik Plantatora* 1970, 2, 46–48.



- [119] **Suryń W.:** Właściwa uprawa i pielęgnacja zapewnia wysokogatunkowy surowiec – ziemniak dla przemysłu spożywczego. *Biul. Inf. Prz. Ziem.* 1970, 1, 21 – 23.
- [120] **Suryń W.:** Ziemniak jest wartościowym składnikiem zdrowego odżywiania. *Biul. Inf. Prz. Ziem.* 1970, 1, 18 – 20.
- [121] **Szczygieł A.:** Podstawy fizjologii żywienia. PZWL, W-wa 1975, 428.
- [122] **Taley E.A., Porter W.L.:** Chemical composition of potatoes. VII. Relationship of the free aminoacid concentration to specific gravity and storage time. *Amer. Pot. J.* 1970, 47, 214 – 224.
- [123] **The Procter a. Gamble Co.:** Verfahren zur Herstellung von Kartoffel-Chips. Pat. RFN 2.722.503, 18.05.1977.
- [124] **Toma R.B. i in.:** Changes in the nutrient composition of potatoes during home preparation. I. Proximate composition. *Amer. Pot. J.* 1978, 55, 639 – 652.
- [125] **Topolska J.:** Uszlachetnione wyroby z ziemniaków. *Przegląd gastronomiczny* 1976, 5, 17 – 19.
- [126] **Wiegmann F.:** Anbaupflege sichert Qualitätsware zur industriellen Verarbeitung. *Kartoffelbau* 1969, 9, 275 – 277.
- [127] **Wilka-Jeszka J., Boruch M.:** Straty witaminy C w procesie otrzymywania suszu ziemniaczanego. *Zesz. Nauk. PŁ, Chemia Spoż.* 1979, nr 295, z. 33, 104 – 110.
- [128] **Wiśniewski S.:** Wymiana ciepła. PWN W-wa 1979.
- [129] **Witkowski Cz., Paradowski A.:** Wpływ czasu i temperatury sterylizacji na zawartość witaminy C w konserwach ziemniaczanych. *Przem. Ferm. i Rolny* 1975, 6, 7 – 8.
- [130] **Wojtuch J.:** Przetwórstwo przemysłowe ziemniaków jadalnych i ich spożycie. *Nowe Rolnictwo* 1969, 14, 33 – 35.
- [131] **Волькин И.Л., Лобанова А.С.:** Влияние относительной влажности воздуха в картофеле и овощехранилищах на сохраняемость продуктов. *Консервн. Овощесуш. Пром.* 1972, 6, 9 – 11.
- [132] **Волькин И.Д., Лобанова А.С.:** Влияние относительной влажности воздуха на сохраняемость картофеля, параметры для расчета массоотдачи клубнями. *Труды ВНИИКОП* 1974, 21, 76 – 88.
- [133] **Веселовский З., Бонкова Е.:** Химический состав и вкус картофеля. *Картофель и Овощи* 1972, 6, 15 – 16.
- [134] **Voirol F.:** Vitamin C and the common potato. *Food Trade Rev.* 1974, 44 (9), 7 – 13.
- [135] **Zachringer M.V. i in.:** Cooking quality of some Dutch potato varieties. *Europ. Potato J.* 1969, 12, 223 – 237.
- [136] **Zelenka S., Šašek A.:** Die Fraktionen des Kartoffeleiweissen. *Die Stärke* 1971, 23, 276 – 279.

5. ZASADY I TECHNIKA PRZECHOWYWANIA ZIEMNIAKÓW

W celu zapewnienia ciągłości produkcji w okresie poza sezonową podażą surowca ziemniaczanego należy zapewnić racjonalne gromadzenie i przechowywanie odpowiednich zapasów ziemniaków. Zadanie to mogą spełnić jedynie nowoczesne przechowalnie, włączone do cyklu produkcyjnego fabryki, jako jego pierwsze stadium.

5.1. Wprowadzenie (rys historyczny)

Od początku upraw ziemniaczanych aż do lat dwudziestych bieżącego stulecia ziemniaki były przechowywane powszechnie i prawie wyłącznie w kopcach. Tylko w niewielkich ilościach przechowywano ziemniaki, głównie dla bezpośrednich potrzeb konsumpcyjnych, w specjalnie budowanych piwnicach i różnych budynkach ziemnych pod dachem.

Drugi etap w udoskonaleniu metod przechowywania ziemniaków przypada na okres lat 30-tych i bezpośrednio po II wojnie światowej. W tym okresie rozpowszechnia się sposób budowania przechowalni ziemniaków oparty na wynikach badań wskazujących na racjonalne warunki niezbędne dla zapewnienia właściwej jakości bulw ziemniaczanych i uniknięcia ogromnych strat podczas ich składowania. Budowane w tym czasie przechowalnie ziemne lub częściowo zagłębione pozwalały na gromadzenie i przechowywanie dużych ilości ziemniaków w pryzmach.

Do klimatyzacji (regulacji temperatury i wilgotności) pryzm ziemniaczanych początkowo był stosowany zewnętrzny system wietrzenia pryzm, polegający na doprowadzeniu do nich powietrza z zewnątrz przez otwieranie drzwi i specjalnych otworów. Powietrze opływało pryzmy i zabierało nadmiar pary wodnej i ciepła. Przy tym systemie wietrzenia udało się przechowywać ziemniaki w pryzmach o wysokości do 1,5 m. Potem zastosowano znacznie lepszy system wietrzenia tzw. „grawitacyjny”, działający na zasadzie ciągu kominowego. System ten polega na odpowiednim rozmieszczeniu systemu kanałów doprowadzających powietrze pod pryzmy z zewnątrz i odprowadzających nadmiar ciepła i wilgoci. System klimatyzacji grawitacyjnej pozwala na składowanie ziemniaków w pryzmach do wysokości 2 m.



Gwałtowne przyspieszenie procesów industrializacji i urbanizacji po II wojnie światowej stworzyło konieczność gromadzenia dużych ilości ziemniaków na małych przestrzeniach w pobliżu dużych skupisk miejskich oraz potrzebę systematycznego korzystania z zapasów w okresie zimowym. Potrzeby te przyczyniły się do szybkiego odchodzenia od przechowywania ziemniaków w kopcach na rzecz rozbudowy klimatyzowanych przechowalni, wyposażonych już nie tylko w grawitacyjny, ale mechaniczny system aklimatyzacji.

Powojenny rozwój nauki i techniki w zakresie rolnictwa, architektury, klimatyzacji pomieszczeń, elektrotechniki i maszynoznawstwa zapewnił opracowanie technicznych danych w zakresie:

- określenia optymalnych warunków klimatycznych w okresie przechowywania optymalnych warunków klimatycznych w okresie przechowywania ziemniaków,
- ustalenia optymalnej wysokości pryzm składowanych ziemniaków z uwzględnieniem mechanizacji prac za- i rozładunkowych,
- gospodarowania powietrzem regulującym temperaturę w pryzmach oraz wilgotność względną powietrza z wykorzystaniem recyrkulacji.

Zastosowanie systemu mechanicznego wietrzenia pryzm ziemniaczanych w przechowalniach przynosi następujące korzyści:

- możliwość regulacji i utrzymywania temperatury i wilgotności na odpowiednim poziomie,
- ograniczenie strat bulw do możliwego minimum limitowanego utajonymi procesami życiowymi kłębów,
- zachowanie pełnej wartości smakowej i odżywczej ziemniaków,
- umożliwienie składowania w pryzmach dużych do wysokości 4 m.

Względy i uwarunkowania gospodarki rolnej, zaopatrzenie ludności w ziemniaki do bezpośredniego spożycia, a przede wszystkim szybki rozwój przetwórstwa spożywczego ziemniaków w ostatnich latach wymagają budowy nowoczesnych przechowalni ziemniaków. O wysokiej jakości produktów spożywczych z ziemniaków decyduje jakość surowca a w tym poza uwarunkowaniami odmianowymi naczelnie miejsce zajmują warunki przechowalniczego przygotowania ziemniaków do przerobu na cele spożywcze. Tak więc obecnie prawdziwie nowoczesna wytwórnia uszlachetnionych produktów ziemniaczanych powinna posiadać własną przechowalnię zapewniającą właściwą jakość surowca w czasie co najmniej półrocznym.

5.2. Selekcja i wstępne oczyszczanie ziemniaków

Ziemniaki, jako surowiec do produkcji uszlachetnionych wyrobów spożywczych, a w tym i suszów ziemniaczanych, przed założeniem ich w przechowalni a tym bardziej przed skierowaniem do procesu technologicznego powinny być poddane selekcji i wstępnemu oczyszczeniu.

Selekcja bulw ziemniaczanych, przeznaczonych na susze spożywcze, musi być szczególnie wnikliwa, ponieważ jakość surowca jest tu czynnikiem decydującym, zarówno o jakości produktu jak i o kosztach produkcji. Do przechowywania i produkcji należy kierować jedynie najlepsze odmiany ziemniaków spożywczych, przy czym materiał musi być ściśle jednolity odmianowo. Do przetwórstwa najbardziej nadają się odmiany ziemniaków spożywczych o dużej zawartości suchej substancji i wysokiej skrobiowości, dając smaczne potrawy. Bardzo ważną cechą wymaganą od ziemniaków przeznaczonych na produkty spożywcze jest mała podatność bulw na ciemnienie enzymatyczne i nieenzymatyczne. Szczególnie ważną cechą bulw przeznaczonych na susze spożywcze jest ich kształt i inne cechy morfologiczne. Dlatego jest pożądane aby bulwy miały, w ramach jednej odmiany, jednolite wymiary i regularne, owalne kształty, z małą liczbą płytko osadzonych oczek. Cechy te mają duży wpływ na wydajność produkcji i ekonomikę procesu technologicznego oraz na jakość produktu.

Jednolite wymiary bulw ważne są ze względu na istnienie zależności między wielkością bulw a ich skrobiowością w ramach określonej odmiany. Jednakowa skrobiowość zaś warunkuje prawidłowy przebieg procesów technologicznych przy z góry ustalonych warunkach.

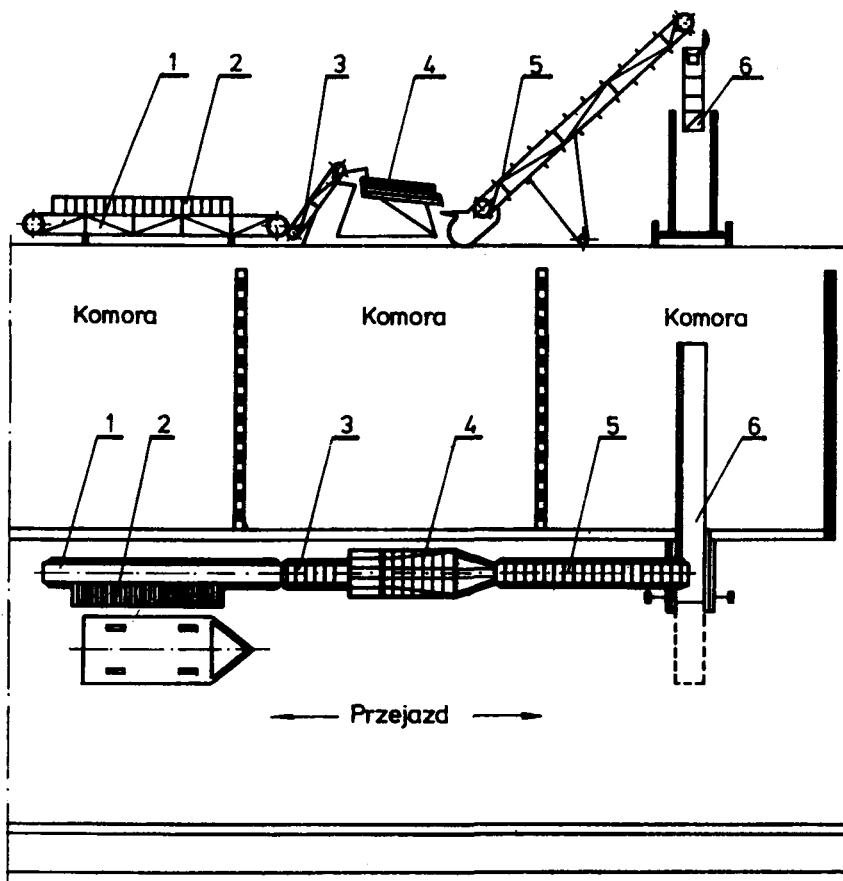
Regularne kształty bulw i mała liczba płytkich oczek są to cechy, które pozwalają zmniejszyć masę odpadów podczas obierania i poprawić jakość produktu.

Poza wymienionymi już cechami surowca ziemniaczanego i wymaganiami mu stawianymi ważną cechą, nie zawsze dającą się związać z wybranymi odmianami gdyż zależy również od warunków ekologicznych, agrotechnicznych i klimatycznych, jest odpowiednia struktura miąższu bulw. Wymagana jest mianowicie zwarta i jędrna struktura tkanki bulw o komórkach charakteryzujących się dużą odpornością ścian na działanie termiczne i mechaniczne, a jednocześnie pozwalająca na utrzymanie jak najmniejszych odkształceń w wyniku odparowania nadmiaru wody.

Selekcja (sortowanie) bulw ziemniaczanych oraz ich wstępne oczyszczanie odbywa się w przechowalni podczas rozładowania środkami transportu i przenoszenia ziemniaków do komór przechowalni. Wyposażenie przechowalni stanowi określony zespół przenośników umożliwiający mechaniczne napełnienie komór pryzmami o wysokości 3–4 m. Transportery te są skojarzone z od-

powiednimi maszynami, które służą do oddzielania zanieczyszczeń (słoma, ziemia, kamienie) i do klasyfikacji bulw wg ich wielkości metodą przesiewania.

Pełny zestaw przenośników i urządzeń oczyszczająco-sortujących składa się z elementów przedstawionych schematycznie na rysunku 5.1.



Rys. 5.1. Układ transporterów i urządzeń oczyszczająco-sortujących przechowalni ziemniaków

1 — przenośnik poziomy, 2 — sito zsypane, 3 — przenośnik-podawacz, 4 — sortownik wstępny, 5 — przenośnik pionowy, 6 — napelniaacz komór

Przenośnik poziomy (1) jest to typowy transporter taśmowy na podwoziu własnym, służący do odbioru ziemniaków ze środków transportu za pośrednictwem pojemnika zsypanego i przenoszenia ich poziomo na terenie przechowalni. Składa się on ze stalowej ramy, w której jest wmontowane podwozie bez napędu

oraz bębny prowadzące taśmę gumowaną bez końca. Jeden z bębnow prowadzących taśmę transportera (zwykle dolny) jest napędzany silnikiem elektrycznym z regulowaną szybkością obrotów.

Pojemnik zsypany (2) jest to urządzenie umożliwiające szybkie opóźnienie środków transportowych oraz wstępne usunięcie zanieczyszczeń (głównie ziemi). Pojemnik zsypany ma kształt koryta o ukośnych ścianach bocznych o długości 2–4 m. Jedna ze ścian tego koryta (od strony pojazdu) posiada na całej swej długości rafę, wykonaną z prętów stalowych pokrytych gumą lub elastycznym tworzywem względnie rafę drewnianą.

Przeñośnik podawacz (3) służy do podnoszenia ziemniaków z nisko położonej taśmy przeñośnika poziomego na rafę sortownika wstępnego. Jest on zbudowany podobnie jak transporter taśmowy przeznaczony do transportu pionowego czyli jego taśma jest ułożona ukośnie ku górze. Jego szczególną cechą jest to, że ze względu na duży kąt podniesienia taśmy, znacznie przekraczający krytyczną wartość kąta zsypania, taśma unosząca bulwy w górę jest zaopatrzona w progi (szczelbelki) gumowe lub drewniane, rozmieszczone co 30 cm.

Sortownik wstępny (klasyfikator) (4) służy do oddzielania zanieczyszczeń od bulwy oraz klasyfikację bulw wg ich wielkości na dwie lub trzy frakcje. Sortownik jest zbudowany z ramy stalowej od góry ukośnie zamocowane sito o dużych oczkach ($\phi = 8 - 10$ cm) służące do oddzielania bulw dużych. Pod sitem znajduje się rafa z prętów rozmieszczonych co 2–4 cm. Zarówno sito jak i rafa sortownika są wprowadzane w ruch drgawkowy za pośrednictwem mimośrodowo napędzanego silnikiem elektrycznym.

Przeñośnik pionowy (5) służy do przenoszenia bulw schodzących z sortownika do urządzenia układającego pryzmy w komorach przechowalni. Jest to typowy transporter taśmowy do transportu pionowego z ukośnym (ku górze) ustawieniem taśmy wyposażonej w poprzeczne progi. Rama nadwozia transportera jest wyposażona w urządzenie umożliwiające regulację kąta przeniesienia taśmy nośnej transportera.

Ładowacz komór (6) służy do układania pryzm ziemniaczanych w komorach przechowalni. Jest to transporter taśmowy poziomy, zamocowany na podwoziu umożliwiającym regulację wysokości i położenia transportera. Transporter taśmowy ładowacza jest ustawiony prostopadle do linii urządzeń oczyszczająco-sortujących czyli wchodzi do wnętrza komór przechowalniczych.. Układ urządzeń oczyszczająco-sortujących i transporterów służących do załadunku komór może być dodatkowo wyposażony w urządzenia odprowadzające w sposób ciągły zanieczyszczenia oraz wysortowane odpady. Przy napełnianiu komór i formowaniu pryzm ziemniaczanych bardzo ważne jest przestrzeganie takich zasad, które wykluczają możliwość mechanicznego uszkodzenia bulw

przez skaleczenie, otarcie lub odbicie. Stąd wywodzi się zalecenie pokrywania wszystkich roboczych elementów aparatury gumą lub innym elastycznym tworzywem. Niezależnie od takich zabezpieczeń we wszystkich okolicznościach pracy z ziemniakami poddawanych długotrwałemu przechowywaniu obowiązuje zasada, że bulwy przerzucane nie mogą spadać (np. z ładowacza na pryzmę) z wysokości większej jak 0,6–0,7 m.

5.3. Warunki i zasady przechowywania ziemniaków

5.3.1. Optymalne warunki przechowywania

Czas długotrwałego przechowywania ziemniaków dzieli się na cztery okresy:

1) 14 dniowy po zbiorze, w którym ziemniaki, niezależnie od przeznaczenia, wymagają podwyższonej temperatury, niezbyt wysokiej wilgotności względnej powietrza, zachodzą wówczas procesy pełnego dojrzewania bulw oraz gojenie ran i urazów mechanicznych;

2) 10–14 dniowy, w którym ziemniaki należy ochłodzić do poziomu temperatury optymalnej dla długotrwałego przechowywania;

3) to okres długotrwałego przechowywania, który oznacza się tym, że optymalna temperatura układu się na poziomie niskim, nieco zróżnicowanym, zależnie od przeznaczenia ziemniaków oraz ich cech odmianowych; do celów przetwórstwa spożywczego jest przeważnie stosowana temperatura 5–7°C i wilgotność względna powietrza 80–90%;

4) okres 5–10 dni, w którym ziemniaki muszą być poddane rekondycjonowaniu i wymagają podwyższonej temperatury do 15° dla pobudzenia procesów życiowych prowadzących do zmniejszenia nadmiaru nagromadzonych cukrów prostych i innych metabolitów do poziomu odpowiedniego dla przerobu (np. poziom cukrów prostych powinien być zmniejszany w bulwach z kilku procent do wartości optymalnej dla poszczególnych wyrobów i wahać się w granicach 1–0,25%).

W nowoczesnej przechowalni ziemniaków z automatycznie regulowaną klimatyzacją mechaniczną poza zapewnieniem wysokiej jakości surowca ziemniaczanego do przerobu, straty masy bulw powodowane przez parowanie, procesami życiowymi oraz ewentualnym gniciem w czasie 7 miesięcznego przechowywania kształtują się następująco:

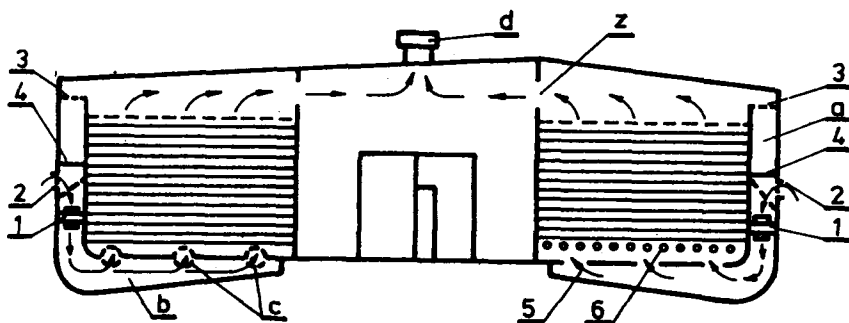
- 4% początkowej masy kłębów ziemniaczanych dobrej jakości (mało uszkodzeń i porażen chorobami),
- 8% początkowej masy kłębów ziemniaczanych gorszej jakości.



Natomiast straty spowodowane przechowywaniem ziemniaków w kopcach, przy szczęśliwym zbiegu okoliczności są nie mniejsze niż około 15% masy ziemniaków dobrej jakości i ponad 30% masy ziemniaków gorszej jakości. Są to oczywiście straty ilościowe. Trzeba się liczyć również ze stratami jakościowymi ziemniaków, które są także wzmożone przy nieracjonalnym przechowywaniu w kopcach. Do strat jakościowych w kłębach ziemniaczanych należą: ubytki substancji odżywczych np. witamin, pogorszenie smaku, różnorodne przebarwienia, wywołane zmianami biochemicznymi i psuciem gnilnym. Wszystko to powoduje bardzo znaczne zmniejszenie przydatności produkcyjnej ziemniaków aż do ich dyskwalifikacji włącznie.

5.3.2. Zasada działania systemu mechanicznego wietrzenia ziemniaków w przechowalni

W skład instalacji klimatyzacji przechowalni, przedstawionej na rysunku 5.2, wchodzi: wentylatory, zespół kanałów, urządzenia do automatycznej regulacji temperatury i wilgotności.



Rys. 5.2. Schemat instalacji do mechanicznego wietrzenia przyzr ziemniaczanych w przechowalni: a — kanał czerpalny, b — poziomy kanał rozprowadzający, c — kanały rozprowadzające podpryzmowe, d — kanał wyciągowy (wywiewnik);

1 — wentylatory, 2 — zewnętrzne przewody czerpalne z samoczynną żaluzją, 3 — wewnętrzne przewody czerpalne, 4 — przewody recyrkulacyjne, 5 — otwory wylotowe z kanału poziomego, 6 — podłoga ażurowa (zamiast kanałów rozprowadzających (c)), 7 — otwory wylotowe z komór

System mechanicznego wietrzenia przyzr za pomocą opisanej instalacji (rys. 5.2) polega na pobieraniu przez wentylatory powietrza zewnętrznego mieszanego z wewnętrznym (recyrkulacja) lub wyłącznie wewnętrznego z przechowalni i wtłaczaniu go do sieci kanałów rozmieszczonych w odpowiedni sposób pod

pryzmami ziemniaków lub pod ażurową podłogą z rusztu. Tłoczone powietrze przenika przez pryzmy ochładzając je i zbierając nadmiar wilgoci. Następnie jest odprowadzane na zewnątrz przez otwory kominowe w suficie budynku przechowalni. Instalacja mechanicznego wietrzenia zapewnia możliwość trojakiego sposobu wietrzenia pryzm:

1) w okresach, gdy temperatura powietrza zewnętrznego jest wyższa od 0°C , korzysta się przy wietrzeniu pryzm z powietrza zewnętrznego; w tym przypadku otwór recyrkulacyjny powietrza wewnętrznego jest zamknięty,

2) w okresach, gdy temperatura powietrza zewnętrznego jest niższa od 0°C , stosuje się wietrzenie pryzm powietrzem mieszanym, tzn. czerpanym równocześnie z zewnątrz i z wewnątrz przechowalni, stosunek ilości obu tych rodzajów powietrza jest regulowany zasuwami regulacyjnymi na wlocie do kanału czerpального,

3) w celu wyrównania temperatury i wilgotności powietrza w poziomie i nad pryzmą stosuje się wietrzenie ziemniaków wyłącznie powietrzem wewnętrznym przy zamkniętych zaworach na otworach czerpalnych z zewnątrz i wylotowych.

Ilość i szybkość przepływu powietrza stanowią podstawę prawidłowego projektowania i konstruowania instalacji mechanicznego wietrzenia ziemniaków. Zależnie od warunków klimatycznych przyjmuje się, że:

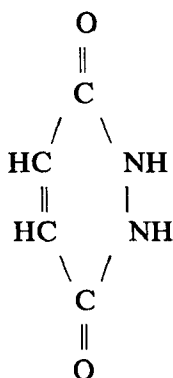
- w rejonach wschodnich, północno-wschodnich i podgórskich ilość powietrza przepływającego przez pryzmę powinna wynosić 75 m^3 na 1 m^3 pryzmy w czasie jednej godziny,
 - w pozostałych, a więc centralnych i zachodnich rejonach kraju powinno się stosować – 90 m^3 powietrza na 1 m^3 pryzmy w czasie jednej godziny.
- Ciśnienie i szybkość strumienia powietrza tłoczonego pod pryzmy:
- przy pryzmie o wysokości 3 m powinno wynosić 150 Pa, przy pryzmie 4,5 m powinno wynosić – 200 Pa, przy czym na pokonanie oporów w samej pryzmie wystarcza 1/3 podawanego nadciśnienia a pozostałe zużywa się na pokonanie oporów przepływu w kanałach i w budynku.

5.4. Chemiczne i radiacyjne sposoby zmniejszania strat przechowalniczych

Obok najważniejszego; tj. klimatyzacyjnego zabezpieczenia ziemniaków podczas długotrwałego przechowywania dobrze jest zastosować niektóre chemiczne bądź też radiacyjne środki zmniejszające straty ziemniaków. Jest to szczególnie wskazane w specjalnie niekorzystnych warunkach przechowalniczych.

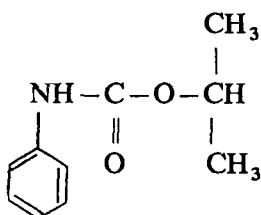


Znane powszechnie chemiczne środki zabezpieczające ziemniaki przed stratami przechowalniczymi powodują w większości nie tylko zahamowanie procesów wzrostowych bulw (kiełkowanie), ale również wpływają hamująco na procesy oddychania i gnicia, które decydują o wielkości strat masy bulw. Spośród tak działających środków chemicznych na szczególne polecenie zasługują zwłaszcza te, które stosuje się jeszcze na plantacji a więc przed zbiorem. Przykładem takiego środka jest: hydrazyd kwasu maleinowego

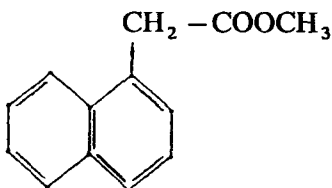


oraz takie środki, które stosuje się natryskowo na bulwy przeznaczone do przechowywania bądź też podczas składowania np. w okresie wiosennym; przykładami takich środków są:

– ester izopropylowy kwasu fenylkarbamidowego (Tixit)



– ester metylowy kwasu α -naftylooctowego (Hormonit)



Szczególnie skuteczne okazało się stosowanie oprysku bulw przechowywanych z mieszanek środków chemicznych zawierających środki zabezpieczające przeciw gniciu oraz środki hamujące kiełkowanie np. szczególnie skuteczna mieszanina to: Tixit i Hormonit z przeciwnilnym Phygonem, czyli dwuchloronaftochinonem.

Chemiczne zabezpieczenie ziemniaków podczas ich długotrwałego przechowywania nabiera ostatnio popularności i znaczenia w związku z bardzo trudnym pozbywaniem się nadmiaru nagromadzonych cukrów redukujących w bulwach przechowywanych w niskich temperaturach. Ogromnie ważne jest tu zachowanie umiaru i dużej ostrożności. pamiętając, że dodaje się chemikalia do środków żywności. Cukry redukujące w sposób istotny pogarszają jakość większości suszów spożywczych i nie łatwo jest pozbyć się ich podczas tzw. rekondycjonowania bulw po długotrwałym przechowywaniu w niskiej temperaturze. Rodzi się zatem koncepcja, aby ziemniaki przechowywać w klimatyzowanej przechowalni ale przy wyższym poziomie temperatury np. 10–15°C. Warunki takie nie wywołują nadmiernego wytwarzania cukrów redukujących w bulwach a wzmożone podwyższoną temperaturą procesy życiowe bulw (oddychanie, kiełkowanie) oraz niepożądane procesy biochemiczne powodujące straty proponuje się ograniczać właśnie środkami chemicznymi. Przy właściwym zabezpieczeniu parametrów i warunków takiego przechowywania można oczekiwać mniejszych strat oraz znacznych korzyści technologicznych w procesie otrzymywania uszlachetnionych produktów ziemniaczanych.

Wyjątkowo skutecznym środkiem hamującym oddychanie i kiełkowanie bulw jest napromieniowanie ich podczas składowania promieniami γ np. ze źródła kobaltowego. Metoda ta jednak nie przyjęła się w praktyce ponieważ wywołuje niekorzystne skutki uboczne w postaci gromadzenia w bulwach nadmiernych ilości cukrów redukujących i niezależnie od tego może przyspieszyć procesy gnilne bulw.



6. ZASADNICZE OPERACJE W PROCESIE PRODUKCJI SPOŻYWCZYCH SUSZÓW ZIEMNIACZANYCH

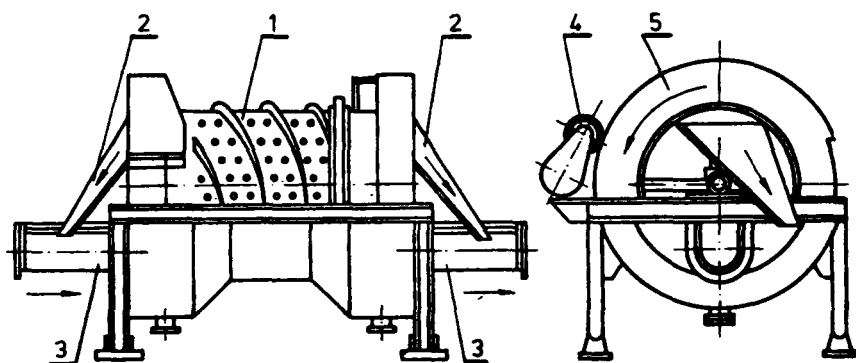
6.1. Oczyszczanie ziemniaków

Pierwszą operacją technologiczną przygotowującą ziemniaki do przetworzenia ich na różnego rodzaju produkty spożywcze jest ich oczyszczenie. Zakres oraz intensywność tego procesu zależy od tego, czy mamy do czynienia z surowcem już częściowo oczyszczonym, skierowanym do przerobu po selekcji z przechowalni, czy też przerabiamy ziemniaki skierowane bezpośrednio po zbiorach, względnie ze składowania bez jakichkolwiek operacji oczyszczających. Ziemniaki wstępnie oczyszczone z przechowalni są bezpośrednio skierowane do płuczki, podczas gdy zupełnie nie selekcionowany surowiec powinien podlegać bardziej złożonym procesom oczyszczania głównie na wstępnym oddzieleniu towarzyszącej bulwom ziemi, słomy i innych, pływających na powierzchni wody zanieczyszczeń oraz kamieni, węgla itp. Pewną część tych zanieczyszczeń, zwłaszcza luźnej ziemi pozbywamy się przy okazji wykonywania czynności transportowych. Tak więc wstępne oczyszczenie dokonuje się podczas rozładunku ziemniaków z różnorodnych środków transportu, zwłaszcza przy rozładunku wodnym. Następna okazja do oczyszczania bulw ziemniaczanych występuje w spławiakach oraz podczas transportu hydraulicznego za pomocą pomp wirowych i koryt spławnych, gdzie bulwy ocierają się intensywnie nawzajem w strumieniu wodnym. Natomiast oddzielanie zanieczyszczeń w postaci słomy i kamieni odbywa się przy użyciu specjalnych urządzeń.

6.1.1. Usuwanie kamieni i słomy

Wśród dawniejszych i obecnie już stosowanych urządzeń oczyszczających stosowano bardzo prosty konstrukcyjnie łapacz kamieni tzw. system bierny. Zasada działania tego systemu polegała na tym, że koryto lub rura przeznaczone do transportu poziomego ziemniaków w strumieniu wodnym zaopatrzone były w specjalne wpusty względnie kieszenie usytuowane w dnie koryta. Do tych właśnie kieszeni wpadały kamienie, które w strumieniu wodnym zawiesiły bulw

i kamieni płyną, z powodu znacznie większej gęstości, przy dnie koryta. Okresowo opróżniano kieszenie z nagromadzonych tam kamieni. Obecnie stosuje się bardziej sprawne czynne systemy łapaczy kamieni. Przykładem takiego systemu może być przedstawiony na rysunku 6.1 łapacz kamieni typ ZBE. Głównymi elementami łapacza kamieni są: króćce (3) do włączenia łapacza w koryto prowadzące strumień wodny zanieczyszczonych ziemniaków, bęben łapacza (1), koryto środkowe, rynny zsypanie kamieni (2) oraz napęd bębna (4).



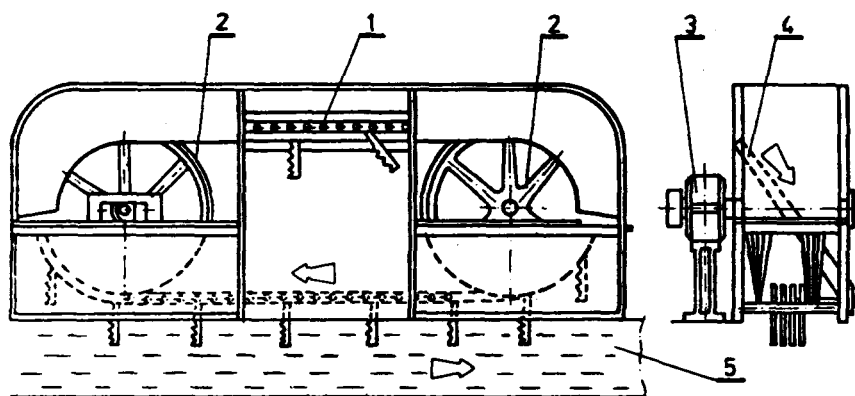
Rys. 6.1. Bębnowy łapacz kamieni

1 — bęben z uzwojeniem ślimakowym, 2 — rynny zsypanie kamieni, 3 — rynna z uwidocznionym kierunkiem przepływającej zawiesiny ziemniaków, 4 — rolkowy napęd bębna, 5 — wyrzutowa strefa bębna z wewnętrznymi prowadnicami śrubowymi

Działanie łapacza bębnowego polega na tym, że strumień wodnej zawiesiny ziemniaków wraz z kamieniami płynący korytem przepływa przez obracający się bęben z obwodem sitowym wyposażonym dodatkowo wewnątrz w uzwojenie ślimakowe, które przesuwają osadzające się na dnie obracającego się bębna kamienie w kierunku przeciwnym do przepływającego strumienia wodnego z ziemniakami. Kamienie w ten sposób dostają się do jednego z koszy w postaci specjalnych rozszerzeń koryta środkowego (na obu jego końcach) z których są wybierane przez specjalne chwytaki (czepaki) i wyrzucane dzięki ukośnym dnom chwytaków do rynien zsypanie, a z nich do zasobników kamieni. Bębnowy łapacz kamieni spełnia również rolę łapacza żwiru i gruboziarnistego piasku. Warunkiem dobrej pracy łapacza kamieni jest także dobieranie strumienia przepływającej zawiesiny wodnej, aby szybkość liniowa jego przepływu w korycie środkowym nie była większa niż 0,2 m/s. Łapacz kamieni pozwala na usunięcie zanieczyszczeń o gęstości większej niż gęstość bulw ziemniaczanych.

Podczas gdy usuwanie zanieczyszczeń lekkich; pływających na powierzchni wody odbywa się za pomocą łapaczy słomy.

Rozwój tej grupy aparatów doprowadził do ukształtowania się systemu urządzeń, których najsprawniejszym przedstawicielem jest łapacz słomy typu XL 1E przedstawiony na rysunku 6.2.



Rys. 6.2. Łapacz słomy

1 – podwójny obwód łańcuchowy (Galla) niosący grabki parami (zgarniacze), 2 – zestaw kół prowadzących łańcuchy, 3 – napęd kół, 4 – pochylnia zsykowa odprowadzająca zanieczyszczenia, 5 – rynna z przepływającą zawieszoną ziemiaków

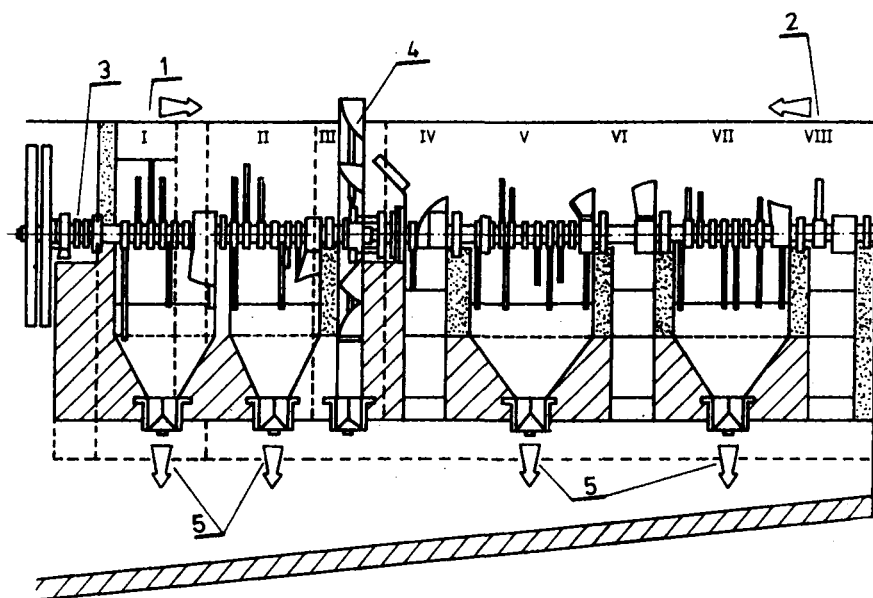
Zasadniczymi elementami łapacza słomy są: rama konstrukcyjna, zestaw kołowy (2), zespół grabiacy (1), zespół napędowy (3) i rynna spadowa (4). Oddzielenie słomy, łęcin, liści itp. lekkich zanieczyszczeń odbywa się za pomocą zawieszonych przegubowo grabi przesuwających się w wierzchniej warstwie wodnego strumienia zawiesiny w przeciwnym kierunku do tego strumienia. Grabie zanurzają się cyklicznie w górnej warstwie strumienia zawiesiny płynącej w korycie i zbierają pływające na powierzchni zanieczyszczenia. Zebrane grabkami zanieczyszczenia zostają przeniesione do górnej części łapacza nad ukośnie ustawioną rynną spadową i usunięte z grabi ruchem wahadłowo-wstrząsowym. Opadające zanieczyszczenia rynną spadową są odprowadzane na zewnątrz łapacza.

6.1.2. Mycie ziemniaków

Bulwy ziemniaczane przeznaczone do dalszego przetwórstwa na produkty spożywcze muszą być pozbawione wszelkich zanieczyszczeń zewnętrznych

a w szczególności pozostałej przyklejonej ziemi zwłaszcza w oczkach i innych zagłębieniach powierzchni bulw. Zależnie od stopnia zanieczyszczenia przetwarzanych ziemniaków oraz od sposobu wstępnego ich oczyszczania stosuje się do ostatecznego ich mycia różne urządzenia płuczkowe oraz zróżnicowaną intensywność przebiegu procesu płukania.

Dla zrealizowania tych zadań stosuje się różnorodne płuczki koryto-wo-łapowe oraz bębnowe z których najsprawniejszym przedstawicielem jest przeciwpłuczkowa płuczka komorowo-łapowa przedstawiona na rysunku 6.3. Zasadniczymi elementami płuczki przeciwpłuczkowej są: koryto podzielone na trzy do ośmiu komór, usytuowane w niewielkiej pochyłości w stosunku do poziomu, mieszadło w postaci wzdłużnej osi z łopami usytuowanymi spiralnie wewnątrz komór, perforowane dno komór zamknięte stożkowymi zasobnikami, napęd osi mieszadła, ślimakowy transporter odbierający.

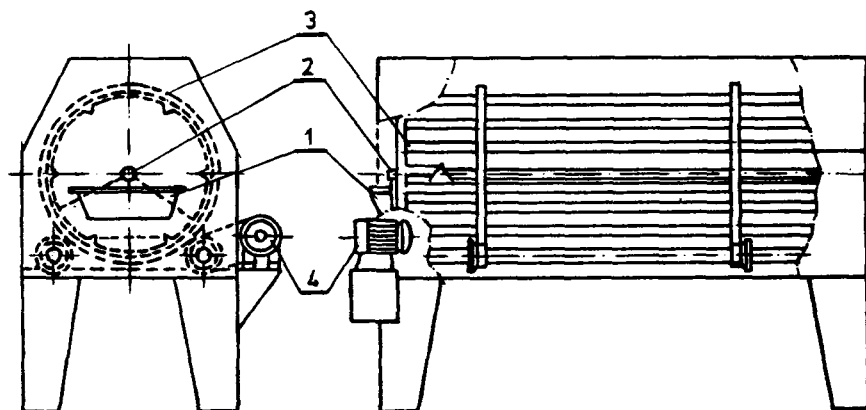


Rys. 6.3. Przeciwpłuczkowa płuczka komorowo-łapowa

1 — kierunek i miejsce wprowadzenia czystej wody, 2 — miejsce wprowadzenia i kierunek przenoszenia ziemniaków oczyszczonych, 3 — oś mieszadła z łopatkami zamocowanymi w linii śrubowej, 4 — koło przerzutowe z czerpakami, 5 — odprowadzenie zanieczyszczeń, I–VII — komory płuczki z dnem sitowym

Działanie płuczki polega na tym, że brudne bulwy są wprowadzane w sposób ciągły do ósmej dolnej komory i są poddawane mieszaniu śrubowo usytuowanymi łapami mieszadła z jednoczesnym ich przesuwaniem i przerzucaniem przez przegrodę do następnej komory. W kolejnych komorach ziemniaki kontaktują się z wodą płuczącą, płynącą przez przelewanie się z komory do komory dzięki pochyłości w przeciwnym kierunku przerzuconych mieszadłem bulw. Dzięki przeciwprądowi materiałowi bulwy w miarę ich oczyszczania kontaktują się w kolejnych komorach z coraz czystsza wodą aż wreszcie w pierwszej komorze kontaktują się z czystą, świeżo wprowadzoną wodą i stąd są odbierane przez ślimakowy transporter, który odsacza wodę i odprowadza umyte bulwy. Zebrana pod perforowanym dnem płuczki ziemię usuwa się okresowo z zasobników. Stosowane w praktyce zakładów przemysłowych płuczki komorowo-łapowe w mniejszym stopniu spełniają wyżej wymienione zadania i zasady dobrej płuczki.

Innym sposobem mycia ziemniaków zwykle już wcześniej wstępnie oczyszczonych i selekcionowanych np. w przechowalni jest zastosowanie płuczki bębnowej, której schemat przedstawia rysunek 6.4. Głównymi elementami płuczki bębnowej są: pochyły bęben z otwartymi końcami, zaopatrzonymi w krawędzie spiętrzające, podstawa konstrukcji wraz z napędem i rolkami obracającymi bęben, rura z dyszami rozpraszającymi natryskowo wodę wewnątrz bębna, rynna wysypowa, odbierająca ziemniaki oraz wodę zanieczyszczoną.



Rys. 6.4. Płuczka bębnowo-prętowa

1 — lej zasypowy, 2 — natryśnica osiowa, 3 — bęben prętowy płuczki, 4 — napęd rolkowy bębna

Płuczki tego typu mogą być wyposażone we własny oddzielnik kamieni usytuowany na zakończeniu bębna płuczki. Działanie tego urządzenia polega

na mieszaniu wprowadzanych przez górny koniec bębna ziemniaków z wodą wprowadzoną natryskiem z dysz na całą długość bębna. Bulwy ocierając się o siebie i ściany obracającego się przez toczenie na rolkach bębna, przy jednoczesnym natrysku wodą są pozbawione zanieczyszczeń ziemnych. W przypadku wyposażenia płuczki bębnowej w specjalny oddzielacz kamieni może on spełnić praktycznie niemal wszystkie funkcje oczyszczające przypisywane dobrem płuczkom komorowo-łapowym. Podczas gdy przy braku łapacza kamieni płuczka bębnowa może mieć zastosowanie jedynie do mycia ziemniaków selekcionowanych i pozbawionych kamieni oraz zanieczyszczeń lekkich.

6.2. Obieranie ziemniaków

Ziemniaki kierowane do przerobu na uszlachetnione produkty spożywcze w większości przypadków muszą być obrane oraz pozbawione miejsc chorych i uszkodzonych. Jedynym przypadkiem, w którym obieranie ziemniaków nie jest dokonywane jest proces technologiczny otrzymywania specjalnych ziemniaków jadalnych przygotowywanych jako potrawa do spożycia w łupinie. Podczas otrzymywania spożywczych suszów ziemniaczanych wybór odpowiedniej metody obierania ma zatem bardzo istotne znaczenie zarówno ze względu na jakość produktu jak również wydajność produkcji.

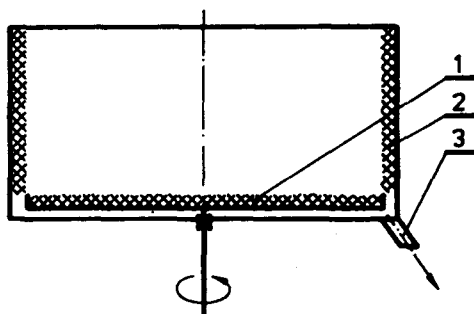
6.2.1. Obieranie mechaniczne

Obieranie mechaniczne jest historycznie najstarszym sposobem obierania ziemniaków. Obecnie stosuje się tę metodę jedynie w małej skali, nieprzemysłowej (w gastronomii). Mechaniczne obieranie polega na ścieraniu naskórka bulwy podczas zetknięcia się jej z powierzchnią cierną. Właściwą niwelację naskórka bulw sposobem mechanicznym osiąga się w wyniku wprowadzenia ich w ruch wirowy w naczyniu o ścianach wyłożonych materiałem ściernym. W procesie periodycznym dokonuje się tej operacji przez wprowadzenie w ruch wirowy bulw ziemniaczanych.

Obieraczka mechaniczna zbudowana jest w postaci cylindrycznego zbiornika, którego wewnętrzna powierzchnia wraz z wirującym dnem jest pokryta warstwą cierną np. karborundową. Przykład takiego urządzenia pokazuje schemat na rysunku 6.5. Oprócz obieraczek do pracy periodycznej, zastosowanie znajdują różne typy obieraczek do pracy ciągłej o kształtach cylindrycznych, stożkowych i innych.



Skuteczność pracy obieraczki mechanicznej w każdym przypadku zależy od właściwości ściernych powierzchni roboczej, od jej wymiarów, od intensywności ruchu względnego powierzchni trących, ale przede wszystkim efekt pracy zależy od stopnia wypełnienia wnętrza obieraczki bulwami. Ten ostatni warunek dlatego jest czynnikiem decydującym, ponieważ od stopnia wypełnienia zależy zarówno dostęp bulw do powierzchni trącej, jak również intensywność ruchu i swoboda toczenia się bulw w obieraczce. Przyjmuje się, że dla właściwej pracy obieraczki stopień jej wypełnienia powinien być niewielki i nie powinien przekraczać $1/4$ objętości zbiornika. Pracę obieraczki mechanicznej można w znacznym stopniu usprawnić przez wprowadzenie do jej wnętrza podczas obierania, niewielkiego strumienia wody. Pozwala to na łatwiejsze oddzielanie ściernego naskórka jak również skutecznie zabezpiecza bulwy przed brązowieniem.



Rys. 6.5. Obieraczka mechaniczna o działaniu okresowym

1 — wirująca tarcza ścierna, 2 — obwodowa warstwa ścierna, 3 — odprowadzenie wodnej zawiesiny (obierzyn)

Jak łatwo sobie wyobrazić skuteczność dokładnego zdjęcia cienkiej warstwy naskórka, przy małych stratach bulw, przez toczne ścieranie w obieraczce mechanicznej, zależy w bardzo wielkim stopniu od fizycznych właściwości bulw. Decydującą rolę odgrywa tu kształt bulw, jak również regularność powierzchni i zwartość oraz sprężystość miąższu bulw. Szczególnie pożądane są tu bulwy o kształtach regularnych zbliżonych do kuli o powierzchni wyrównanej z małą liczbą płytkich oczek. Poza tym bulwy powinny być świeże, twarde o miąższu jędrnym. Każde odstępstwo od takich idealnych warunków powoduje wyraźne zmniejszenie wydajności produkcji i powiększa straty w postaci dużej masy odpadów.

6.2.2. Obieranie chemiczne

Wśród chemicznych sposobów obierania warzyw zdecydowaną wyłączność zdobyła metoda ługowa polegająca na rozluźnieniu i rozmiękczeniu zewnętrznej warstwy bulw a w tym i naskórka gorącym roztworem wodorotlenku sodowego. Zmięszony ługiem naskórek, w drugim etapie obierania, łatwo ulega starciu podczas łagodnej obróbki mechanicznej i jest usuwany przez spłukiwanie wodą.

W praktyce przemysłowej stosuje się technikę okresowego zanurzania bulw ziemniaczanych w wodnym roztworze wodorotlenku sodowego o stężeniu 15–25%. Czas trwania kontaktu bulw z roztworem ługu oraz temperatura roztworu bywają zmienne i wzajemnie uwarunkowane. Wybór parametrów pracy obieraczki zależy od przyjętej koncepcji oraz od jakości surowca i przeznaczenia obieranych ziemniaków. W różnych przedsiębiorstwach rywalizują ze sobą dwie odmiany metody ługowego obierania ziemniaków:

1) opiera się ona na traktowaniu bulw roztworem wodorotlenku o temperaturze niskiej tzn. nie przekraczającej 60°C w czasie 15–20 min.

2) preferuje bardziej drastyczne działanie, a mianowicie temperaturę roztworu wodorotlenku 90–110°C w krótkim czasie oddziaływania, 2–5 min. przy zachowaniu tego samego stężenia roztworu 15–25%. Oczywiście obieranie w wyższych temperaturach jest bardziej efektywne lecz istnieje tu niebezpieczeństwo powstawania zbyt grubej warstwy ugotowanego ziemniaka i nasyconej ługiem. Niezależnie od tego pociąga to za sobą znacznie większe zużycie energii i wodorotlenku. Przy wyborze metody postępowania wydaje się najbardziej odpowiednie postępowanie elastyczne tzn. dostosowywanie warunków obróbki chemicznej do jakości surowca oraz przeznaczenia obieranych ziemniaków. Na przykład ziemniaki świeże oraz szczególnie przydatne odmianowo mogą być obierane ługowo w warunkach znacznie łagodniejszych niż ziemniaki długo przechowywane i niezbyt dobrze wyselekcjonowane. W każdym razie obieranie ługowe tym góruje nad mechanicznym, że przy użyciu wodorotlenku sodowego w postaci gorącego roztworu powoduje się równomierne rozmiękczenie całej powierzchni bulw niezależnie od kształtu i ułożenia oczek czy innych zagłębień. Dla równomierności rozmiękczenia naskórka bulw przy użyciu ługu ważną rolę odgrywa wstępne zwilżenie i podgrzanie bulw jak również cyrkulacja roztworu podczas jego kontaktowania się z bulwami.

Zestawy aparatury dla prawidłowego przebiegu procesu obierania ługowego powinny zapewnić:

a) sprawne i regulowane kontaktowanie bulw z roztworem ługu o sterowanych parametrach (temperatura, stężenie i czas),

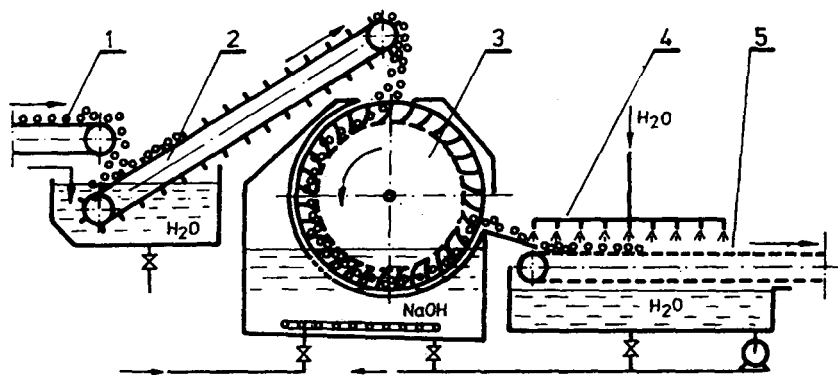


b) natychmiastowe usunięcie nadmiaru ługu z powierzchni oraz szybkie i sprawne zdjęcie rozmiękczonej ługiem warstwy, ponieważ ona szybko twardnieje i nie daje się po pewnym czasie łatwo usunąć,

c) często dla zagwarantowania całkowitego usunięcia ługu z powierzchni obranych bulw, zwłaszcza przy ługowaniu w roztworze o wysokiej temperaturze, obrane bulwy spryskuje się roztworem kwasu solnego, cytrynowego lub fosforowego.

Przy chemicznym obieraniu warzyw są stosowane różnego typu zestawy obieraczkowe; przeważają jednak systemy o pracy ciągłej złożone z dwóch układów aparaturowych:

a) układ złożony z wolnoobrotowego kołowego transportera pozwalającego na sterowanie kontaktowe bulw z roztworem gorącym ługu przez zanurzenie części obwodu koła z zasobnikami niosącymi bulwy w zbiorniku wypełnionym roztworem, aparat ten powinien być poprzedzony przez gorącą płuczkę wodną dla chwilowego zwilżenia bulw i podgrzania ich do temperatury bliskiej wartości jaką ma roztwór ługu, bulwy opuszczające aparat ługujący powinny być wstępnie opłukane, natryskiem gorącej wody, przy czym powstający w ten sposób rozcieńczony roztwór ługu zawraca się do wstępnej płuczki podgrzewającej i zwilżającej bulwy; schemat pracy układu ługującego przedstawia rysunek 6.6,

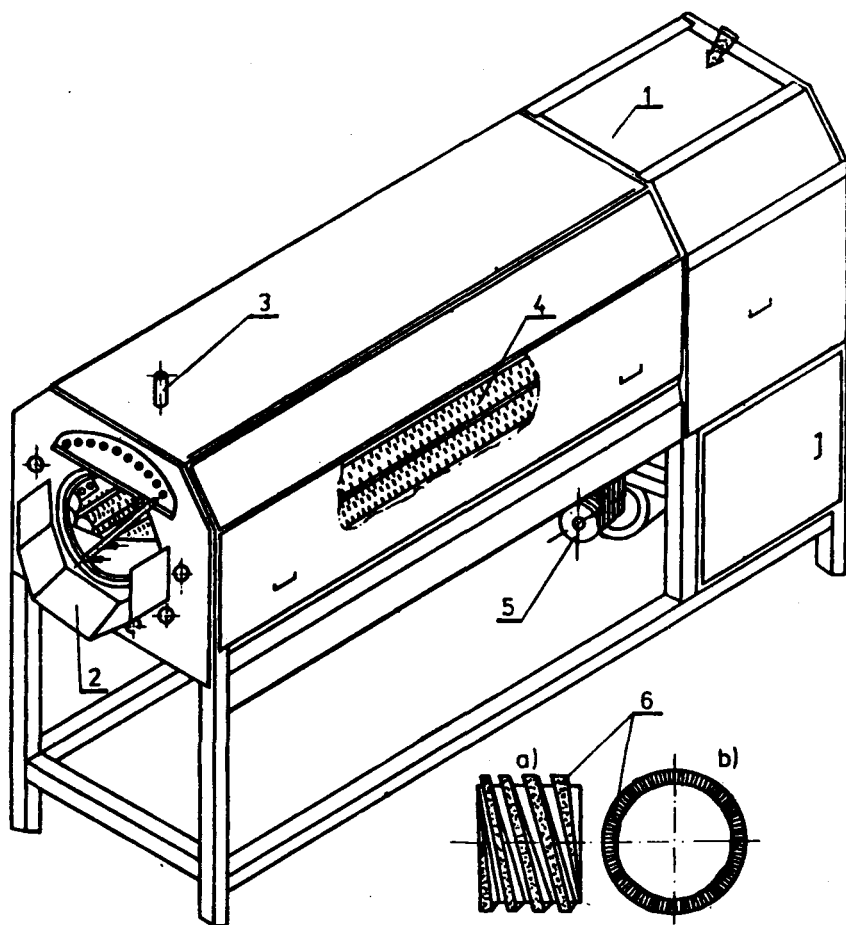


Rys. 6.6. Schemat ługowego zmiękczenia naskórka ziemniaków

1 – transporter doprowadzający, 2 – dozownik wstępnie podgrzewanych bulw, 3 – bębnowy alkalizator, 4 – natryśnica wodna, 5 – transporter odprowadzający

b) układ obierający złożony z obłupiarek bębnowo-szczotkowych pracujących przeważnie w zestawach po dwa szeregowo ustawione aparaty, w układzie tym następuje usunięcie rozmiękczonej ługiem wierzchniej warstewki bulw za pomocą szybko wirujących i przeciwbieżnych walców szczotkowych (6-8 szczotek) stanowiących dolną część 3/4 obwodu bębna; wzdłuż górnej krawędzi

bębna znajduje się rura doprowadzająca za pośrednictwem dysz pod ciśnieniem około 0,6 MPa, wodę obficie zraszającą ocierane szczotkami bulwy; usuwane odpady w postaci alkaicznych fragmentów łupin spadają do pochylej rynny usytuowanej pod bębnem szczotkowym, skąd są kierowane spadem lub ślimakiem do zobojętniania i przerobu na susze paszowe; schemat obłuparki szczotkowej przedstawia rysunek 6.7;



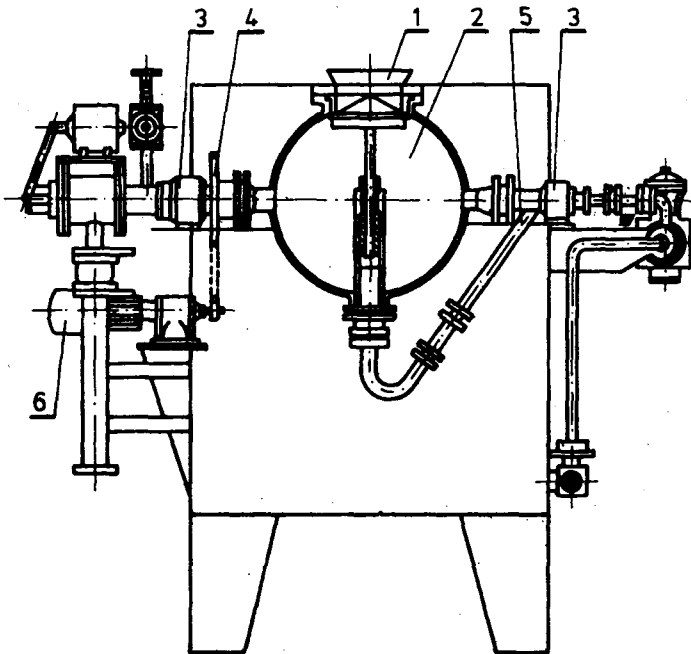
Rys. 6.7. Obłuparka szczotkowa do ziemniaków

1 – miejsce wprowadzenia bulw obieranych, 2 – wyprowadzenie obranych bulw, 3 – króciec doprowadzenia wody do natryśnicy, 4 – sześć do ośmiu wirujących szczotek walcowych, tworzących dolną część obwodu bębna, 5 – napęd wirujących szczotek, 6 – fragmenty szczotki (a – widok z boku, b – przekrój poprzeczny)

6.2.3. Obieranie parowe

Ta odmiana termicznego obierania ziemniaków stała się, dzięki niewątpliwym i licznym zaletom, najbardziej popularnym sposobem obierania w skali przemysłowej.

Metoda obierania parowego polega na zastosowaniu pary wodnej o wysokiej temperaturze do krótkotrwałego a więc powierzchniowego ugotowania ziemniaków. Dzięki krótkotrwałemu oddziaływaniu gorącej pary na bulwy następuje zmiękczenie i rozluźnienie zewnętrznej warstewki tkanki bulwy. Po krótkim parowaniu bulwy z rozmiękczonego naskórkiem kieruje się na obłuparki celem mechanicznego usunięcia ugotowanej warstwy przy użyciu wody, szczotek lub innych elementów roboczych obłuparek. Urządzenia do obierania bulw ziemniaczanych za pomocą pary wodnej, a w szczególności parowniki obieraczki, mogą być przystosowane do pracy periodycznej i ciągłej. Parownik do ziemniaków o działaniu periodycznym (cyklicznym) przedstawiony jest na rysunku 6.8.



Rys. 6.8. Parownik do obierania ziemniaków o działaniu periodycznym

- 1 – lej zasypowy, 2 – komora parownika, 3 – ułożyskowanie obrotnicy parownika, 4 – przekładnia napędu obrotnicy, 5 – odprowadzenie pary, 6 – programowany napęd obrotnicy

Głównymi elementami parownika są: ramowa konstrukcja nośna, obrotowo zawieszony zasobnik ciśnieniowy, osiowe doprowadzenie pary, napęd zasobnika. Działanie parownika w układzie obieraczki parowej polega na tym, że określoną porcję ziemniaków załadunku się do zasobnika ciśnieniowego i po odpowietrzeniu wprowadza się parę do ciśnienia 0,8 a niekiedy nawet do 1 MPa. W międzyczasie włącza się napęd powodujący powolne obroty zasobnika ułatwiającego dostęp pary do mieszanych w ten sposób ziemniaków. Krótkotrwałe ogrzewanie bulw parą do temperatury 160–180°C na ich powierzchni trwa 50 do 120 sekund po czym następuje automatyczne otwarcie i rozładowanie zasobnika.

Dla wyrównania potokowej pracy linii produkcyjnej w praktyce przemysłowej przy zastosowaniu parownika periodycznego w układzie obieraczki parowej pracują przemiennie dwa parowniki. Przy czym pełny cykl sterowanej automatycznie pracy każdego z nich (załadunek, odpowietrzenie, naparowanie i rozładunek) trwa 3–5 min. przy pojemności roboczej zasobnika 120–150 kg. Dzięki operacji krótkotrwałego parowania następuje ugotowanie, a przez to zmiękczenie 2–3 mm warstewki zewnętrznej bulw, którą usuwa się mechanicznie, podobnie jak w obieraniu chemicznym.

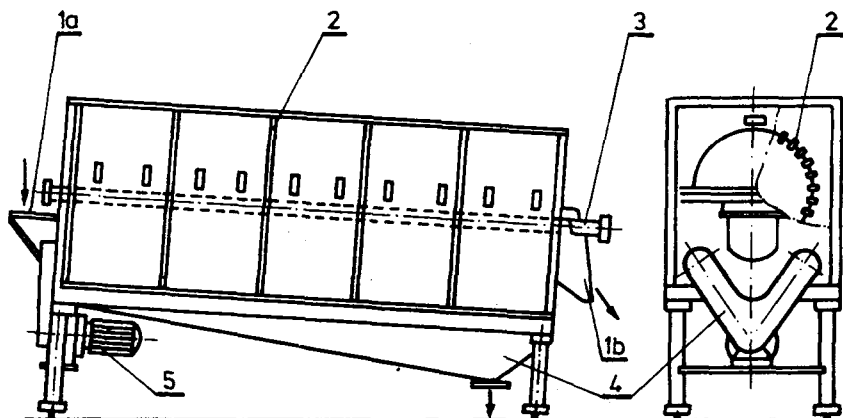
Innym bardziej nowoczesnym, ale rzadziej stosowanym, urządzeniem do krótkotrwałego parowania bulw jest parownik o działaniu ciągłym. Układ roboczy takiego parownika składa się z trzech pracujących szeregowo aparatów. Każdy z tych aparatów jest ukośnie usytuowanym cylindrem, wewnątrz którego pracuje transporter ślimakowy. Wejścia i wyjścia cylindrycznych zasobów są wyposażone w specjalne turnikietowe zamknięcia ciśnieniowe pracujące w sposób ciągły. W pierwszym aparacie następuje wstępne podgrzanie wprowadzonych bulw. W drugim następuje właściwe naparowanie przy ciśnieniu pary około 1 MPa, a w trzecim aparacie następuje rozprężenie pary i rozładunek ciągły. Obroty transporterów ślimakowych pracujących wewnątrz poszczególnych zasobników parownika ciągłego tak są dobrane, że bulwy ziemniaczane kontaktują się z parą o wysokiej temperaturze do 180°C w okresie 30–60 sekund. W drugiej fazie obierania parowego, tj. dla mechanicznego usuwania rozmiękczonego naskórka bulw, stosuje się podobną technikę jak przy obieraniu chemicznym.

Specyfiką tej fazy technologicznej jest operowanie bulwami o wysokiej temperaturze ich powierzchni. Okoliczność ta narzuca konieczność podziału czynności związanych z obłupianiem naparowanych bulw na dwie fazy.

Pierwsza faza polega na tzw. suchym obłupianiu naparowanych bulw. Do tego celu stosuje się obrotowe i lekko pochyle bębny o obwodzie ażurowym, zbudowanym z metalowych prętów, usytuowanych w odstępach 3–5 mm. Schemat takiej obłuparki przedstawia rysunek 6.9. Dodatkowym wyposaże-



niem takiej obłuparki jest osiowy napęd ażurowego bębna oraz koryto z transporterem ślimakowym, usytuowane pod bębniem dla odprowadzenia usuwanego przez starcie uparowanego naskórka. Przyjmuje się, że w czasie suchego obłupiania naparowanych bulw, przy jednorazowym przepływie przez aparat, można usunąć około 80% rozmiękczonej warstewki zewnętrznej.



Rys. 6.9. Obłuparka bębnowo-prętowa

1a — wprowadzenie bulw, 1b — wyprowadzenie bulw, 2 — ażurowy bęben prętowy, 3 — rurowa oś napędowa bębna z dyszami natryśnicy, 4 — rynna odprowadzająca zawieszoną obierzyn, 5 — napęd ślimaka odprowadzającego obierzyny

Kolejną operacją parowego obierania występującą natychmiast po suchym obłupianiu jest tzw. obłupianie mokre. W czasie tej operacji następuje mechaniczne ścieranie rozmiękczonej parą warstwy zewnętrznej bulw, podobnie jak uprzednio, ale przy udziale ciśnieniowego natrysku wodnego. Do tego celu w różnych wytwórniach przyjmuje się różne rozwiązania techniczno-aparaturowe. Najbardziej odpowiednie do tego celu są obłuparki mokre, szczotkowe, takie jak przy obieraniu chemicznym (rys. 6.7), poprzedzone obłuparkami bębnowo-prętowymi. Z dobrym powodzeniem stosuje się do tego celu wyłącznie obłuparki bębnowo-prętowe o konstrukcji podobnej do obłupiarek pracujących na sucho z tym, że bębny prętowe wyposażone są w natryśnice wodne (natrysk pod ciśnieniem około 0,6 MPa), zwykle dysze są wmontowane w rurę osiową bębna.

6.2.4. Obieranie płomieniowe

Obieranie płomieniowe jest metodą, która polega na zwęgleniu powierzchni bulw ziemniaczanych, w tym głównie naskórka przez krótkotrwałe działanie

plamienia o wysokiej temperaturze (do 1100°C) w czasie 15 – 20 s. Przedłużenie czasu przebywania bulw w zasięgu plamienia oczywiście powoduje głębszą penetrację ciepła. Usuwanie zwęglonej warstewki odbywa się w tej metodzie podobnie jak w przypadku obierania parowego.

Ze względu na duże koszty energetyczne i aparaturowe oraz niewygodną pracę przy takich urządzeniach (hałas) obieranie plamieniowe nie upowszechniło się w przemyśle przetwórstwa ziemniaczanego i jest stosowane głównie do celów specjalnych – przy otrzymywaniu ziemniaków pieczonych jako potrawy.

Ostatnią i niezwykle ważną fazą procesu obierania ziemniaków jest kontrola selekcja obranych bulw. Operacji tej dokonuje się zwykle za pomocą zespołu kontrolerów na transporterze kontrolnym. Do zadań zespołu kontrolnego należy usunięcie bulw chorych lub zepsutych oraz ręczne lub maszynowe usuwanie części powierzchni niedokładnie obranych bulw, wykrywanie nie usuniętych wcześniej oczek itp.

6.2.5. Porównanie metod obierania ziemniaków

Wybór odpowiedniej metody obierania ziemniaków nie jest przypadkowy lecz opiera się na ścisłych kalkulacjach ekonomicznych, technicznych i produkcyjno-technologicznych. Kalkulację taką, wykonaną szczegółowo na potrzeby Zjednoczenia Przemysłu Ziemniaczanego w latach 60-tych, w uproszczeniu można przedstawić przez następujące porównanie trzech głównych metod obierania, tj.:

- 1) metody parowej,
- b) metody ługowej,
- 3) metody mechanicznej.

Porównanie współczynnika pracochłonności:

- metoda ługowa – 1,37
- metoda parowa – 2,35
- metoda mechaniczna – 3,41.

T a b e l a 1

Zapotrzebowanie wody, pary i energii elektrycznej na jednostkę produktu

Metoda obierania	Woda m ³	Para kg	Energia elektr. kWh
parowa	2,5	165	1,6
mechaniczna	16,9	0	3,8
ługowa	24,7	293	5,5

Tabela 2

Porównywanie odpadów i strat ziemniaków

Odpady i straty ziemniaków %	Metoda obierania ziemniaków					
	ługowa		parowa		mechaniczna	
	ziemn. świeże	z. przechowywane	ziemn. świeże	z. przechowywane	ziemn. świeże	z. przechowywane
przy obieraniu	16,7	20,4	15,3	21,2	12,0	15,6
przy doczyszczaniu	4,6	5,7	7,4	12,6	15,3	20,6
razem	21,3	26,1	22,7	33,8	27,3	36,2
średnio	23,7		28,1		31,7	

Uwzględnienie przytoczonych tu danych oraz wielu innych uwarunkowań krajowych, lokalnych i innych w zakresie kosztów i możliwości surowcowych, energetycznych, aparaturowych, obsługi i ochrony środowiska prowadzi nas do wniosku, że najbardziej odpowiednią metodą obierania jest metoda parowa. Nic więc dziwnego, że metoda ta znajduje powszechne zastosowanie nie tylko w Polsce.

6.3. Blanszowanie i siarkowanie

Blanszowanie jest procesem polegającym na krótkotrwałym ogrzewaniu materiałów roślinnych za pomocą gorącej wody lub pary wodnej o temperaturze poniżej 100°C. Najczęściej blanszowanie prowadzi się w temperaturze 80–90°C w czasie 5–20 min.

Celem blanszowania jest powierzchniowa inaktywacja enzymów, częściowe odkażenie materiału oraz wywołanie w ziemniakach specjalnych zmian fizykochemicznych i organoleptycznych.

W przypadku blanszowania ziemniaków najważniejszym celem tego zabiegu jest inaktywacja oksydaz, a więc grupy enzymów wywołujących reakcję utleniania. W szczególności chodzi tu o zahamowanie utleniania aminokwasu tyrozyny oraz innych substancji o rdzeniu fenolowym, wywołującego intensywne ciemnienie miąższu ziemniaków (brązowienie i szarzenie). Blanszowanie może

również w niektórych przypadkach zmniejszać efekt ciemnienia nieenzymatycznego ziemniaków. Szczególnie dotyczy to blanszowania przez zanurzenie krajanki w gorącej wodzie. Dzieje się tak dlatego, ponieważ gorąca woda powoduje zmiany w przepuszczalności protoplazmatycznej błony komórkowej w zewnętrznej warstwie tkanki i umożliwia szybką dyfuzję rozpuszczalnych składników soku komórkowego, a w tym również cukrów redukujących. Jeżeli więc ziemniaki przerabiane nagromadziły nadmiar tych cukrów, to ich wyprowadzenie z zewnętrznej warstwy krajanki zmniejsza wyraźnie zaawansowanie reakcji Maillarda, a tym samym efekt brązowienia nieenzymatycznego. Jednakże samo blanszowanie jest ukierunkowane przede wszystkim na zahamowanie procesów enzymatycznych.

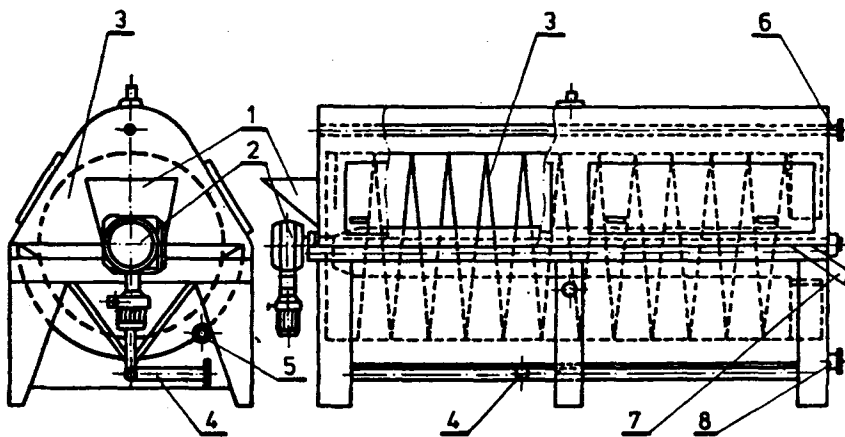
Ciemnienie nieenzymatyczne, wywoływane jest w mięszu ziemniaków surowych i gotowanych przez produkty kondensacji karbonylo-aminowej oraz utlenianie kompleksów dwufenolowych, jak kwas chlorogenowy i kawowy z dwuwartościowym żelazem. Reakcje te można skutecznie hamować przez tzw. siarkowanie, czyli nasycenie powierzchni krajanki niewielką ilością dwutlenku siarki (SO_2). Kwas siarkowy powoduje zarówno blokowanie grup czynnych substratów reakcji Maillarda, jak również zabezpieczenie przed utlenianiem enzymatycznym oraz tlenem z powietrza, a przez to nie dopuszcza do wytworzenia substancji barwnych różnego rodzaju.

Siarkowanie może być również skutecznym sposobem do likwidacji już powstałego zabarwienia. Siarkowanie krajanki ziemniaczanej dokonuje się za pomocą rozcieńczonego roztworu (0,1 – 1%) wodnego SO_2 względnie soli tego bezwodnika, takich jak pirosiarczyny sodowy ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) i wodorosiarczyny sodowy (NaHSO_3). Rzadziej stosuje się siarkowanie gazowym dwutlenkiem siarki. Siarkowanie może być realizowane jako samodzielny proces technologiczny bezpośrednio po blanszowaniu, ale bardzo często dokonuje się tej operacji łącznie z procesem blanszowania. Oba te procesy wymagają bowiem podobnych warunków technologicznych i aparaturowych.

Procesy blanszowania i siarkowania dokonuje się w aparaturze przedstawionej schematycznie na rysunku 6.10.

Blanszowanie względnie siarkowanie krajanki ziemniaczanej za pomocą gorącej wody lub rozcieńczonego roztworu SO_2 w blanszowniku (sulfiterze) ślimakowym polega na krótkotrwałym skontaktowaniu krajanki z roztworem ogrzewanym parą bezprzeponowo podczas jej transportu ślimakiem wewnątrz ażurowego bębna pogrążonego częściowo w wannie wypełnionej wodą lub roztworem. Czas trwania procesu reguluje się szybkością obrotów bębna z uzwojeniem ślimakowym.





Rys. 6.10. Blanszownik ślimakowy o działaniu ciągłym

- 1 – lej zasypowy, 2 – przekładnia napędu ślimaka, 3 – ślimak, 4 – doprowadzenie pary,
5 – doprowadzenie wody, 6 – przewód parowy oczyszczający, 7 – wylot zblanszowanej
krajanki, 8 – odprowadzenie wody

Blanszowanie parowe, rzadziej stosowane ze względu na większe zużycie pary, dokonuje się za pomocą aparatury w postaci tunelu wypełnionego parą wodną doprowadzoną dyszami od dołu i z góry. Krajanka przepływa wzdłuż tunelu przenoszona przez transporter taśmowy względnie siatkowy. Bardzo ważną zaletą parowego blanszowania i ewentualnie siarkowania jest bardzo poważne zmniejszenie strat rozpuszczalnych substancji odżywczych (witamin, soli itp.), które w blanszowaniu wodnym dyfundują z zewnętrznych warstw tkanki i są wymywane.

6.4. Rozdrabnianie

Podczas otrzymywania suszów spożywczych z ziemniaków sposób oraz intensywność i stopień rozdrobnienia zależą od rodzaju i sposobu produkowanego suszu. Z punktu widzenia funkcji technologicznej w produkcji suszów rozdrabnianie można podzielić na dwie grupy:

- 1) rozdrabnianie ujednolicające,
- 2) rozdrabnianie formujące.

W przypadku otrzymywania suszów z ziemniaków gotowanych oraz podczas otrzymywania suszonej miazgi ziemniaczanej (surowej) stosuje się dwustopniowe rozdrabnianie ziemniaków. W pierwszym stopniu stosuje się rozdrabnianie ujednolicające przed blanszowaniem. Jest to zwykle krojenie bulw na

talarki o różnej grubości przy użyciu różnego rodzaju kralnic. Stosuje się ten rodzaj rozdrabniania dla ujednolicenia stopnia zmian termicznych, jakim podlegają ziemniaki podczas blanszowania, chłodzenia i gotowania.

W drugim stopniu rozdrobnienia następuje delikatne zmiażdżenie ugotowanych bulw dla uformowania na pół sypkiej miazgi za pomocą tzw. ryżownika i przygotowanie tej miazgi do suszenia.

Sprawą decydującą o jakości suszów z ziemniaków gotowanych (płatki i granulaty) jest także wytworzenie miazgi z ugotowanych bulw oraz także nią późniejsze operowanie, aby maksymalnie zachować strukturę komórkową ugotowanej tkanki. Należy bowiem pamiętać, że wewnątrz komórek ugotowanej masy ziemniaczanej znajdują się spęczniełe, z płynnym wnętrzem ziarenka skrobiowe, których uwolnienie musi wywołać niekorzystną kleistość produktu. Poza dwustopniowym rozdrabnianiem przed suszeniem ziemniaków ugotowanych może zaistnieć konieczność uzupełniającego rozdrobnienia formującego susz dla nadania mu jednolitego i pożądanego stopnia rozdrobnienia. Do tego typu rozdrabniania można zaliczyć formowanie płatków z folii schodzącej z walców suszarniczych. Podobnym typem rozdrabniania jest mielenie suszonej krajanki (kostki lub talarków) celem otrzymania specjalnej granulacji suszu z ziemniaków surowych, zwanego grysem.

Produkcja suszonej krajanki z ziemniaków surowych (zwykle kostki) ogranicza się w zasadzie do jednego tylko stopnia rozdrobnienia tzn. krojenia formującego kostkę. Projektowane otrzymywanie suszonej miazgi z ziemniaków surowych, mającej zastąpić grys ziemniaczany w produkcji garmazeryjnej wymaga również dwustopniowego rozdrabniania przed suszeniem. Należy w tym przypadku zastosować wstępne ujednolicające krojenie bulw przed blanszowaniem, a następnie zblanszowane bulwy należy rozdrobnić na miazgę o maksymalnych wymiarach (liniowych) cząstek nieprzekraczających 3 mm, czyli uformować ostateczną postać suszu.

6.4.1. Krojenie ujednolicające przed blanszowaniem

Kolejne procesy technologiczne, jakim poddaje się obrane ziemniaki wymagają jednolitego stopnia rozdrobnienia cząstek bulw co do wielkości a nawet podobieństwa kształtów tych cząstek. Jest to szczególnie ważne dla właściwego dokonania obróbki termicznej i równomiernego wywołania szoku termicznego w bulwach.

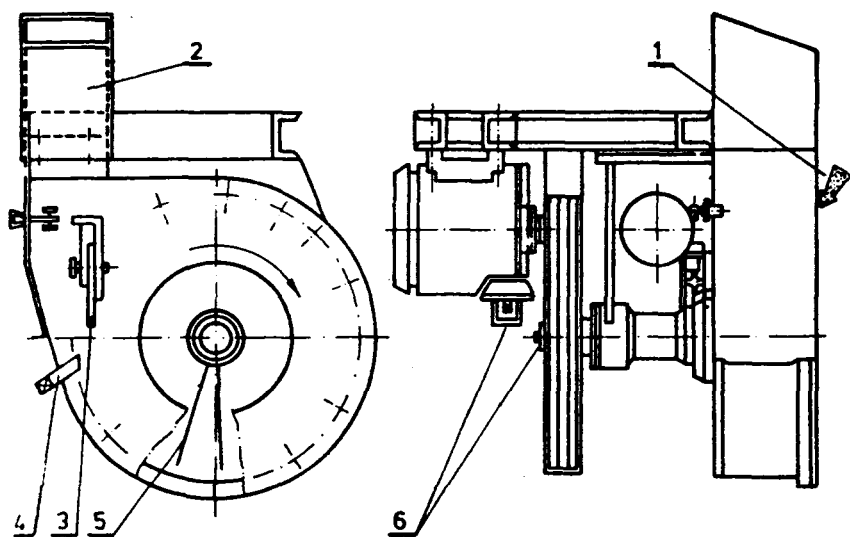
Zmiany fizykochemiczne ziemniaków poddanych takim kolejnym procesom termicznym jak: blanszowanie, gwałtowne chłodzenie, gotowanie, ponowne chłodzenie i suszenie dotyczą głównie błony komórkowej oraz skrobi wewnątrz



komórek. Zmiany te decydują o strukturze i właściwościach produktu suszonego oraz kształtują pożądane walory smakowe. Dlatego jest takie ważne stworzenie warunków umożliwiających równomierne i odpowiednio zaawansowane zachodzenie tych zmian we wszystkich cząstkach bulw poddanych obróbce. Spełnienie tego warunku umożliwia właśnie krojenie ujednolicające. Stopień tego rozdrobnienia nie powinien być jednak zbyt duży, ponieważ każde przekrojenie bulwy wiąże się z koniecznością otwarcia określonej liczby komórek, uwolnieniu skrobi i soku oraz rozwinięcia powierzchni dyfuzji z wnętrza komórek warstw powierzchniowych. Z drugiej strony jest również ważna właściwa proporcja wielkości powierzchni cząstek bulw poddanej szokowi termicznemu do masy przerabianych ziemniaków.

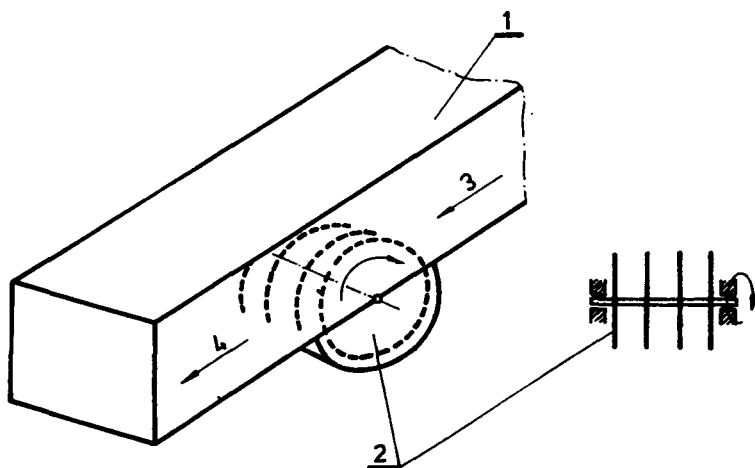
Wydaje się, że najbardziej właściwe jest takie rozdrobnienie ujednolicające przed blanszowaniem, które wyrównuje wielkość i kształt cząstek bulw na poziomie wielkości najmniejszych bulw w masie przerabianych ziemniaków. Krojenie ujednolicające na bardzo drobne cząstki (cienkie plasterki) jest na pewno nie tylko zbędne, ale wręcz szkodliwe, ponieważ powoduje duże straty substancji odżywczych, jak również prowadzi do zbyt zaawansowanej destrukcji błony komórkowej i termicznej modyfikacji skrobi.

Krojenie ujednolicające ziemniaków dokonuje się za pomocą krajalnic, których zasadę działania pokazują schematy na rysunkach 6.11 i 6.12.



Rys. 6.11. Krajalnica odśrodkowa

1 – wprowadzenie bulw do bębna krajalnicy, 2 – wyprowadzenie krajalnicy, 3 – nastawny nóż krajalnicy, 4 – regulator grubości krajalnicy, 5 – łopatki wirnika, 6 – napęd wirnika



Rys. 6.12. Krajalnica krążkowa

1 – rynna krajalnicy, 2 – wirujące noże krążkowe, 3 – wlot grawitacyjny bulw,
4 – wylot krajanki

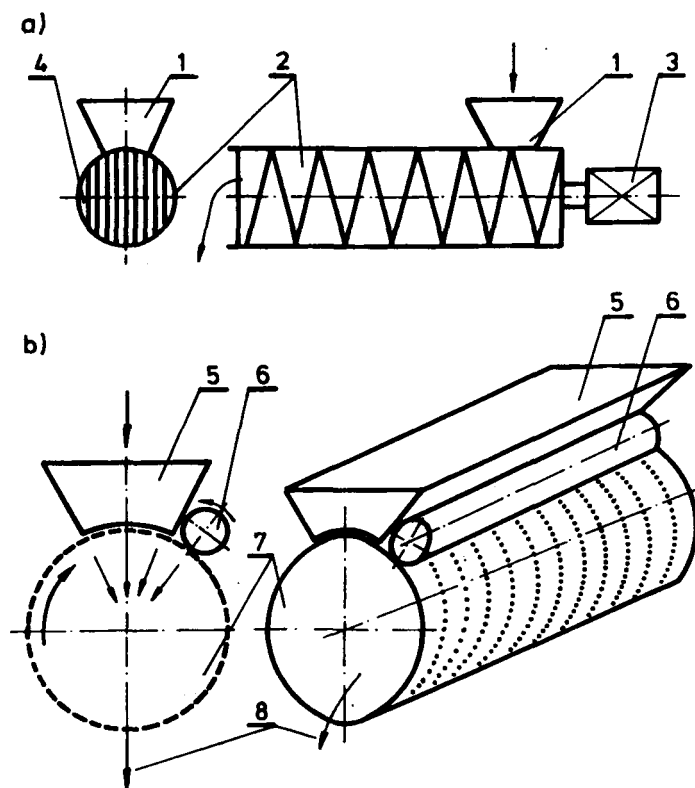
Ważniejszymi zespołami roboczymi krajalnicy odśrodkowej są: wirnik, napęd, pokrywa uchylna, nóż regulowany, korpus. Bulwy ziemniaczane są wprowadzone do wnętrza krajalnicy od strony czołowej w sposób ciągły. Wewnątrz krajalnicy znajduje się wirnik łopatkowy, który wprowadza bulwy w ruch wirowy i naprowadza je na nóż tnący plasterki. Odkrawane plasterki pod wpływem siły odśrodkowej są wyrzucane po stycznej na zewnątrz, natomiast pozostałe bulwy wirują i są krojone w dalszym ciągu. Przez zmianę położenia regulowanego noża można uzyskać krajankę o różnej grubości plasterków.

Krajalnica krążkowa jest zbudowana w postaci pochyło ustawionej rury o przekroju prostokątnym. W dolnej ścianie rury jest zamontowany zespół wirujący noże krążkowe. Ziemniaki spadające luźno po pochyłej ścianie rury krajalnicy wypadają na wirujące noże krążkowe i ulegają pokrojeniu na plasterki o grubości zależnej od liczby zamontowanych noży. Liczba noży jest zmienna od 2 do 6 krążków przez co uzyskuje się grubość plasterków odpowiednio od 20–12 mm.

6.4.2. Rozdrabnianie miazgi

Formowanie miazgi dokonuje się przez bardzo łagodne zmiażdżenie ugotowanych i częściowo schłodzonych bulw w urządzeniach zwanych ryżownikami.

W praktyce przemysłowej mają zastosowanie dwa typy ryżowników pokazane schematycznie na rysunku 6.3.



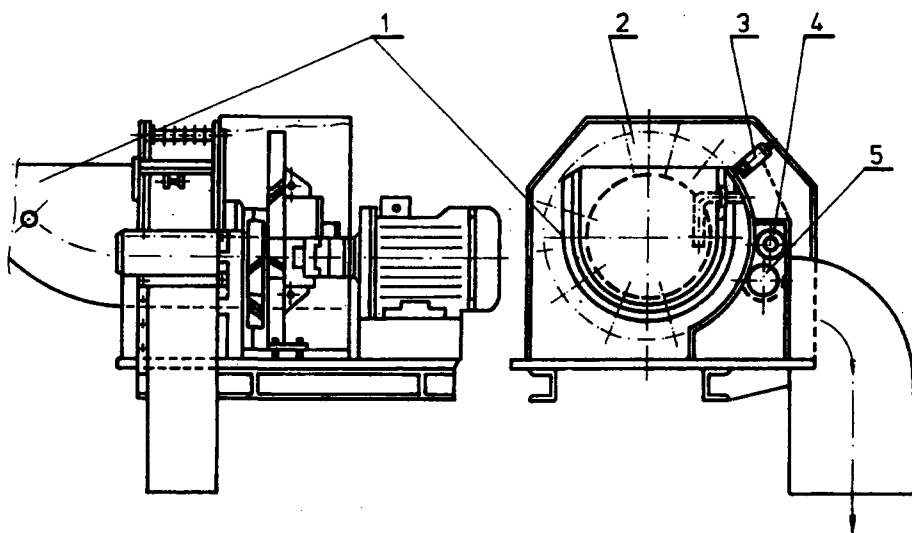
Rys. 6.13. Schemat ryżowników do miażdżenia ugotowanych bulw:

a) ryżownik ślimakowy, 1 – lej zasypowy, 2 – przewód tłoczony ślimaka, 3 – napęd ślimaka, 4 – szczelinowy wylot z przewodu ślimaka, b) ryżownik bębnowy, 5 – lej zasypowy, 6 – wałek przetłaczający, 7 – bęben perforowany, 8 – wylot miazgi z bębna

Urządzenie do ryżowania masy ziemniaczanej składa się ze ślimaków wyciskających masę przez zasuwę w postaci kratownicy zamykającej wylot z obudowy ślimaka zbudowanej z prętów o średnicy około 12 mm rozstawionych między sobą w odstępach około 10 mm. Zasadniczymi elementami roboczymi ryżownika bębnowego są: perforowany bęben lekko pochylony, obracany dzięki napędowi rolek prowadzących, lej zasypowy oraz dwa walce – zgniatający bulwy i wciskający masę przez perforowany obwód bębna do jego wnętrza.

Formowanie kostki z ziemniaków surowych

Badania doświadczalne prowadzone dla optymalnego stopnia rozdrobnienia krajanki z surowych ziemniaków przeznaczonych na susze doprowadziły do ustalenia, że ze względu na ekonomikę oraz dynamikę procesu suszenia oraz zachowanie minimum strat kostka powinna mieć wymiary sześcianu o boku 6–10 mm. Tego rodzaju krajankę otrzymuje się za pomocą uniwersalnej krajalnicy odśrodkowej typ ZK2E przedstawionej schematycznie na rysunku 6.14.



Rys. 6.14. Krajalnica uniwersalna do otrzymywania kostki, słupków i plasterków

1 – lej zasypowy, 2 – bęben z wirnikiem łopatkowym, 3 – nastawny nóż stały, 4 – zestaw noży krążkowych, 5 – bęben z nożami obwodowymi, 6 – wylot kostki

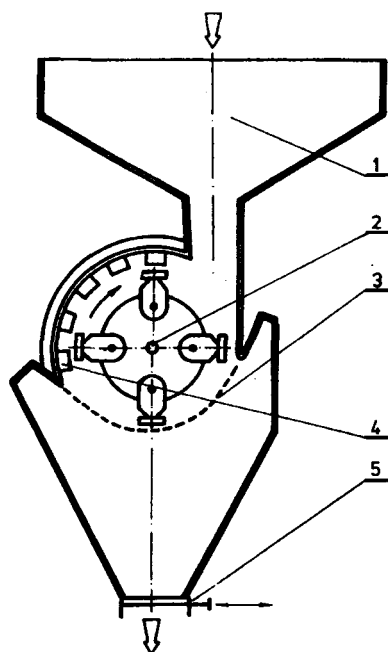
Krajalnica uniwersalna w zależności od ilości wmontowanych elementów tnących jest przeznaczona do krojenia na plasterki, słupki oraz kostkę ziemniaków lub innych warzyw. Ważniejszymi zespołami roboczymi tego aparatu są: korpus, wirnik łopatkowy, zespół noży krążkowych, bęben ze stycznie zamocowanymi nożami odcinającymi, pojedynczy nóż stały, napędy. Bulwy ziemniaczane są wprowadzane w sposób ciągły do wirnika krajalnicy z leja od strony czołowej wraz z niewielką ilością wody. W wirniku bulwy są poddawane wirowaniu i dzięki działaniu siły odśrodkowej nadziewają się na stały nóż pojedynczy ustawiony na obwodzie wirnika, który odkrawa z bulw plasterki. Odcięte plasterki prowadzone są siłą odśrodkową po specjalnym skosie na zespół

noży krążkowych, które przy udziale wałka prowadzącego tną plasterki na słupki. Słupki przy wylocie z korpusu wirnika natrafiają na poprzecznie ustawiony bęben z nożami odcinającymi z nich kostki. Obroty noży krążkowych z wałkiem prowadzącym oraz obroty bębna z nożami odcinającymi tak są zsynchronizowane, że kostka wychodzi w postaci regularnych sześciątów o boku 10 mm. Jeżeli istnieje potrzeba zmiany formy krajanki, to przez wymontowanie bębna z nożami odcinającymi można uzyskać krajankę w postaci słupków przeznaczonych np. na frytki. Wymontowanie dodatkowo noży krążkowych i zastąpienie ich wałkiem umożliwia otrzymywanie krajanki w postaci plasterków jak w krajalnicy odśrodkowej (rysunek 6.11).

Mielenie suszonej kostki dla formowania grysu

Wysuszona kostka jest produktem bardzo twardym i z trudnością poddaje się dalszemu rozdrobnieniu. Produkty przemiału kostki w postaci drobnej kaszki czyli grysu oraz części w postaci mąki znajdują powszechne zastosowanie w gastronomii i przemyśle chłodniczym do produkcji różnych produktów żywnościowych opartych na bazie suszu ziemniaczanego.

Mielenie krajanki suszonej na grys dokonuje się za pomocą młynków bijakowych lub walcowych z walcami o powierzchni rowkowej. Do otrzymywania grysu przeznacza się zwykle wyselekcjonowane gorsze frakcje kostki (nieforemne, przebarwione, połamane itp.). Schemat młynka bijakowego przeznaczonego do formowania grysu przedstawia rysunek 6.15. Zasadniczymi elementami roboczymi młynka są: korpus z lejem zasypowym, wirnik bębnowy z czterema lub sześcioma przegubowo zawieszonymi bijakami, sito kalibrowane, napęd. Otrzymywanie grysu odbywa się w ten sposób, że wysuszona krajanka wprowadzana jest do wnętrza młynka przez lej zasypowy, gdzie dostaje się w zasięg szybko wirujących bijaków (około 2000 obr/min.). W wyniku uderzeń bijaków oraz tarcia o elementy tnące, w które uzbrojony jest obwód wnętrza korpusu jak również w wyniku przeciskania się materiału przez oczka sita pod działaniem siły odśrodkowej następuje rozdrobnienie twardej lecz kruchej krajanki ziemniaczanej. Po zmieleniu następuje rozfrakcjonowanie suszu na grys i mączkę.



Rys. 6.15. Młynec bijakowy

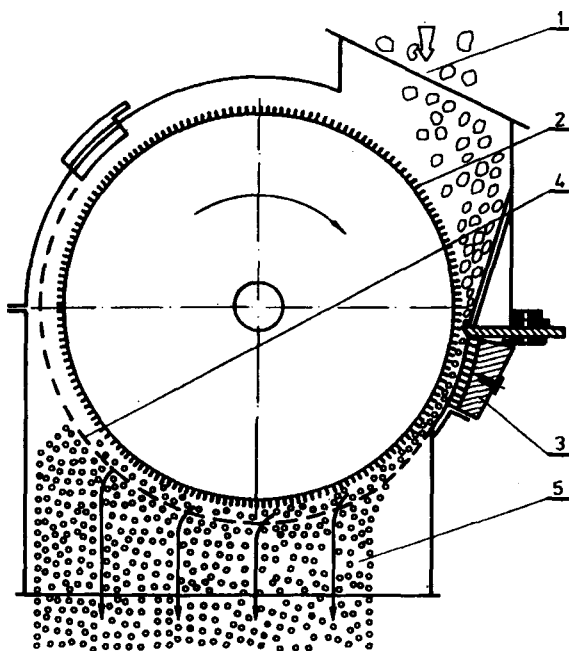
1 – lej zasypowy, 2 – bęben wirujący z przegubowo zamocowanymi bijakami, 3 – kalibrowane sito rozdrabniające, 4 – stałe elementy rozdrabniające, 5 – wylot zmielonego materiału

Formowanie płatków ziemniaczanych

Formowanie płatków ziemniaczanych odbywa się przez rozdrabnianie dużych płatków folii wysuszonych ziemniaków schodzących z walca suszarni. Rozdrabnianie to nie jest szczególnie trudne ponieważ schodząca z walca wysuszona folia ziemniaczana jest materiałem szybko tracącym elastyczność i stająca się materiałem bardzo kruchym. Formowanie płatków ziemniaczanych odbywa się zwykle podczas transportu wysuszonej folii od suszarki walcowej do dalszego przerobu za pomocą specjalnego transportu śrubowego, który spełnia jednocześnie rolę łamacza dzięki śrubowo ułożonym na osi ramionom na całej lub części długości tego transportera.

Formowanie miazgi przeznaczzonej do suszenia

Miazgę z blanszowanych ziemniaków przeznaczoną do suszenia strumieniowego w suszarni fontannowej otrzymuje się przy użyciu zmodyfikowanej tarki używanej w produkcji skrobi z ziemniaków. Niezbędna modyfikacja powinna zapewnić nieco mniejszy stopień rozdrobnienia miazgi niż to ma miejsce w produkcji krochmalniczej. Można to łatwo uzyskać przez wymianę sita na rzadkie lub zupełne jego wymontowanie oraz takie ustawienie szczeliny między bębnum a kłosem ciernym, aby uzyskać miazgę o cząstkach 1 – 3 mm. Schemat tarki do ziemniaków przedstawiony jest na rysunku 6.16.



Rys. 6.16. Tarka bębnowa

1 – wprowadzenie bulw do leja, 2 – bęben wirujący z piłkami żębatymi na obwodzie, 3 – regulowany kłoc rozdrabniający, 4 – kalibrowane sito rozdrabniające, 5 – wylot miazgi

Elementami rozdrabniającymi tarki są: bęben wirujący z obwodem uzbrojonym w specjalne piłki, kłoc cierny regulujący szczelinę między jego powierzchnią a obwodem bębna, sito w postaci perforowanej w prostokątne oczka blachy. Poza tym konstrukcji dopełniają korpus z lejem zasypowym wprowadzającym ziemniaki na bęben po stykowej oraz napęd bębna.

6.5. Parowanie (gotowanie) ziemniaków

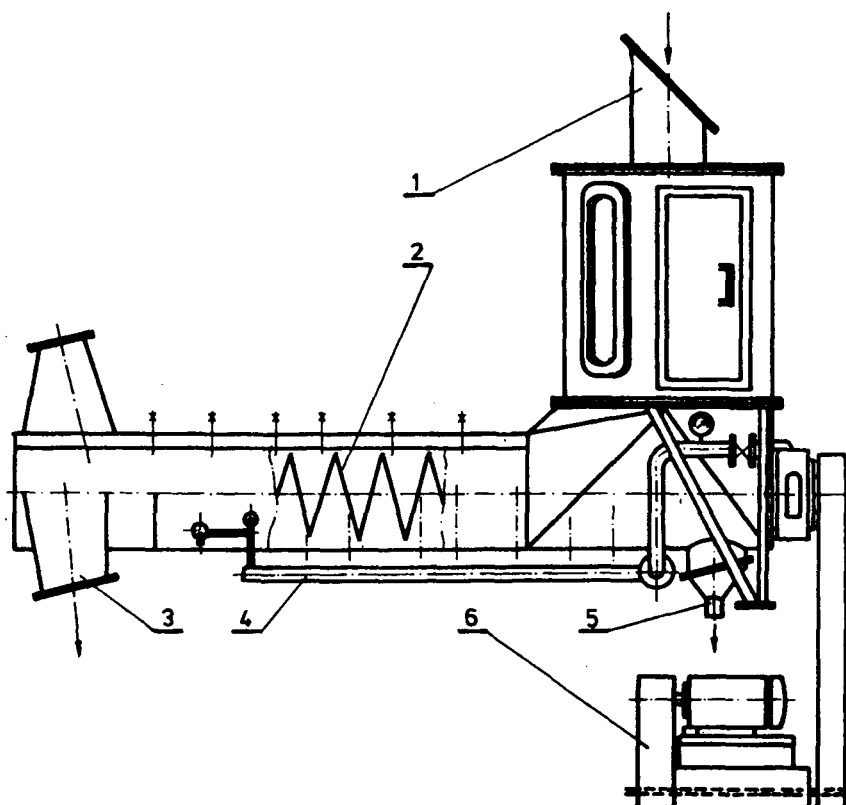
Znaczny udział w przemysłowej produkcji różnego rodzaju suszów ziemniaczanych mają susze z ziemniaków ugotowanych. W szczególności do takich produktów należą płatki i granulaty ziemniaczane przeznaczone na puree, względnie jako komponenty produktów wyrabianych z ciasta ziemniaczanego.

Celem otrzymania suszu z ziemniaków ugotowanych blanszowane i wychłodzone ziemniaki poddaje się długotrwałemu parowaniu za pomocą pary o ciśnieniu do 0,15 MPa, czyli w temperaturze około 120°C przez 30–40 min.

Proces parowania ziemniaków w zdecydowanej większości wytwórni suszów prowadzi się systemem ciągłym. Do tego celu stosuje się parowniki ślimakowe szczelnie obudowane. Zasadniczymi elementami roboczymi parownika ślimakowego są: pionowa kolumna zasilająca, ślimak o regulowanych bezstopniowo obrotach, rynna transportera ślimakowego szczelnie obudowana z wielopunktowym doprowadzeniem pary i odprowadzeniem skroplin, zasilanie, armatura regulacyjna, napęd. Przykładem takiego parownika jest urządzenie przedstawione schematycznie na rysunku 6.17.

Gotowanie ziemniaków w parowniku ślimakowym odbywa się w ten sposób, że ziemniaki wypełniające kolumnę zasilającą są pobierane przez wolno-obrotowy i regulowany transporter ślimakowy. W tunelu szczelnie obudowanej rynny ślimakowej ziemniaki są nasycone parą o temp. ok. 120° i parują się podczas transportu. Czas parowania reguluje się obrotami ślimaka. Ślimak poza regulacją obrotów posiada w niektórych rozwiązaniach zmienny (rosnący) skok uzwojenia śrubowego, co zabezpiecza ziemniaki przed nadmiernym zgniataniem w miarę mięknięcia uparowanej masy.

Kontrola stopnia uparowania ziemniaków odbywa się u wylotu parownika. Za właściwie uparowane ziemniaki, przeznaczone do suszenia, uznaje się taki produkt parowania, w którym po zmiażdżeniu uparowanej bulwy są widoczne cząsteczki nierozgniecione o wymiarach nie przekraczających 3 mm. Brak takich cząstek w masie uparowanych ziemniaków świadczy o nadmiernym uparowaniu, natomiast występowanie cząstek stałych większych od 3 mm wskazuje na niedogotowanie ziemniaków.



Rys. 6.17. Parownik do gotowania ziemniaków o działaniu ciągłym

1 – wlot krajanki do parownika przez zawór ciśnieniowy, 2 – komora parownika z transporterem ślimakowym, 3 – wylot uparowanej masy, 4 – doprowadzenie pary, 5 – wylot skroplin, 6 – napęd ślimaka

6.6. Suszenie

Rodzaj suszenia ziemniaków oraz typ suszarki w procesie produkcji suszów ziemniaczanych podlega oczywiście wszystkim, opisanym w części teoretycznej, zasadom wyboru. Zależnie więc od założonego celu produkcyjnego a szczególnie rodzaju produktu, jaki ma być otrzymany, dobiera się odpowiedni rodzaj procesu suszenia i właściwą dla tego rodzaju suszenia aparaturę suszarniczą.

Uwzględniając te zależności w praktyce przemysłowej przetwórstwa ziemniaczanego przyjęło się, że:

a) do otrzymywania suszonej krajanki ziemniaczanej – suszenie konwekcyjne za pomocą suszarni taśmowej, przy czym istnieją próby zastosowania suszarni fluidyzacyjnej,

b) do otrzymywania ~~platków~~ ziemniaczanych – suszenie kontaktowe za pomocą suszarni walcowej,

c) do otrzymywania granulatu ziemniaczanego – dwustopniowe suszenie strumieniowe z zawrotem suszu, tzn. w pierwszym etapie suszenia za pomocą suszarni pneumatycznej, natomiast dosuszanie w drugim etapie za pomocą suszarni fluidyzacyjnej,

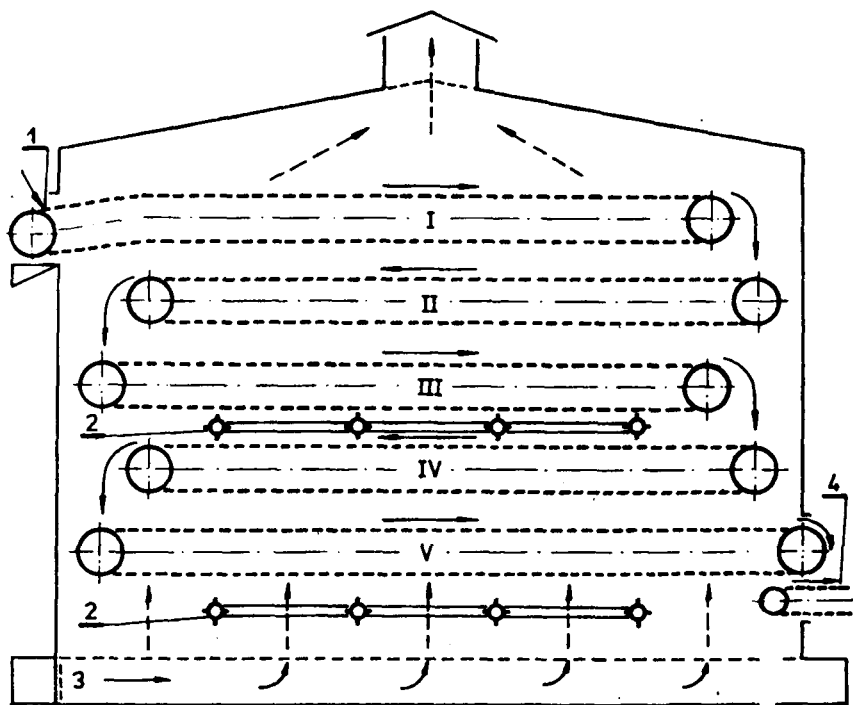
d) zgodnie z opracowaną w Politechnice Łódzkiej nową technologią otrzymywania suszonej miazgi ziemniaczanej proponuje się produkcję tego nowego rodzaju suszu ziemniaczanego przez suszenie strumieniowe wilgotnego proszku z miazgi ziemniaczanej z zawrotem suszu za pomocą suszarni fontannowej; wybór tej suszarni uzasadnia się dużym zróżnicowaniem wielkości cząstek suszonego proszku.

6.6.1. Suszenie konwekcyjne za pomocą suszarni wielotaśmowej

Suszarnia wielotaśmowa nadaje się do suszenia materiału o niewielkim stopniu rozdrobnienia pozwalającego utworzyć na siatkowej taśmie transportera silnie porowatą warstwę, łatwo przenikalną dla strumienia suszącego powietrze płynącego prądem naturalnym od dołu. Ze względu na stosunkowo duże wymiary cząstek suszonej krajanki ziemniaczanej i konieczność stosowania stosunkowo niskich temperatur (60–120°C) proces suszenia kostki ziemniaczanej jest długotrwały i trwa od 8–10 godz. Stosowana do suszenia kostki suszarnia pięciotaśmowa może stanowić dobry przykład ilustracji wykorzystywania dwojakiego rodzaju sił napędowych procesu dyfuzji wilgoci z wnętrza materiału podczas suszenia. Mianowicie w pierwszym etapie kiedy materiał wilgotny jest wprowadzany na pierwszą taśmę do komory suszarni w jej górnej strefie kontaktuje się on z gorącym powietrzem o najwyższej temperaturze. Następuje wówczas parowanie wilgoci powierzchniowej i wędrówka wilgoci z mokrego wnętrza cząstek materiału na wysychającą powierzchnię. Mamy tu więc przykład dyfuzji stężeniowej jako głównej siły napędowej procesu suszenia. W miarę jednak przenoszenia materiału suszonego w dół komory suszarni i postępującego nagrzewania materiału suszonego w dół komory suszarni i postępującego nagrzewania materiału w dolnej strefie komory mamy sytuację taką, że wewnątrz cząstek materiału osiąga maksymalną temperaturę

wyższą niż temperatura nagrzewającego się dopiero powietrza opływającego materiał suszony. W tej sytuacji zaczyna się korzystać z siły napędowej suszenia, określonej jako dyfuzja temperaturowa. Mamy więc do czynienia w tym okresie z dosuszaniem materiału dzięki energii dostarczonej do materiału uprzednio.

Przykład takiego rozwiązania procesu suszenia i urządzenia do tego celu pokazuje schemat na rysunku 6.18. Pokazana suszarnia taśmowa jest urządzeniem przeznaczonym do pracy ciągłej całkowicie zautomatyzowanej. Pracuje ona w systemie strefowym temperatur (na dole 60°C , na górze 120°C) z mechanicznym wprowadzeniem krajanki na siatkowe taśmy i z ogrzewaniem powietrza przez spalanie paliwa płynnego. Suszona kostka ziemniaczana zmienia swoją wilgotność z 85% wilgotności na wejściu do 8% po wyjściu z suszarni.



Rys. 6.18. Suszarnia pięciotaśmowa

- 1 – wprowadzenie i kierunek przenoszenia materiału suszonego, 2 – grzejniki powietrza,
3 – wlot i konwekcyjny przepływ suszącego powietrza, 4 – wyprowadzenie suszu, I–V
– pięciotaśmowy układ transporterów siatkowych

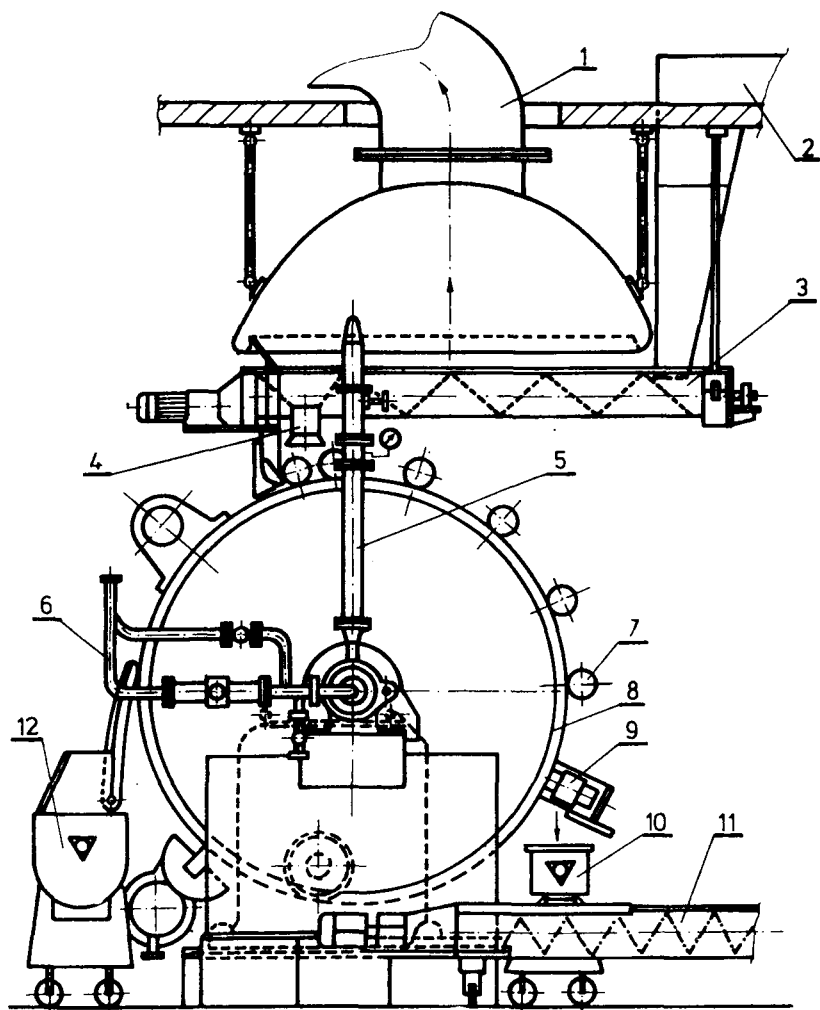
Bardzo ważną zaletą suszenia za pomocą suszarni taśmowej jest możliwość wysuszenia kostki ziemniaczanej w stosunkowo łagodnych warunkach i przy bardzo małym uszkodzeniu mechanicznym materiału. Natomiast bardzo poważną wadą wszystkich stosowanych suszarni taśmowych jest stosunkowo mała sprawność cieplna z powodu niepełnego wykorzystania ciepła unoszonego z oparami. Sprawność tę można znacznie polepszyć wykorzystując część ciepła unoszonego z odlotowymi gazami wilgotnymi do wstępnego podgrzewania materiału wprowadzonego do suszarni. Możliwość taka istnieje po wprowadzeniu gorących oparów z suszarni tunelem w przeciwnym kierunku do wprowadzanej do suszarni zimnej i mokrej krajanki.

6.6.2. Suszenie kontaktowe za pomocą suszarni walcowej

Jak wiadomo z części teoretycznej suszarnia walcowa jest urządzeniem najbardziej właściwym do suszenia materiału o konsystencji pasty. Choć możliwe jest również suszenie materiałów ciekłych. Tak więc wybór suszarni walcowej do suszenia miazgi ugotowanych ziemniaków jest wyborem właściwym.

Suszenie masy ziemniaczanej rozwałcowanej na gorącej powierzchni walców ($140 - 160^{\circ}\text{C}$) odbywa się przez odparowanie wody z dużej powierzchni powstającej w ten sposób cienkiej ($0,1 - 0,2 \text{ mm}$) folii wysychającej masy ziemniaczanej. Odparowanie wody z wilgotności 80% w masie ziemniaczanej do 10% w płatkach odbywa się podczas kontaktu masy z powierzchnią walca w czasie od 5 do 20 sekund. Walec suszarni jest ogrzewany parą wodną w ciśnieniu $0,6 - 0,8 \text{ MPa}$, wprowadzonej do wnętrza walca. Przykładem stosowanej w produkcji płatków ziemniaczanych suszarni walcowej może być schemat przedstawiony na rysunku 6.19.

Zasadniczymi elementami roboczymi suszarni są: walec suszarniczy, ślimakowe urządzenie zasilające, wałki nakładcze, nóż zbierający, transportery ślimakowe, rozdrabniające i odbiorcze, urządzenie wyciągowe oparów, napędy oraz zasilanie parowe.

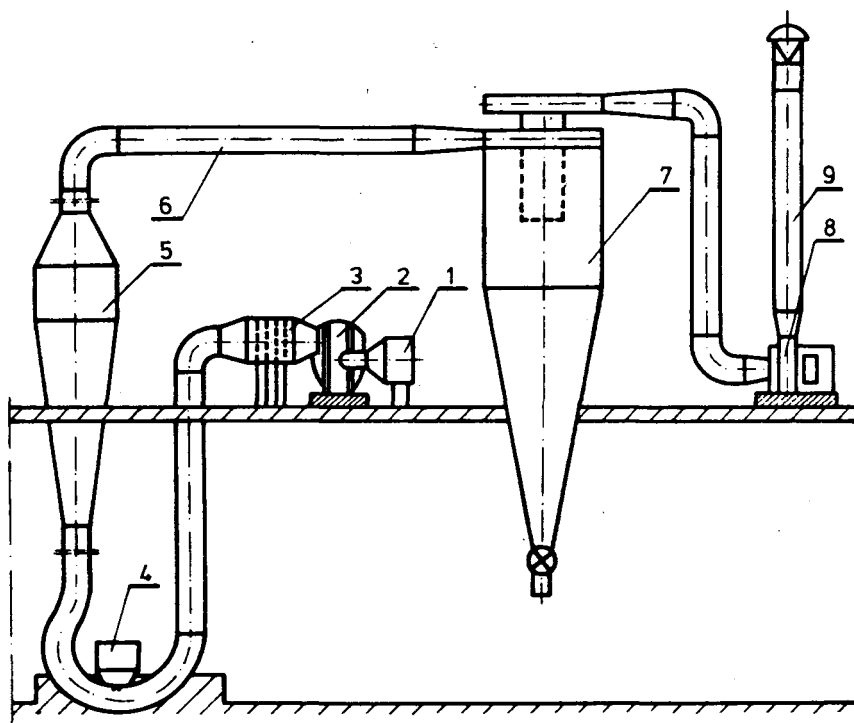


Rys. 6.19. Suszarnia jednowalcowa

1 – odprowadzenie oparów, 2 – lej zasypowy miazgi do suszenia, 3 – ślimak dozujący,
 4 – wylot miazgi na wałek suszarni, 5, 6 – przewody parowe, 7 – ostatni (szósty) wałek
 formujący warstwę, 8 – powierzchnia walca, 9 – nóż zdejmujący wysuszoną folię,
 10 – transporter ślimakowy zbiorczy, 11 – ślimakowy transporter rozdrabniający,
 12 – ślimak ze skrobakiem oczyszczającym wałek

6.6.3. Dwustopniowe suszenie strumieniowe (dyspersyjne) granulatu i aglomeratu ziemniaczanego

W pierwszym stopniu suszy się drobnoziarnisty proszek wytworzony przez zmieszanie świeżo uparowanej masy ziemniaczanej z gotowym już, suszem granulowanym za pomocą suszarni pneumatycznej i pierwszej fluidalnej. Schemat suszarni pneumatycznej jest przedstawiony na rysunku 6.20.



Rys. 6.20. Suszarka pneumatyczna

1 – filtr powietrza wchodzącego do suszarni, 2 – wentylator tłoczący, 3 – nagrzewnica powietrza, 4 – zasyp materiału do suszenia, 5 – rozszerzenie fontannowe przewodu suszarni, 6 – poziomy odcinek przewodu suszącego, 7 – cyklonowy zasobnik suszu, 8 – wentylator ssący, 9 – wylot oparów

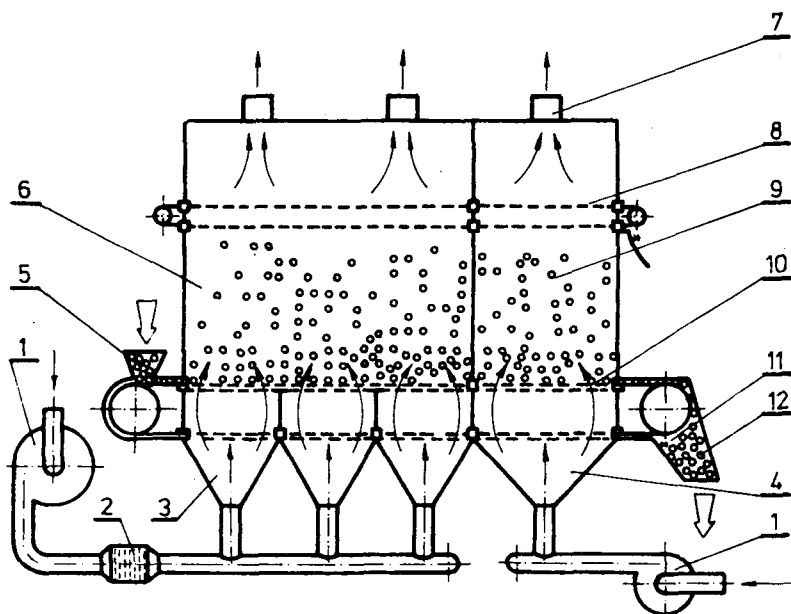
Suszenie pneumatyczne wilgotnego proszku ziemniaczanego odbywa się podczas transportu pneumatycznego w gorącym powietrzu ogrzanim do temperatury około 170°C na wlocie i 80°C na wylocie w czasie 1–2 sekund. Do suszarni pneumatycznej wprowadzany jest proszek ziemniaczany o wilgotności około 30% gdzie wysycha do zawartości około 16–17% wody.

Celem umożliwienia przebiegu procesu suszenia strumieniowego, mokrej masy uparowanych ziemniaków, przy zastosowaniu suszarni pneumatycznej względnie fluidyzacyjnej należy zamienić porowatą masę ziemniaczaną na sypki i drobny proszek jedynie nadający się do suszenia strumieniowego.

Operacji tej dokonuje się przez dwustopniowe mieszanie świeżej masy uparowanych ziemniaków z tzw. zawrotem, czyli z wysuszonym proszkiem w odpowiedniej proporcji dla otrzymania równomiernie wilgotnego i zgranulowanego proszku. W pierwszym stopniu następuje dobranie proporcji świeżej masy i zawrotu, która odpowiada ponad dwukrotnej ilości zawrotu w stosunku do świeżej masy ziemniaczanej oraz ujednolicenie wilgotności tworzącego się proszku o wilgotności 30–33%. W drugim stopniu mieszania następuje dalsze schłodzenie mieszanek do temperatury 30–35°C oraz uformowanie jednorodnych i trwałych granulek. Mieszanie w obu stopniach odbywa się w mieszalnikach łapowo-korytowych po około 30 min., przy czym w pierwszym stopniu mieszadła są usytuowane na wale w linii śrubowej. Koryta mieszadeł są ogrzewane płaszczem wodnym. Dla sprawniejszego i przede wszystkim szybkiego (konieczny szok termiczny) schłodzenia powstającego proszku z pojedynczych komórek dobrze jest stosować chłodzenie między mieszalnikami za pomocą sita wibracyjnego z nadmuchem specjalnie filtrowanego powietrza. Podczas tego chłodzenia zachodzą bardzo korzystne procesy fizykochemiczne w masie pojedynczych komórek ziemniaczanych polegające na retrogradacji skrobi i takim zahartowaniu oraz utrwaleniu błony komórkowej dzięki czemu otrzymany granulata zachowuje trwałą strukturę komórkową zdolną do łatwej rehydratacji przy sporządzaniu puree bez uwalniania spęczniejącej i kleikującej skrobi.

Tego rodzaju ważne cechy granulatu ziemniaczanego osiąga się dzięki stosowaniu na przemian występujących wielokrotnych operacji ogrzewania i chłodzenia obrabianej masy ziemniaczanej. Bez zrozumienia konieczności tych zabiegów, dających produkt sypki i niekleisty trudno zrozumieć konieczność przeprowadzania procesów chłodzenia gorącej masy, po czym ponownego ogrzewania, jak to ma miejsce np. po blanszowaniu a przed parowaniem, a później podczas mieszania po parowaniu a przed suszeniem.

W drugim stopniu suszenia następuje wprowadzenie zebranego w cyklonowym zasobniku proszku o wilgotności 16% do zespolonego urządzenia fluidyzacyjnego, gdzie w pierwszej części następuje wysuszenie do 10% wilgotności i dalsze zgranulowanie proszku ziemniaczanego powietrzem ogrzanym do około 120°C. W drugiej natomiast części następuje gwałtowne ochłodzenie granulatu w warunkach przepływu warstwy fluidalnej, tym razem jednak w strumieniu zimnego powietrza fluidyzacyjnego. Schemat suszarko-chłodziarki fluidyzacyjnej przedstawia rysunek 6.21. W podobnej suszarko-chłodziarce fluidyzacyjnej dosusza się końcowy produkt do wilgotności 6–8%, w temperaturze 60°C.



Rys. 6.21. Suszarnia fluidyzacyjna

1 – wentylatory tłoczące, 2 – nagrzewnica powietrza, 3 – trzy przewodnice strumienia powietrza gorącego, 4 – przewodnica strumienia powietrza chłodzącego, 5 – lej zasypowy materiału do suszenia, 6 – komora fluidalnego suszenia, 7 – odprowadzenie oparów, 8 – transporter siatkowy zbierający pył, 9 – komora fluidalnego chłodzenia, 10 – transporter siatkowy przenoszący materiał w warstwie fluidalnej, 11 – szczotka czyszcząca siatkę, 12 – wylot suszu

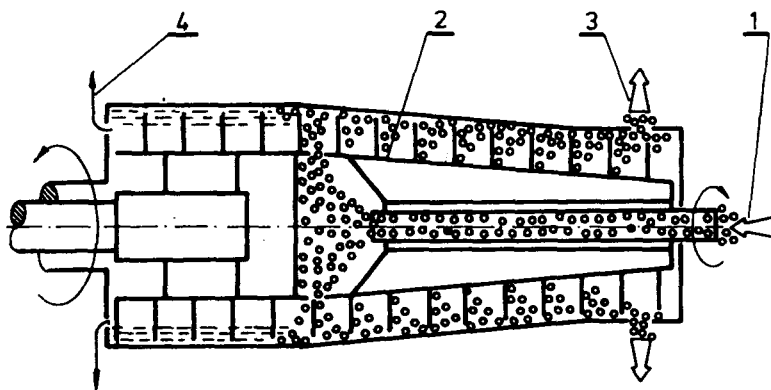
6.6.4. Suszenie miazgi ziemniaczanej za pomocą suszarni fontannowej

W procesie suszenia ziemniaków usuwa się około 70% ich masy w postaci odparowanej wody. Ze względu na wielką ilość usuwanej termicznie wody oraz ze względu na konieczność zachowania podczas produkcji klasycznych suszów z ziemniaków surowych niezbyt wielkiego stopnia rozdrobnienia, czyli konieczność odparowywania tej wody przy małym rozwinięciu powierzchni, zużycie ciepła w procesie suszenia jest bardzo wielkie (około 25 mln kJ/Mg kostki).

Wprowadzenie innej technologii suszenia ziemniaków, polegającej na suszeniu strumieniowym ziemniaków rozdrobnionych na miazgę, a więc przy bardzo wielkim rozwinięciu powierzchni parowania, może wielokrotnie zmniejszyć

zużycie ciepła w procesie suszenia. Zwłaszcza, że rozdrobnienie ziemniaków na miazgę przed suszeniem stwarza okazję do pozbycia się znacznej ilości wody w postaci soku sposobem mechanicznym, np. przez odwirowanie części soku. Tak więc przy wygodnej dla procesu suszenia formie suszonego proszku oraz zmniejszonej ilości wody niezbędnej do odparowania przez częściowe odwirowanie miazgi przed suszeniem, można zmniejszyć zużycie ciepła prawie sześciokrotnie na wyprodukowanie takiej samej masy suszu w postaci proszku, z powodzeniem zastępując grysik ziemniaczany. Te właśnie przesłanki legły u podstaw opracowania technologii otrzymywania suszu ziemniaczanego metodą suszenia odwirowanej miazgi za pomocą suszarki fontannowej.

Przygotowanie miazgi ziemniaczanej do jej strumieniowego suszenia polega na zamianie miazgi zblanszowanych ziemniaków na wilgotny proszek. W tym celu otrzymaną miazgę poddaje się wirowaniu za pomocą wirówki celem zwiększenia zawartości suchej substancji w miazdze z około 20% na 35–40%. Wirowanie dokonuje się za pomocą wirówki sedymentacyjnej tzw. miazgowej, którego schemat przedstawia rysunek 6.22.



Rys. 6.22. Wirówka sedymentacyjna (miazgowa) o działaniu ciągłym

1 – wprowadzenie zawiesiny do rurowej osi wirówki, 2 – wewnętrzny bęben wirówki z uzwojeniem ślimakowym, 3 – wylot zagęszczonego osadu, 4 – wylot klarownego roztworu

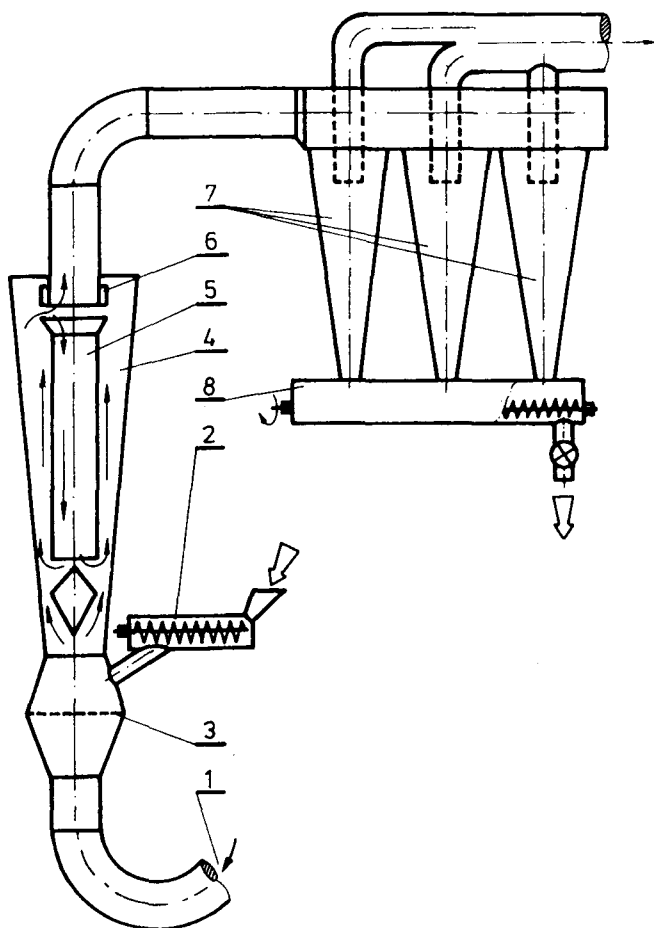
Rozdzielenie osadu i cieczy w wirówce miazgowej następuje dzięki skierowaniu cieczy siłą odśrodkową ku wylotowi o większej średnicy bębna wirującego, podczas gdy osad ruchem wymuszonym przez wirujące uzwojenie ślimakowe jest kierowany w kierunku przeciwnym, tzn. ku mniejszej średnicy stożkowego bębna wirówki. Przy zastosowaniu obrotów przekraczających 3000/min. wirówka pozwala na wydzielenie około 50% soku z miazgi ziemniaczanej. W dalszym toku przygotowań miazgi do suszenia strumieniowego (dyspersyjnego) dla jej

zamiany w sypki proszek zagęszczoną do 35% s.s. miazgę miesza się z tzw. zawrotem gotowego już suszu metodami stosowanymi przy produkcji granulatu. Przy czym dla otrzymania właściwej formy proszku nadającego się do suszenia dyspersyjnego proporcje mieszanych składników powinny zapewnić minimalny zawrót 1 cz. wagowa suszu do 1 części wagowej świeżo zagęszczonej miazgi. Uzyskujemy wówczas po wymieszaniu jednolicie wilgotny lecz sypki proszek o wilgotności około 40%.

Ze względu na bardzo zróżnicowaną wielkość cząstek przeznaczonej do suszenia sproszkowanej miazgi (od pojedynczych ziarenek uwolnionej skrobi do cząstek około 3 mm) najwłaściwszym urządzeniem suszącym dla takiego materiału jest suszarnia fontannowa. Pewne odmiany typu pneumatycznego takich suszarek są już zresztą stosowane w przemyśle ziemniaczanym do suszenia tzw. wycierek, a więc materiału bardzo podobnego. Zmiana jaka musiałaby nastąpić przy przejściu od suszenia wycierek do suszenia miazgi na produkt spożywczy, polega jedynie na zmianie gazu suszącego z gazów spalinowych stosowanych do suszenia wycierek na ogrzewane parą powietrze do temp. 160°C. Schemat takiej pneumatycznej modyfikacji suszarni fontannowej przedstawiony jest na rysunku 6.23.

Suszenie fontannowe za pomocą gorących gazów odbywa się w ten sposób, że wilgotny proszek wprowadzany podajnikiem ślimakowym jest unoszony do stożkowo rozszerzającej się komory ze specjalną centralną zastawką dzięki czemu wytwarzają się strumienie zawiesiny o zróżnicowanej prędkości i gęstości materiału suszonego: obwodowy strumień rozrzedzony o dużej prędkości i centralny strumień zagęszczony z opadającymi cząstkami ciężkimi. Istotną częścią suszarki jest stożkowa komora, wewnątrz której znajduje się osiowo zamontowana cylindryczna rura u góry rozszerzona. Dolny koniec rury centralnej jest przysłaniany specjalną dwustożkową zastawką o regulowanym położeniu. Podobnie regulowane położenie ma końcówka górnej centralnej rury wylotowej. Dzięki tym regulowanym zastawkom można zmienić proporcje strumieni gazowych: centralnego i obwodowego czyli można zmieniać czas przebywania cząstek suszonego materiału (cyrkulacja) w komorze suszarni. Dzięki takiej konstrukcji komory suszarniczej cząstki drobne szybko wysychają i są porywane po jednorazowym przebiegu do cyklonów. Podczas gdy duże i ciężkie cząstki wysychają powoli a zatem trafiają do centralnego (cyrkulacyjnego) strumienia, opadają ku dołowi gdzie po stożku zastawki zsuwają się do obwodowego czyli szybkiego strumienia i mają szansę po wyschnięciu na przelot do cyklonów zbierających susz. Stopień wysuszenia proszku, a więc czas przebywania cząstek materiału w komorze suszarni jest regulowany ilością wprowadzanego do komory gazu oraz położenia górnej i dolnej zastawki. Obniżając górny pierścień rury odlotowej, tj. zbliżając go do rury centralnej, dławii się wylot zawiesiny do cyklonów, a więc zmusza się cząstki do cyrkulacji

rurą centralną, czyli do przedłużenia czasu przebywania ich w komorze suszarni. Podnosząc ten pierścień zmniejszamy dławienie i przyspieszamy przelot zawiesiny do cyklonów. Zwiększając lub zmniejszając szczelinę wytworzoną między dolną zastawką dwustożkową a rurą centralną dokonuje się rozdziału gazu na dwa strumienie: obwodowy i centralny, czyli zmienia się warunki cyrkulacji zawiesiny.



Rys. 6.23. Suszarnia fontannowo-pneumatyczna

1 – wlot strumienia gorącego powietrza, 2 – dozownik ślimakowy materiału do suszarni, 3 – siatka utrzymująca strumień zawiesiny, 4 – komora suszenia fontannowego, 5 – rura recyrkulacyjna, 6 – pierścień regulujący recyrkulację, 7 – cyklony odpylające, 8 – kolektor odbioru suszu

7. TECHNIKA PRODUKCJI SPOŻYWCZYCH SUSZÓW ZIEMNIACZANYCH

7.1. Otrzymywanie kostki i grysiku ziemniaczanego

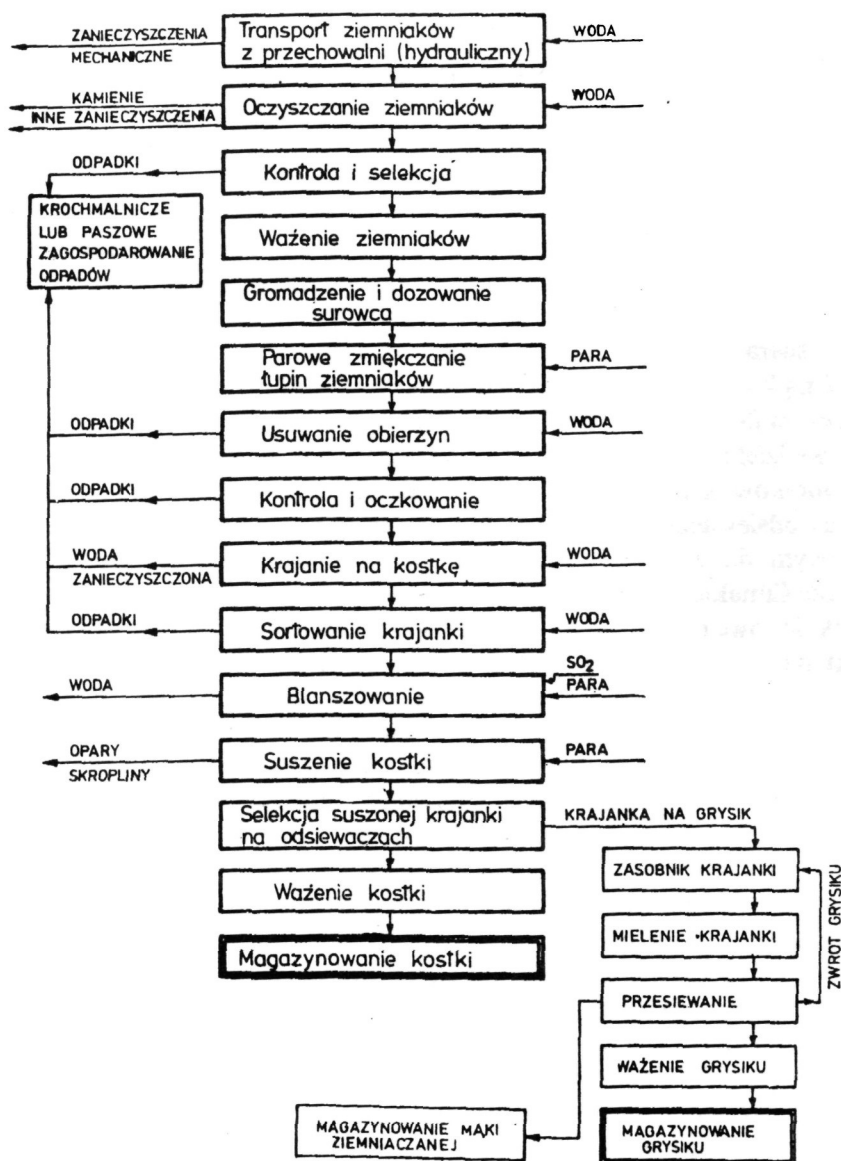
7.1.1. Surowce i materiały

1. Ziemniaki jadalne, jednolite odmianowo wg normy PN-75/R-74450, odmiana Lenino i Uran, zdrowe, dojrzałe, kształtne, nie uszkodzone, bez pustych miejsc wewnątrz, o płtych oczkach. Ziemniaki pobierane do produkcji powinny przejść dwutygodniowy okres sezonowania w zasobnikach przy temperaturze 18–20°C.
2. Pirosiarczyn sodowy techniczny ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) wg normy PN-67/C-84016, dostarczany w workach z folii polietylenowej o masie jednego opakowania 50 kg. Po otwarciu worka pirosiarczyn przesypuje się do skrzyni drewnianej lub winidururowej, szczelnie zamkniętej. Dawkowanie pirosiarczynu do sulfitera odbywa się ręcznie roztworem wodnym o stężeniu około 1%.
3. Opakowanie produktu – worki papierowe pięcio- warstwowe mieszczące 25 kg produktu netto. Torebki z folii polietylenowej lub papierowo-polietylenowe, mieszczące 0,25 kg produktu do dystrybucji detalicznej.

7.1.2. Opis procesu technologicznego (rys. 7.1 i 7.2.)

Ziemniaki jadalne z zasobnika (1) spławia się wodą kanałem spławnym (2) skąd pompą (3) są poddawane na odwadniacz prętowy (4). Woda z odwadniacza (4) i płuczki (5) jest odprowadzana do osadnika piasku. Ziemniaki z odwadniacza spadają do płuczki (5). Kamienie z łapacza w płuczce odprowadzane są na zewnątrz transporterem. Obmyte i pozbawione kamieni ziemniaki, podnośnikiem kubelkowym (6) są poddawane na sortownik (7). Przesortowane ziemniaki średniej wielkości poprzez taśmę kontrolną (8) podawane są na wagę (9) skąd dostają się grawitacyjnie do zbiornika (10).





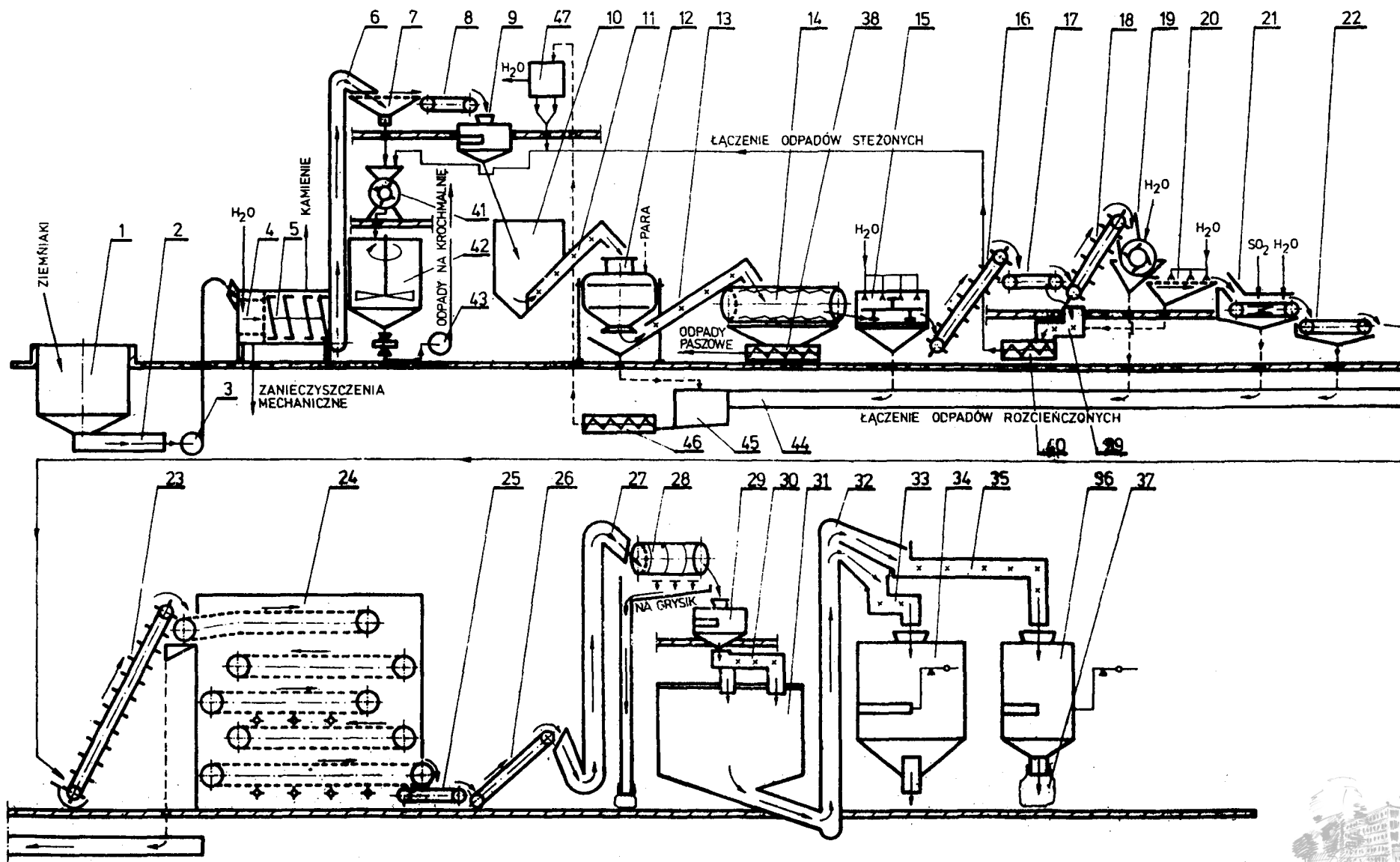
Rys. 7.1. Uproszczony schemat ideowy produkcji kostki ziemniaczanej

Ze zbiornika ziemniaki przenośnikiem ślimakowym (11) są podawane do obieraczki parowej (12). Po uparowaniu naskórka są przenoszone przenie-

ślimakiem ślimakowym (13) do obłuparki szczotkowej (14). Po oddzieleniu łupin ziemniaki są kierowane do płuczki wtórnej (15), z której po obmyciu silnym strumieniem wody wędrują przenośnikiem taśmowym (16) na taśmę oczkownicy (17). Po ręcznym doczyszczeniu ziemniaków na oczkownicy, przenośnikiem taśmowym (18) są podawane ziemniaki na krawalnicę (19). Krajanka ziemniaczana w postaci kostki jest oddzielana od miazgi i ścinek na sicie sortującym (20) po czym jest poddawana blanszowaniu przy silnym strumieniu pary w blanszowniku taśmowym (21). Zblanszowana krajanka traktowana jest roztworem pirosiarczynu sodowego w sulfiterze (22). Przenośnik taśmowy lub siatkowy (23) przenosi mokrą krajankę przy jednoczesnym odsączaniu nadmiaru wody do suszarni taśmowej (24). Wysuszona kostka przenośnikiem taśmowym (25) i taśmą kontrolną (26) oraz przenośnikiem kubelkowym (27) jest dozowana na odsiewacz (38). Frakcja drobna w postaci wysuszonych ścinek i niekształtnych kostek, wydzielona na taśmie kontrolnej jest workowana względnie kierowana do zasobników z przeznaczeniem do dalszego przerobu na grysik. Kostka foremna z odsiewacza jest poddawana po zważeniu na wadze (29) przenośnikiem ślimakowym do zbiornika (31), skąd podnośnikiem kubelkowym (32) jest kierowana ślimakiem (33) na pakowaczkę automatyczną Rowena (3) i pakowana w torebki foliowe mieszczące po 250 g kostki. Przenośnik ślimakowy (35) podaje produkt na wagę (36), skąd po odważeniu produkt pakowany jest w worki papierowe (37) po 25 kg. Nieforemna kostka oraz ta część produktu kostkowego, która jest przeznaczona na grysik jest kierowana z zasobnika na młynek bijakowy gdzie jest rozdrabniana na kaszkę podlegającą sortowaniu za pomocą sita. Frakcja drobna, przechodząca przez sito jest kierowana do zasobnika skąd odprowadza się ją do magazynu względnie do pakowaczki automatycznej celem porcjowania detalicznego lub hurtowego. Frakcja gruba, pozostająca na sicie, transporterem pneumatycznym jest zwracana do zasobnika celem ponownego kierowania jej do rozdrobnienia.

Woda ze skrobią po przenośniku ślimakowym (11) i (13) oraz po płuczce wtórnej (15), w sortowniku (20), blanszowniku (21) i sulfiterze (22) kanałem (44) jest podawana do studzienki zbiorczej (45) skąd pompą zawieszina jest kierowana na sito łukowe (47). Woda z sita łukowego jest grawitacyjnie odprowadzana na odpieniacz. Drobne ziemniaki z sortownika (7) oraz cząstki stałe z sita łukowego (47) są grawitacyjnie kierowane do rozdrabniacza (41). Odpady z oczkownicy (17) i sortownika (20) przenośnikiem ślimakowym (39) i pompą (40) są podawane również do rozdrabniacza (41), skąd spadają do zbiornika (42) a następnie są pompowane (43) do oddziału krochmalniczego lub przerabiane na paszę. Łupiny z obieraczki szczotkowej (17) za pomocą pompy (38) są podawane do zbiorników zewnętrznych z przeznaczeniem na paszę.

7-52 SCHEMAT TECHNOLOGICZNY PRODUKCJI KOSTKI ZIEMNIACZANEJ



Rys. 7.2. Schemat technologiczny produkcji kostki ziemniaczanej

Zestawienie stosowanych parametrów technologicznych – czas obierania ziemniaków w obieraczce parowej $t_p = 80 - 120$ s przy ciśnieniu pary w parowniku $P = 0,8 - 0,9$ MPa w zależności od jakości surowca i pory roku;

- temperatura blanszowania $T = 90^\circ\text{C}$,
- czas blanszowania $t_b = 3 - 18$ min.,
- stężenie roztworu sulfitującego $C = 0,1 - 1,5\%$ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$,
- temperatura suszenia (powietrza suszonego) na wejściu do komory suszarni $T_1 = 100 - 120^\circ\text{C}$, na wyjściu z suszarni $T_2 = 55 - 60^\circ\text{C}$,
- czas suszenia w suszarni taśmowej $t_s = 8 - 10$ godz.

Wskaźniki techniczno-produkcyjne wytwórni kostki

- przerób dobowy ziemniaków 70 Mg/d,
- wydajność kostki ziemniaczanej 10 Mg/d,
- zużycie w produkcji: wody $35 \text{ m}^3/\text{Mg}$ kostki, pary $2,2 \text{ Mg}/\text{Mg}$ kostki, energii elektrycznej $185 \text{ kWh}/\text{Mg}$ kostki, pirosiarczynu sodowego $3,0 \text{ kg}/\text{Mg}$ kostki.

Charakterystyka normalizacyjna produktu

Ziemniaki suszone w postaci kostki

- Norma: ZN-68/MPSS-I-17,
- otrzymywanie: produkt otrzymuje się przez suszenie obranych, pokrojonych i zblanszowanych ziemniaków jadalnych,
- właściwości: kostki wysuszone o wymiarach krawędzi 6 lub 9 mm, o powierzchni matowej, barwie kremowej do żółtej i zapachu właściwym dla suszonych, surowych ziemniaków; obce zapachy niedopuszczalne,
- skład:
- części przypalone z pozostałością naskórka nie więcej niż 4%.
- wilgotność 8 – 11%,
- dwutlenku siarki nie więcej niż 125 mg/kg,
- zdolność do wchłaniania wody: po 2 godzinach – 100%, po 24 godzinach – 180%,
- okres przydatności do spożycia – 18 miesięcy,
- zastosowanie: kostka ziemniaczana po zalaniu wodą lekko pęcznieje przybiera kształty regularnych sześciątów i charakter zbliżony do surowej krajanki ziemniaczanej, po ugotowaniu znajduje zastosowanie przede wszystkim do sporządzania różnego rodzaju sałatek jarzynowych.

Ziemniaki suszone w postaci grysiku ziemniaczanego

Norma: BN-64/8086-01,

- otrzymywanie: produkt otrzymuje się przez zmielenie suszonej krajanki ziemniaczanej, z ziemniaków jadalnych,

- właściwości: grysik ziemniaczany stanowi drobną kaszkę o barwie jasno kremowej do żółtej i zapachu charakterystycznym dla wysuszonych ziemniaków; zawartość wilgoci nie więcej niż 12%, zawartość części mineralnych nie więcej niż 0,1%. Grysik ziemniaczany po zmieszaniu z wodą powinien wykazywać dużą łatwość wchłaniania wody i tworzyć ciasto o smaku surowych ziemniaków;
- zastosowanie: grysik ziemniaczany znajduje zastosowanie jako podstawowy składnik w szeregu potrawach, a przede wszystkim w zastosowaniu do produkcji mieszanek ziemniaczanych przeznaczonych do przyrządzania klusek, knedli, krokietów i placów oraz suszu na prażynki.

7.1.3. Wykaz i charakterystyka urządzeń technologicznych

Lp.	Nazwa	Ilość sztuk	Charakterystyka
1	2	3	4
1	Splawiak	2	Wymiary: a) $75 \times 6,5 \times 0,9$ m, objętość 439 m^3 b) $65 \times 7,5 \times 1,0$ m, objętość 488 m^3
2	Kanał splawny	2	betonowy, po 1 w każdym splawiaku, szerokość 0,3 m, spad 0,01 m/mb, długość 22m
3	Pompa	3	typ pompy KRPe 150–400, wydajność $50 \text{ m}^3/\text{h}$, wysokość podnoszenia $h = 6,5$ m, obroty 725 obr/min silnik elektryczny o mocy 4 kW, napięcie 380 V
4	Odwadniacz prętowy	1	bęben prętowy o średnicy 0,8 m, długość 0,75 m, pręty spawane, o średnicy 0,01 m, odstęp 0,012 m
5	Płuczka łapowa	1	do napędu mieszadła silnik elektryczny o mocy 1,5 kW, silnik elektryczny z pompą o mocy 2,1 kW, transporter gumowy do wybierania kamieni, taśma wyposażona w nakładkę o wysokości 40 mm w kształcie litery V, napęd od silnika o mocy 0,75 kW, wymiary płuczki: długość 2 m, szerokość 0,9 m, wysokość 1,25 m, grubość blachy 3 mm, dno nachylone w kierunku wylotu
6	Podnośnik kubełkowy	1	zamontowany przy końcu płuczki, wysokość 4 m, silnik napędzający o mocy 4,5 kW
7	Sortownik	1	sortuje na 3 wielkości, z odprowadzeniem bulw nadwymiarowych: 3 sita o rozmiarach oczek 28–34 mm, 35–45 mm, 46–80mm; silnik elektryczny o mocy 1,1 kW
8	Taśma kontrolna	1	napędzana silnikiem od sortownika poprzez paski klinowe

1	2	3	4
9	Waga automatyczna	1	typ wagi: Vollenda, nośność 20 kg wydajność maksymalna 5 Mg/h, uruchamiana elektro-pneumatycznie, z licznikiem do rejestrowania ilości zsyków, zapotrzebowanie powietrza około 700 dm ³ /h, przy ciśnieniu 0,6 MPa
10	Zbiornik	1	wymiary: długość 2 m, szerokość 2 m, wysokość 1 m, części stożkowej 0,7 m, pojemność 4,9 m ³
11	Przenośnik ślimakowy	1	napęd silnika o mocy 3 kW
12	Obieraczka parowa	1	typ 3000, sterowanie pneumatyczne, włącznie z kompresorem wydajność około 3 Mg/h, zużycie pary 0,4 Mg/h, ciśnienie robocze 0,8–0,9 MPa, pojemność kotła około 280 dm ³ , średnica otworu wyspowego 0,37 m, maksymalna wielkość wsadu 0,1 Mg, czas przebywania surowca 90–100 s, zawór wpuściowy pary o średnicy 0,032 m, zawór wylotowy pary o średnicy 0,03 m, napęd od silnika o mocy 0,75 kW
13	Przenośnik ślimakowy	1	długość 3,5 m, silnik o mocy 3 kW
14	Obłupiarzka szczotkowa	1	szczotki samoczyszczące, wirujące, ślimak doprowadzający napędzany silnikiem o mocy 1,5 kW, szczotki napędzane silnikiem o mocy 2,2 kW wykonane z tworzywa sztucznego; typ 3000, długość 1,8 m, szerokość 1,3 m, wysokość 1,4 m, przepustowość 3 Mg/h
15	Obłupiarzka mokra (płuczka)	1	typ 2500, długość 2 m, szerokość 1,5 m, wysokość 1,5 m, zużycie wody 7,5 m ³ /h, przepustowość 2,5 Mg/h, silnik o mocy 1,5 kW
16	Przenośnik taśmowy	1	typ FNP produkcji Hans Binder, wysokość podnoszenia 2,5 m, silnik elektryczny o mocy 0,75 kW
17	Oczkownica	1	typ THT Hans Binder z trzema sektorami – lewy i prawy dla ziemniaków oczyszczonych, środkowy sektor dla nieoczyszczonych, silnik o mocy 0,55 kW
18	Przenośnik taśmowy	1	długość 3,6 m, typ Hans Binder
19	Krajalnica	1	typ 7409/3 firmy Hopoken-Belgia, wymiary kostek 6 × 6 × 6 mm, względnie 9 × 9 × 9 mm. Zdolność przepustowa 2,5 Mg/h. Silnik napędowy o mocy 1,5 kW.
20	Sortownik taśmowy	1	typ Kiremko z 4 wałkami i urządzeniem zraszającym do splukiwania uwolnionego krochmalu, silnik o mocy 0,55 kW
21	Blanszownik taśmowy parowy	1	taśma do blanszowania parowego; zdolność przepustowa 1–2,5 Mg kostki surowej/h, długość 7 m, szerokość taśmy 1 m, wysokość 2 m, doprowadzenie pary od góry i od dołu, regulowane za pomocą zaworów regulacyjnych, napęd silnikiem o mocy 0,34 kW

1	2	3	4
22	Sulfiter taśmowy	1	wymiary: długość 4,4 m, wysokość 1,23 m, szerokość taśmy 1,1 m; czas przepustu 2–12 min. nastawialny bezstopniowo, zdolność przepustowa do 2,5 Mg kostki surowej na godzinę, silnik o mocy 0,34 kW
23	Przenośnik taśmowy	1	podaje kostkę surową na suszarnię, silnik o mocy 1,1 kW, silnik do przesuwu wahadłowego o mocy 0,3 kW silnik wyrównawczy do napędu kostki na taśmę o mocy 0,55 kW
24	Suszarnia taśmowa	1	o pracy ciągłej całkowicie zautomatyzowanej, o systemie 2-strefowym dla różnych temperatur, z mechanicznym zasilaniem produktu, typ suszarki JGI-DA Hans Binder, długość taśmy 24,6 m, szerokość suszarki 4,18 m, całkowita wysokość suszarki 4,1 m, szerokość taśmy 3,0 m, powierzchnia susząca dla produktu – 2180 m ² , wydajność suszu – 10 Mg/dobę, wilgotność początkowa świeżego produktu około 85%, wilgotność końcowa suszu około 8%, zapotrzebowanie ciepła w MJ/h – 2 × 6500, rodzaj paliwa – olej opałowy, zużycie oleju 0,35 Mg/h pobierana moc 70 kW, ciężar całkowity urządzenia 33 Mg
25	Przenośnik taśmowy	1	wymiary: szerokość taśmy 0,40 m, długość 4 m, silnik o mocy 0,25 kW
26	Taśma kontrolna	1	wymiary: szerokość taśmy 0,5 m, długość 6,5 m, przepustowość 0,5 Mg/h, moc silnika 0,25 kW
27	Przenośnik kubelkowy	1	przepustowość 0,5 Mg/h, moc silnika 1,5 kW
28	Odsiewacz	1	płaski z wkładkami sitowymi, przepustowość około 0,5 Mg/h, moc silnika 0,37 kW
29	Waga automatyczna	1	typ/Vollenda, przepustowość 0,5 Mg/h, moc silnika napędzającego 0,75 kW
30	Przenośnik ślimakowy	1	przepustowość około 0,5 Mg/h, przedstawialny do zapełniania silosów wg wyboru, moc silnika 1 kW
31	Zbiornik dwuczęściowy	2	pojemność 12 m ³
32	Podnośnik kubelkowy	1	przepustowość 1 Mg/h, silnik o mocy 1,1 kW
33	Przenośnik ślimakowy	1	długość od 2 do 3 m, moc silnika 1,1 kW
34	Pakowaczka Rowena		do formowania, napełniania i zamykania torebek, z urządzeniem do zgrzewania na gorąco, pracuje automatycznie z rolki, tzn., że z płaskiej taśmy foliowej kształtuje rękawową torebkę i napełnia ją za pomocą zespołu ważącego
35	Przenośnik ślimakowy	1	długość około 3 m, silnik o mocy 1,1 kW
36	Waga automatyczna	1	nośność wagi 25 kg, posiada licznik rejestrujący

1	2	3	4
37	Paczkownia	1	powierzchnia $24 \times 4 = 96 \text{ m}^2$
38	Ślimak zbierający	1	długość 3 m, przepustowość 0,5 Mg/h, moc silnika 1,1 kW
	Pompa	1	typ W-25 R, wydajność $600 \text{ dm}^3/\text{h}$, wysokość podnoszenia 20 m, silnik o mocy 1,5 kW
39	Przenośnik ślimakowy do zbierania odpadów	1	długość około 7 m, przepustowość 1,5 Mg/h, moc silnika 2,2 kW
40	Pompa	1	moc silnika 1,2 kW
41	Rozdrabniacz bijakowy	1	typ Telma, moc silnika 5,5 kW
42	Zbiornik odpadów	1	wykonany z żywic poliestrowych, z mieszalnikiem, pojemność około 5 m^3 , membranowy wskaźnik poziomu napełniania, silnik o mocy 2,5 kW
43	Pompa do transportu przecieru	1	typ RO 30, wydajność od 900 do $3000 \text{ dm}^3/\text{h}$, wysokość podnoszenia 40 m, przepustowość do 2,5 Mg/h przy ciśnieniu 0,1 MPa, moc silnika 1,1 kW
44	Zbiornik przelotowy	1	cyldryczny kolektor o pojemności około 10 m^3
45	Studzienka	1	betonowy zasobnik-dekanter
46	Pompa roto	1	typ ST60, wydajność $14 \text{ m}^3/\text{h}$, wysokość podnoszenia 40 m, moc silnika 5 kW
47	Sito łukowe	1	typ DORR-OLIVER, do oddzielania grubszych części z wód

7.2. Otrzymywanie płatków ziemniaczanych

7.2.1. Surowce i materiały

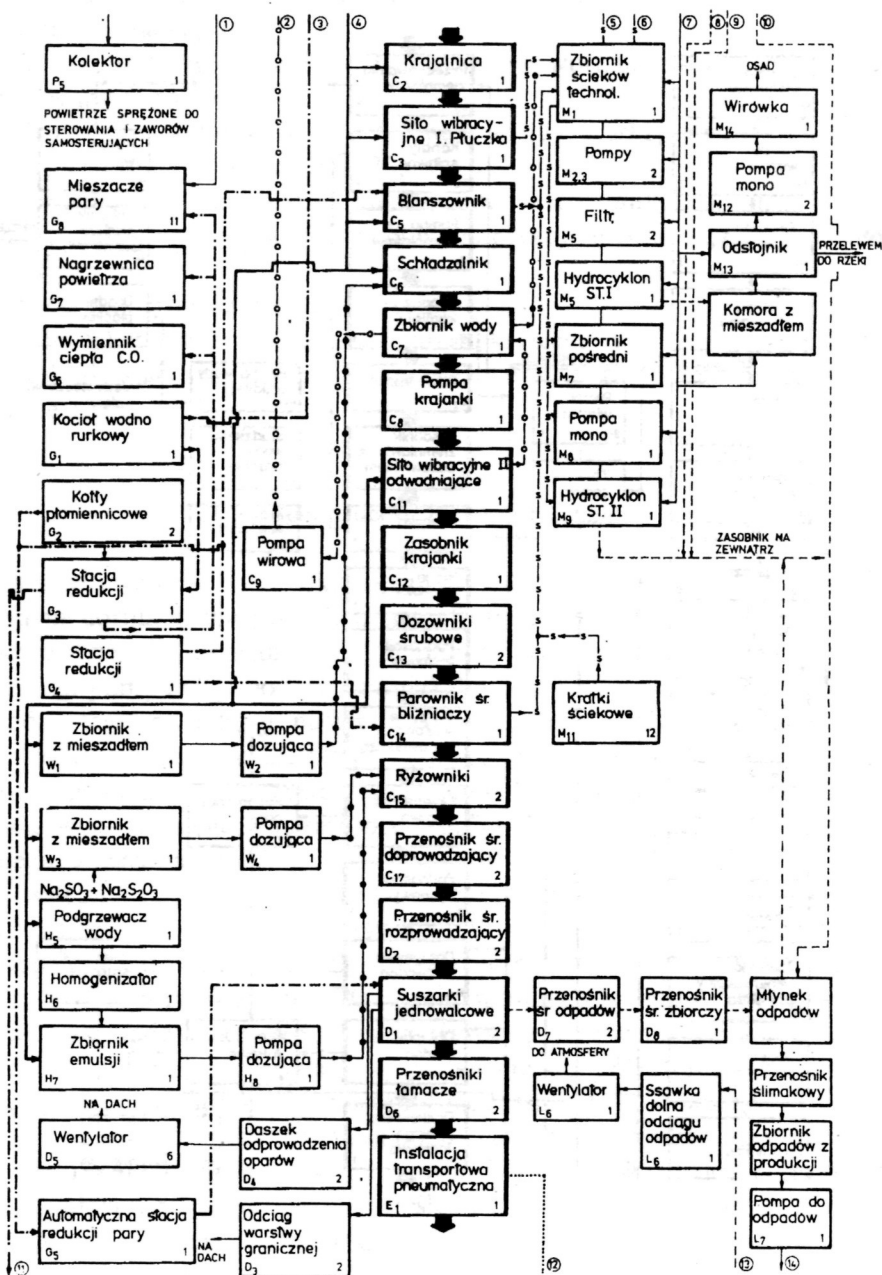
Surowcem do produkcji spożywczych płatków ziemniaczanych są ziemniaki odmian jadalnych określone normą PN-75/R-74450. Ziemniaki przed produkcją są przechowywane zgodnie z normą PN-75/R-74455, przy czym temperatura powietrza nie powinna być niższa od 5°C . Przed przekazaniem do produkcji jest wskazane kondycjonowanie ziemniaków, tj. przetrzymywanie ich w temperaturze $18 - 20^\circ\text{C}$ celem obniżenia w nich zawartości cukrów redukujących. Normatywny zapas surowca przeznaczonego do szybkiego przerobu powinien odpowiadać zapotrzebowaniu na 2 doby pracy. W warunkach przechowalni klimatyzowanej okres przechowywania ziemniaków przeznaczonych na wysokiej jakości susze może dochodzić do 6 miesięcy.

Wśród materiałów pomocniczych niezbędnych w produkcji płatków spożywczych wymienić należy:

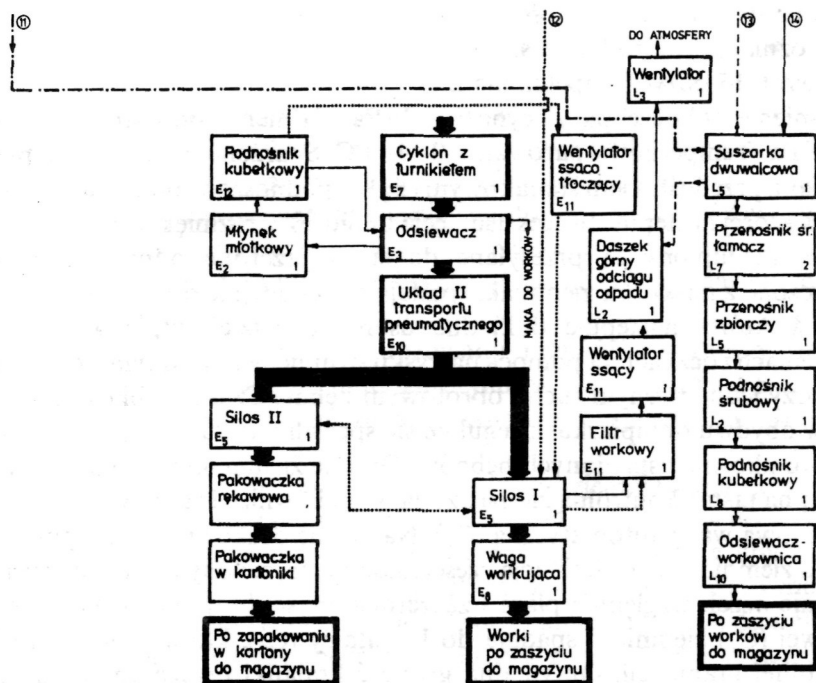
- a) siarczyn sodowy – Na_2SO_3 , dostarczony w workach papierowych po 50 kg i stosowany w roztworze 2–5%,
- b) pirosiarczyn sodowy – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, pakowany w worki papierowe po 30 kg i używany w postaci roztworu 2–5%,
- c) monoglicerydy (monopalmitynian i monostearynian) glicerolu, używany w postaci emulsji wodnej sporządzonej w temperaturze 70°C w stężeniu około 3%,
- d) worki papierowe z wkładką parafinowaną,
- e) pudła tekturowe, mieszczące 16 lub 40 kartoników,
- f) torebki papierowe płaskie, jednowarstwowe, powlekane polietylenem mieszczące 125 g.

7.2.2. Opis procesu technologicznego

Zmagazynowane w zasobniku ziemniaki (B_0), odpowiadające wymogom określonym normami dla produkcji spożywczych płatków ziemniaczanych są transportowane strumieniem wodnym poprzez kanały spławne (B_0) do studzienki skąd pompa (B_1) podaje ziemniaki rurociągiem do odwadniacza (B_2). Na drodze tego przepływu następuje oddzielenie od ziemniaków kamieni i innych zanieczyszczeń ciężkich (B_{12}). Woda z odwadniacza jest zawracana do spławiania ziemniaków. Z odwadniacza ziemniaki grawitacyjnie dostają się do zasobnika wyposażonego w podnośnik taśmowy (B_3) (dozownik) o regulowanym biegu. Z zasobnika dozownikiem taśmowym ziemniaki są podawane do płuczki wstępnej (B_4), gdzie następuje mycie ziemniaków, dalsze oddzielanie piasku i kamieni oraz innych zanieczyszczeń. Brudną wodę z płuczki przez rynnę odprowadza się grawitacyjnie do zbiornika skąd pompą wirową kieruje się ją do osadnika żwirowo-piaskowego. Do mycia ziemniaków jest używana woda obiegowa po schładzalniku. Wodę czystą używa się tylko w momencie rozruchu. Oczyszczone w płuczce ziemniaki są podawane do półautomatycznej wagi przelotowej (B_5) wmontowanej w przenośniku taśmowym. Zważone na wadze ziemniaki podnośnikiem taśmowym są poddawane do zasobnika wyposażonego w dozowniki śrubowe (ślimakowe). Dozowniki te zgodnie z cyklem obieraczki parowej działające okresowo, co określony czas napełniają zbiorniki parowników porcjami ziemniaków. Parowniki (B_8) obieraczki parowej (dwa bliźniacze aparaty) pracują przemiennie powodując rozmiękczenie naskórka i zewnętrznej, cienkiej warstewki bulw ziemniaczanych.



Rys. 7.3 – cz. 2



LEGENDA

- ➡ - ziemiaki, płatki spożywcze
- - odpady produkcyjne
- - woda o podwyższonych parametrach
- - woda rzeczna filtrowana
- o-o- - woda używana do chłodzenia
- - chemikalia
- - - - para wodna
- s-s- - ścieki
- - instalacja aspiracyjna

Rys. 7.3 — cz. 3. Schemat aparaturowy produkcji płatków ziemniaczanych oraz zagospodarowanie odpadów

Prawidłowość pracy obieraczki parowej określa się grubością uparowanej warstewki, która nie powinna przekraczać 3 mm oraz stopniem usunięcia naskórka, włącznie z wszystkimi wgłębieniami i oczkami. Proces obierania parowego przebiega automatycznie i poszczególne fazy obieraczki są programowane w zależności od rodzaju, odmiany i stopnia dojrzałości przerabianych bulw. Najczęściej cykl parowania obejmuje:

- napełnianie zbiornika ziemniakami około 10 s,
- parowanie 30–70 s,

- otwieranie zbiornika około 2 s,
- opróżnianie zbiornika 45 s,
- powrót do pozycji napełniania 2 s.

Ciśnienie robocze pary wynosi 1 MPa. Ciśnienie powietrza sterującego – 2 MPa. Temperatura parowania – 180°C. Sparzone w obieraczce parowej ziemniaki, przenośnikiem ślimakowym (B_9) są podnoszone do obłupiarzki suchej (B_{10}), w której następuje proces usunięcia około 80% rozmiękczonego naskórka. Oddzielone łupiony są przesyłane do stacji przerobu odpadów. Wstępnie oczyszczone z naskórka ziemniaki spadają grawitacyjnie do obłupiarzki wodnej (B_{11}), w której następuje dokładne usunięcie resztek łupin zwłaszcza we wgłębieniach i oczkach za pomocą natrysku strumieniem wodnym o ciśnieniu 0,6 MPa przy jednoczesnym ruchu obrotowym bębna. Czas i szybkość obłupiania bulw w obydwu obłupiarzkach reguluje się specjalnymi ruchomymi zastawkami u wylotu ukośnie ustawionych bębnow. Obrane ziemniaki z obłupiarzki mokrej spadają na taśmę kontrolną zaopatrzoną w oczkownicę i stanowiącą jednocześnie taśmową wagę automatyczną (C_1). Na taśmie oczkownicy następuje ręczna selekcja ziemniaków z eliminacją części nadgniłych, zielonych, nieobrabianych oraz usuwanie oczek względnie plam i zaczerwienień części bulw ziemniaków. Z wagi taśmowej (C_1) ziemniaki spadają do krawalnicy (C_2), która kroi je na talarki o jednolitej granulacji. Optymalna grubość krajanki przeznaczonej na płatki wynosi około 12 mm. Do krawalnicy podawana jest także woda, która wraz z krajanką przechodzi następnie przez sito wibracyjne (C_3) zw. płuczką krajanki. Na sicie płuczki następuje wypłukanie uwolnionej skrobi i soku z powierzchni krajanki. Woda z płukania krajanki odprowadzana jest przez lej zbiorczy do zbiornika odpadów technologicznych.

Z płuczki krajanka spada rynną spadową do blanszownika (C_5), gdzie następuje proces technologicznej obróbki krajanki za pomocą gorącej wody o temperaturze 80–90°C w czasie 15–20 min. Czas blanszowania reguluje się obrotami blanszownika przekładni bezstopniowej. Temperaturę blanszowania reguluje się ilością wprowadzonej pary. Celem lepszego zabezpieczenia krajanki przed ciemnieniem, do blanszownika lub schładzalnika po blanszowniku dodaje się roztwór wodorosiarczyny sodowego o ustalonej doświadczalnie ilości. Z blanszownika krajanka przechodzi bezpośrednio do schładzalnika (C_6). Chłodzenie krajanki odbywa się w wodzie zimnej (wymienianej w sposób ciągły) w czasie 20 minut. Woda chłodząca krajankę spływa przelewem do zbiornika skąd pompą wirową jest przesyłana do zasilania poszczególnych urządzeń technologicznych. Ochłodzona krajanka spada do zbiornika krajanki i wody obiegowej skąd pompą wirową (C_8) jest podawana w postaci zawiesiny wodnej na sito (C_{11}) wibracyjne celem odwodnienia. Woda z sita przez lej zbiorczy jest

zawracana do obiegu kołowego. Odwodniona krajanka z zasobnika (C_{12}) jest podawana dozownikiem ślimakowym do parownika ślimakowego (śrubowego) o działaniu ciągłym (C_{14}). W parowniku następuje ostateczne ugotowanie krajanki ziemniaczanej umożliwiające zmiażdżenie jej i wytworzenie pasty ziemniaczanej. Parowanie krajanki jest prowadzone pod ciśnieniem 0,15 MPa w czasie 15–30 minut w zależności od rodzaju i odmiany aktualnie przerabianych ziemniaków. Czas parowania i stopień ugotowania ziemniaków reguluje się szybkością obrotów śruby parownika. Z parownika uparowana krajanka przechodzi bezpośrednio do tzw. ryżowników (C_{15}), w których następuje zmiażdżenie jej na jednolitą miazgę kierowaną do suszenia walcowego (D_1). Do miazgi ziemniaczanej na ryżowniku jest dozowany roztwór mieszaniny siarczynu i pirosiarczynu oraz emulsja monoglicerydu w ilości około 1,6 dm³/min. Zaprawiona w ten sposób miazga ziemniaczana spada zsysem do przenośników kierujących ją na suszarnię walcową.

Wprowadzona na ślimaki rozdzielcze masa ziemniaczana jest w nich równomiernie rozprowadzana na całą długość bębna suszarni walcowej. Podawanie pasty do suszarni jednowalcowej musi być tak regulowane, aby wszystkie wałki na całej długości były równomiernie obciążone. Prawidłowe i równomierne obciążenie wałków pastą ziemniaczaną jest warunkiem uzyskania dobrej jakości płatków oraz pełnego wykorzystania zdolności produkcyjnej urządzeń. Ciśnienie pary wodnej zasilającej walce suszarni powinno być utrzymywane w granicach 0,6–0,7 MPa. Obroty bębna suszarni należy nastawiać na taką wartość, aby uzyskiwać przy niej maksymalną ilość płatków przy zachowaniu wilgotności produktu w granicach 7–9%. Wysuszone ziemniaki w postaci folii oddzielanej od bębna suszarni walcowej za pomocą jednolitego skrobaka spadają do przenośnika ślimakowego specjalnej konstrukcji. Ten przenośnik (rozdrabniacz) powoduje rozdrobnienie dużych kawałków folii ziemniaczanej na drobne płatki i kieruje produkt do transportu pneumatycznego. W transporcie pneumatycznym następuje oddzielenie drobnych części od właściwych płatków ziemniaczanych. Wydzielone drobne odpady są kierowane do młyna bijakowego, w którym uzyskuje się mąkę ziemniaczaną i odprowadza do magazynu produktu ubocznego. Wydzielone z transportu pneumatycznego (po cyklonie i odsiewaczu) płatki ziemniaczane są kierowane do frakcjonowania na odsiewaczu wahadłowym, gdzie rozdziela się je na trzy frakcje.

Frakcja gruba jest podawana na młynek celem dodatkowego rozdrobnienia skąd przenośnikiem kubelkowym wraca ponownie na odsiewacze.

Frakcja pośrednia (o prawidłowej granulacji) wpada do zbiornika nadawczego, a stąd transportem pneumatycznym jest kierowana do silosów produktu głównego.

Frakcja drobna czyli mąka ziemniaczana jest kierowana bezpośrednio do magazynu produktu ubocznego i wykorzystywana jako mąka ziemniaczana do celów spożywczych.

Płatki ziemniaczane czyli produkt główny są zbierane w dwu równoległych silosach. Z jednego silosu są podawane do wagi automatycznej wyposażonej w urządzenie workujące, gdzie pakuje się je w opakowania hurtowe po 20 kg. Płatki z drugiego silosu przeznaczone są do pakowania detalicznego w pakowaczce automatycznej pracującej dwuetapowo. W pakowaczce tej następuje wytwarzanie torebek z rolki papieru powlekanego polietylenem i napełnianie płatkami w atmosferze azotu łącznie z zamknięciem torebki. W kartoniarce następuje ułożenie kartoników w pudła i skierowanie do magazynu produktu głównego.

Sposób przerobu odpadów

Produkcja spożywczych suszów ziemniaczanych a zwłaszcza produktów otrzymywanych z ziemniaków parowanych narzuca konieczność zagospodarowania różnorodnych produktów ubocznych i odpadów. W szczególności zróżnicowane odpady i produkty uboczne otrzymuje się podczas produkcji płatków ziemniaczanych.

Odzyskiwanie odpadów odbywa się następująco:

- odcinek z obłupiarki wodnej podawany jest na sito łukowe gdzie następuje zagęszczenie suchej substancji zawiesiny i wydzielanie wody zanieczyszczonej celem dalszego jej oczyszczenia. Zagęszczona masa z sita łukowego transportowana jest do zasobnika odpadów,
- odpady z obłupiarki suchej i z suszarek walcowych są kierowane do rozdrabniacza odpadów, gdzie ulegają rozdrobnieniu na jednolitą masę. Rozdrobnione odpady transportowane są przenośnikiem ślimakowym do zasobnika odpadów skąd ujednolicone odpady kierowane są na suszarnię dwuwalcową celem otrzymania suszu paszowego. Po wysuszeniu odpadów następuje ich zapakowanie i złożenie w magazynie produktów ubocznych,
- odpady ziemniaczane z oczkownicy po selekcji są odprowadzane do zasobnika usytuowanego na zewnątrz budynku skąd mogą być kierowane do przerobu krochmalniczego względnie do dystrybucji w stanie surowym.

Zestawienie stosowanych parametrów technologicznych:

- grubość plasterków krajanki ziemniaczanej – 12 – 12,5 mm,
- blanszowanie – temperatura blanszowania 75–80°C, czas blanszowania 10–15 min.,



- schładzanie – proces ciągły do temperatury 20°C,
- parowanie krajanki – ciśnienie pary 0,15 MPa, czas parowania 15 – 30 min.,
- stężenie roztworów:
 - a) wodorosiarczyn sodowy 2 – 5%,
 - b) pirosiarczyn sodowy 5%,
 - c) emulsja monoglicerydu 3% tłuszczu,
- suszenie – ciśnienie pary wewnątrz bębna suszarni walcowej 0,5 – 0,7 MPa, temperatura powierzchni walca 160 – 170°C, wilgotność produktu 8 – 9%, zawartość SO₂ w produkcie do 125 mg/kg.

Wskaźniki techniczno-produkcyjne wytwórni płatków:

- zdolność produkcyjna płatków ziemniaczanych 20 Mg/d, przerób ziemniaków – 145 Mg/d,
- zużycie ziemniaków o zawartości 22% s.s. maksymalne 6,0 Mg/Mg płatków, odzyskanie s.s. w płatkach spożywczych powyżej 65%,
- zdolność produkcyjna suszu skrobiowego 3 Mg/d,
- zużycie: monoglicerydy – 4 kg/Mg płatków, wodorosiarczyn sodowy lub siarczyn sodowy 0,45 kg/Mg, pirosiarczyn sodowy 1,7 kg/Mg,
- woda na spławienie i mycie ziemniaków 8 m³/Mg ziemniaków,
- woda w procesach technologicznych 8 m³/Mg ziemniaków.
- woda na mycie urządzeń i hal produkcyjnych – 1,5 m³/Mg ziemniaków,
- zużycie wody ogółem poniżej 18 m³/Mg ziemniaków,
- zużycie węgla o kaloryczności 28 MJ/kg – 1,5 Mg/Mg płatków,
- zużycie energii elektrycznej – 315 kWh/Mg płatków.

Charakterystyka normalizacji produktu

Norma: ZN-72/MPSS-I-24,

Otrzymywanie: spożywcze płatki ziemniaczane są produktem otrzymanym z obranych, a następnie uparowanych i wysuszonych na suszarce walcowej ziemniaków jadalnych:

- właściwości: sypkie płatki bez zlepów i zbryleń o barwie białej lub jasnożółtej i zapachu charakterystycznym dla ugotowanych ziemniaków, wilgotność – 10 – 12%, zawartość substancji mineralnych poniżej 0,1%, zawartość SO₂ poniżej 125 mg/kg, okres przydatności do spożycia – 9 miesięcy,
- zastosowanie: płatki ziemniaczane do szybkiego sporządzania potraw w postaci puree ziemniaczanego oraz jako komponent do zup, knedli, krokietów, klusek i innych produktów ziemniaczanych.

7.2.3. Wykaz i charakterystyka urządzeń technologicznych

Lp.	Ozna- czenie	Nazwa	Ilość sztuk	Charakterystyka
1	2	3	4	5
1	Bo	przechowalnia	1	pojemność 350 Mg
2	Bo	kanały spławne	4	szerokość 0,3 m, długość 32 m, głębokość od 0,3 do 0,5 m, spadek $0,8 \div 1,2\%$
3	B ₁	pompa do ziemniaków	1	wydajność 100 m ³ /h w tym 10 Mg ziemniaków, wysokość podnoszenia 22 m, moc silnika 22 kW
4	B ₂	odwadniacz prętowy	1	szerokość 0,490 m, długość 2,5 m, średnica prętów 0,02 m, odstęp między prętami 0,015 m nachylenie 20%
5	B ₃	zasobnik ziemniaków z dozownikiem	1	stalowy, z wykładziną z mikrogumy, pojemność 5 Mg ziemniaków, dozownik taśmowy, moc silnika 0,25 kW, serwomotor 0,1 kW
6	B ₄	pluczka surowca	1	bębnowa z wewnętrznym łapaczem kamieni, średnica 1 m, długość części wodnych 1,5 m, pojemność 5 m ³ , przepustowość 10 Mg/h, silnik o mocy 2,2 kW, silnik taśmy wynoszącej kamienie 0,75 kW, silnik pompy łapacza 0,22 kW
7	B ₅	waga przelotowa	1	typ AW-XD 400 „GEMO”, zakres wysypu 25 ÷ 50 kg, praca sterowana elektronicznie, przepustowość 10 Mg/h, szerokość taśmy głównej 0,35 m, taśmy obciążającej 0,1 m, wysokość zbierania 0,04 m
8	B ₆	podnośnik taśmowy	1	„GUMO” typ K-400-3-AA, szerokość taśmy 0,29 m, wysokość zbierania 0,75 m, moc silnika 0,55 kW
9	B ₇	skrzynie wlotowe z dozownikiem	2	blacha stalowa, pojemność 2 × 0,15 Mg, dozownik śrubowy o długości 2,5 m, szerokości 0,36 m i skoku 0,26 m, praca wg programu obieraczki parowej
10	B ₈	obieraczka parowa	1	typ D2A2450, 2 zbiorniki stalowe ciśnieniowe o pojemności użytkowej 120 ÷ 150 kg, ciśnienie robocze pary 1 MPa, ciśnienie powietrza 0,2 MPa, przepustowość 6 ÷ 8 Mg/h, sterowanie automatyczne wg programu, moc silnika 9,75 kW
11	B ₉	rozprężacz pary		zbiornik materiałowy z zastawkami o wymiarach 1,8 × 6 × 0,5 m

1	2	3	4	5
12	B ₉	podnośnik śrubowy	1	rurowy, średnica 0,35 m, długość 4,2 m, przepustowość 8 Mg/h, silnik o mocy 0,25 kW
13	B ₁₀	oblupiarz sucha		typ TW-300 Paul Kuntz, bęben o średnicy 0,8 m, długość 3 m, średnica prętów 0,015 m, odstęp między prętami 0,010 m, moc silnika 2,2 kW
14	B ₁₁	oblupiarz wodna	1	typ TW-400 Paul Kuntz, bębnowa o średnicy 0,75 m, długość 2,5 m, szerokość płaskowników 0,03 m, szczelina 0,012 m, zapotrzebowanie wody około 3 m ³ /h, ciśnienie 0,5 MPa, silnik o mocy 1,2 kW
15	C ₁	oczyszczalnia z wagą	1	przepustowość 7,5 Mg/h, długość 7,25 m, szerokość taśmy 0,54 m, szybkość taśmy 0,3 m/s, waga taśmy ze zdalnym odczytem obniżenia i licznikiem masy ważonej, moc silnika 1,5 kW
16	C ₂	krajalnia	1	typ ZKE-3 z blachy stalowej nierdzewnej, bęben o średnicy 0,55 m, wysokość 0,775 m, wydajność 6 Mg/h obroty bębna 1500 obr/min, produkcja SPOMASZ, Wronki rok 1971
17	C ₃	sito wibracyjne I	1	blacha dziurkowana otwory 2 × 20 mm, powierzchnia sita 1,76 × 0,79 = 1,4 m ² , skok 6 mm, liczba drgań 1460/min, zużycie wody 2,5 m ³ /h, 2 silniki z tarczą mimośrodową o mocy 2 i 0,36 kW
18	C ₅	blanszownik	1	bęben z blachy perforowanej z zewnętrzną wstęgą śrubową w wannie o pojemności wody 10 ÷ 12 m ³ , długość bębna 6 m, obroty 0,3 ÷ 3,5 obr/min., temperatura wody 70 ÷ 80°C, zużycie pary o ciśnieniu 0,2 MPa 0,6 ÷ 0,8 MG/h, ogrzewanie bezpośrednie
19	C ₆	schładzalnik	1	analogicznie jak C ₅ , zużycie wody 40 m ³ /h
20	C ₇	zbiornik wody	1	wymiary 1,9 × 1,9,0 × 1,0 m, pojemność 3 m ³
21	C ₈	pompa krajanki	1	typ 2 MQ-132-H-4 WEISE, wydajność 50 m ³ /h, przepustowość 5 Mg/h, podnoszenie wody 11 m
22	C ₉	pompa wirowa wody po schładzalniku	1	typ N-3315 „Edur” wysokość podnoszenia wody 75 m, wydajność 41 m ³ /h, moc silnika 11 kW
23	C ₁₀	sito wirowe II	1	patrz C ₃
24	C ₁₁	instalacja rurowa	1	średnica rury powrotnej 0,2 m
25	C ₁₂	zasobnik krajanki	1	pojemność 0,3 Mg krajanki dzielony ruchomo, regulowany kłapą

1	2	3	4	5
26	C ₁₃	dozowniki śrubowe	2	obroty regulowane od 4,9 ÷ 29,4 obr/min, przepustowość 7 Mg/h, długość 2,28 m, szerokość 0,26 m skok 0,26 m, moc silnika 0,75 kW
27	C ₁₄	parownik śrubowy bliźniaczy	1	długość 4,6 m, szerokość koryta 0,62 m, skok 0,3 m, zapotrzebowania pary 1 ÷ 1,2 Mg/h o ciśnieniu 0,03 MPa, przepustowość 2 × 3 Mg/h, zakres regulacji czasu parowania 4 ÷ 400 min, moc silników 0,85 kW i 0,44 kW
28	C ₁₅	ryżownik śrubowy	2	długość 0,8 m, średnica 0,4 m, skok 0,18 m, kratownica, średnica prętów 0,012 m, szczeliny 0,010 m, 22 obr/min, przepustowość 2 × 3 Mg/h, silnik o mocy 1,5 kW
29	C ₁₇	przenośnik śrubowy odprowadzający	2	długość 2,4 m, skok 0,26 m, szerokość 0,26 m, 75 obr/min., silnik o mocy 1,5 kW
30	D ₁	suszarka walcowa	2	typ EA3140, długość 5 m, średnica 2 m, powierzchnia 31,4 m ² , obroty 1,4 ÷ 6,3 obr/min, zdolność suszenia do 0,5 Mg/h, zużycie pary 2,5 Mg/h, ciśnienie pary do 0,7 MPa, 6 sztuk wałków nakładczych, noż jednosegmentowy, silnik o mocy 2,2 kW
31	D ₂	przenośnik śrubowy rozprowadzający	2	długość 5 m, średnica 0,22 m, skok 0,26 m, obroty regulowane od 6 do 30 obr/min, silnik o mocy 0,6 kW
32	D ₃	odciąg warstwy granicznej	2	długość szafki 3,3 m, 4 rzędy otworów w układzie 60° co 0,08 m wentylator sprzężający, średnica rury odprowadzającej opary 0,24 m, silnik o mocy 2,2 kW
33	D ₄	daszek wyciągu oparów	2	wymiary 5 × 2,2 m, z blachy aluminiowej, 3 rury odprowadzające opary na dach
34	D ₅	wentylator wyciągu	6	osiowy, 1000 obr/min, moc silnika 2,5 kW
35	D ₆	przenośnik łamacz	2	średnica 0,3 m, długość 6 m, 100 obr/min, przepustowość 0,65 Mg/h, moc silnika 3 kW
36	D ₇	przenośnik śrubowy odpadów	2	średnica 0,25 m, długość 6 m, 74 obr/min, silnik o mocy 1,1 kW
37	D ₈	zbiorczy przenośnik odpadów	2	analogicznie jak D ₇
38	E ₁	transport pneumatyczny	1	rurociąg ssący o średnicy 0,075 m zbiorczy o średnicy 0,105 m, wydajność 720 m ³ /h, prędkość przepływu 25 m/s
39	E ₂	młynek młotkowy	1	typ 40 – 32 KA Alpine, 2000 obr/min., moc silnika 1,1 kW

1	2	3	4	5
40	E ₃	odsiewacz	1	średnica sita 1,83 m, sito górne prześwit 0,005 m, sito dolne — prześwit 0,2 mm, częstotliwość wahań około 250/min, blachy podkładowe z otworami o średnicy 19 mm co 11 mm w układzie 90°C, moc silnika 3,6 kW
41	E ₅	silos	2	średnica 1,85 m, długość części cylindra 3,5 m, pojemność około 10 m ³ , tj. około 3 Mg płatków
42	E ₇	cyklon z turnikiem	1	typ FSW, 10 klatek, 40 obr/min, pojemność jednego obrotu 5 dm ³ , moc silnika 0,25 kW
43	E ₈	waga workująca	1	typ BWSR „Chronos”, wysp 20 kg
44	E ₁₁	aspiracja	1	filtr workowy z podmuchem, 7 worków, przedmuch powietrzem o ciśnieniu 0,6 MPa
45	E ₁₁	wentylator ssący	1	typ D-64 Ex Elektor, sprężenie 180 mm H ₂ O, 25 obr/min, moc silnika 1,85 kW
46	E ₁₄	wentylator ssąco-tłoczący	1	Elektor, sprężenie 100 mm H ₂ O, moc silnika 0,18 kW
47	E ₁₀	transport pneumatyczny II	1	zbiornik o pojemności 1 m ³ , turniket wielkości 160, pojemność jednego obrotu 2 dm ³ , 1,45 obr/min, silnik o mocy 0,25 kW, wentylator podwójny 2800 obr/min, silnik o mocy 2,2 kW
48	E ₁₂	podnośnik kubełkowy	1	160 kubełków o pojemności 1 dm ³ , kubełki co 0,17 m, szerokość taśmy 0,16 m, szybkość taśmy 1 m/s, silnik o mocy 0,75 kW
49	M ₁₀	sito łukowe z lejem zbiorczym odpadów	1	BS-45 typ WSM, długość 0,8 m, szerokość 0,6 m, prześwit sita 0,5 mm, przepustowość 150 m ³ /h
50	D ₁₃	młynek odpadów	1	z wirującą tarczą otworową, otwory o średnicy 1,5 mm, 3000 obr/min, przepustowość 1,2 Mg/h, silnik o mocy 3 kW
51	L ₉	zbiornik odpadów	1	betonowy o pojemności 2,5 m ³
52	L ₇	pompa do odpadów	1	mono, obroty rotora 61 ÷ 360 obr/min, wydajność 3,3 m ³ /h, ciśnienie 0,25 MPa, moc 5,5 kW
53	L ₁	suszarka dwuwalcowa	1	typ 7-2000, długość 3 m, średnica 1,55 m, 2,5 ÷ 10 obr/min., zużycie pary 2 Mg/h, wydajność 0,25 Mg/h przy 20% suchej masy pulpy, ciśnienie pary grzejnej 0,8 MPa, bębny żeliwne, silnik o mocy 18,5 kW
54	L ₂	daszek odciągu oparów	1	wymiary 0,34 × 0,37 m, ze stopu aluminium
55	L ₃	wentylator	1	średnica rury ssącej 0,6 m, silnik o mocy 5,5 kW
56	L ₆	ssawka dolnego odciągu oparów	1	wymiary 3 × 2,5 m

1	2	3	4	5
57	L ₆	wentylator do L ₆		silnik o mocy 1,5 kW
58	L ₄	przenośnik śrubowy, łamacz	2	średnica 0,26 m, obroty 36 obr/min., przepustowość 0,3 Mg/h, moc silnika 1,1 kW
59	L ₅	przenośnik śrubowy zbiorczy	1	średnica 0,3 m, długość 0,6 m, obroty 56/min, przepustowość 0,6 Mg/h, silnik o mocy 1,1 kW
60	L ₁₁	podnośnik kubełkowy	1	długość 3,6 m, szerokość taśmy 0,16 m, pojemność kubełków około 1,5 dm ³ , moc silnika 2,2 kW
61	L ₁₀	przenośnik śrubowy, workownica	1	długość 5,6 m, średnica 0,26 m, 45 obr/min, 2 upusty, moc silnika 2,2 kW
62	H ₁	zbiornik z mieszadłem	1	zbiornik z blachy kwasoodpornej typ V-2, pojemność użytkowa 1,5 m ³ , mieszadło szybkoobrotowe śmigłowe 1000 obr/min., moc silnika 0,75 kW
63	H ₂	pompa dozująca tłokowa	1	typ B-31, „Normandes” 144 obr/min., wydajność regulowana 10 ÷ 1200 dm ³ /h, silnik o mocy 1,5 kW
64	H ₃	zbiornik z mieszadłem	2	dane jak H ₁
65	H ₄	pompa dozująca tłokowa	1	100 obr/min., wydajność 10 ÷ 600 dm ³ /h, moc silnika 0,55 kW
66	H ₅	podgrzewacz wody	1	zbiornik stalowy o pojemności 0,16 m ³ , grzejnik o mocy 1,5 kW, temperatura 70°C
67	H ₆	homogenizator	1	zbiornik o pojemności 0,16 m ³ , obroty wirnika 2890 obr/min., moc silnika 5,5 kW
68	H ₇	zbiornik z mieszadłem	1	0,5 m ³ , z blachy nierdzewnej, mieszadło kotwiczne, 22,5 obr/min., moc silnika 1,4 kW
69	H ₈	pompa dozująca tłokowa	1	typ N-W-32 „Normandes” 100 obr/min, wydajność 5 ÷ 180 dm ³ /h, silnik o mocy 0,37 kW

7.3. Otrzymywanie granulatu i aglomeratu

7.3.1. Surowce i materiały do produkcji granulatu i aglomeratu

Jako surowiec główny w produkcji granulatu stosuje się ziemniaki jadalne odmiany Uran, Lenino i inne, których jakość jest określona normą eksportową WE-66 nr 117.

Materiały pomocnicze:

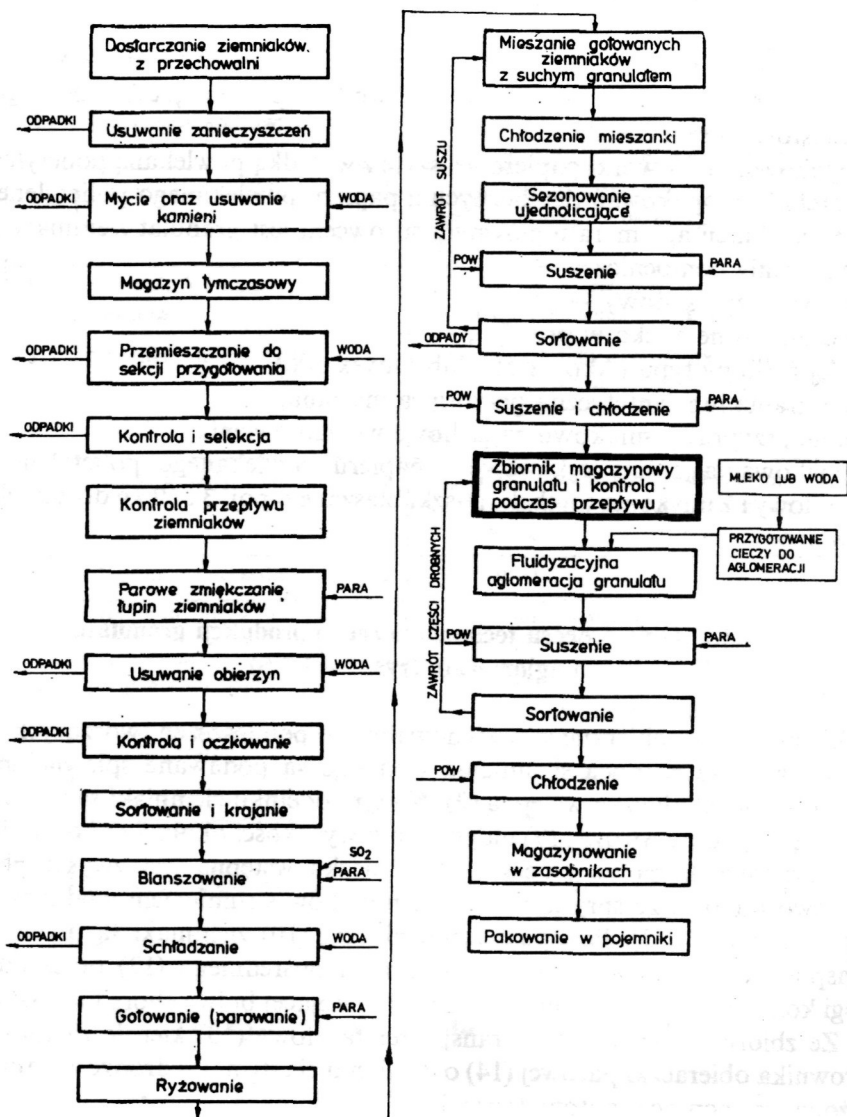
- BHA (butylohydroksyanizol) przeciwutleniacz dostosowany do środków spożywczych,
 - pirosiarczyn sodowy ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) o czystości odpowiedniej dla żywności,
 - dimodan (mono lub dwugliceryd) – środek spulchniający, zapobiegający kleistości suszu,
 - opakowania: – worki papierowe, szyte z wkładką powlekaną polietylenem,
 - torebki do opakowań detalicznych z papieru powlekanego polietylenem.
- W produkcji aglomeratu głównym surowcem jest granulak ziemniaczany.

Materiały pomocnicze:

- pirosiarczyn sodowy – j.w.,
- odtłuszczone mleko w proszku,
- olej roślinny typu (Akorex 500 lub Duvex 500),
- naturalna lub syntetyczna przyprawa masłana,
- inne przyprawy smakowo-zapachowe wg zamówienia,
- opakowania: taśmy rękawowe z papieru powlekanego polietylenem do budowy i zamykania torebek, puszki blaszane o poj. 3 i 10 kg do zamykania w azocie.

7.3.2. Opis procesu technologicznego produkcji granulatu i aglomeratu (rys. 7.4 i 7.5)

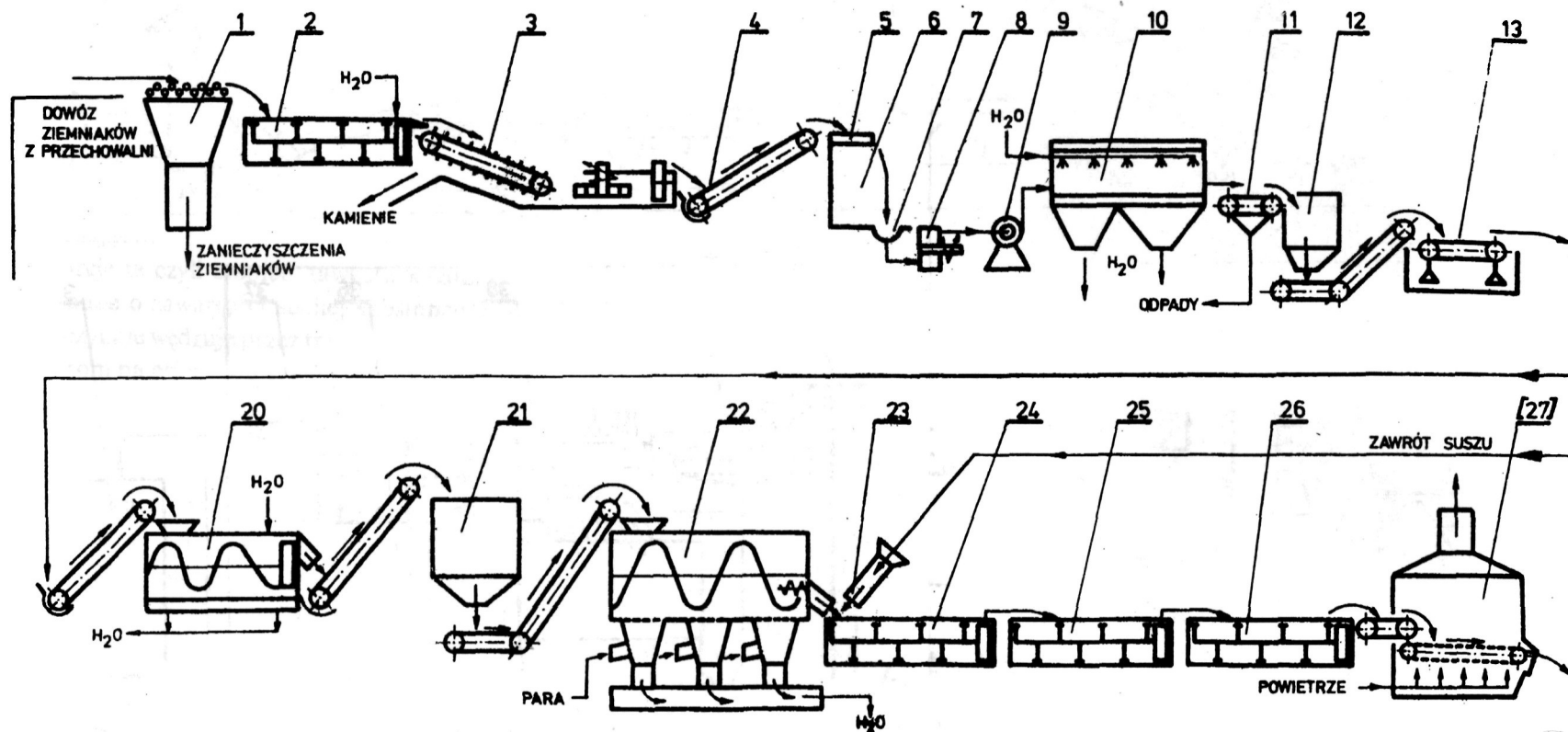
Ziemniaki są pobierane w przechowalni lub pomieszczeń tworzących zapas surowcowy i za pomocą strumienia wodnego są podawane spławiakami do zasobnika przed płuczką wstępną (2). Na tym odcinku ziemniaki są wynoszone za pomocą pompy wirowej (9) na poziom o wysokości około 7 m i odwadniane w wydzielonej komorze płuczki (10). Płuczka wstępna jest zwykle płuczką bębnowo-prętową ze spryskiwaniem ziemniaków strumieniem wodnym o dużym ciśnieniu (2 i 3). Po opuszczeniu płuczki (10) ziemniaki są przenoszone transporterem taśmowym (11) do zbiornika pośredniego (12) przez odcinek drogi kontrolnej dla dokonania selekcji eliminującej bulwy chore lub uszkodzone. Ze zbiornika pośredniego transporter taśmowy (13) kieruje ziemniaki do parownika obieraczki parowej (14) o działaniu ciągłym. Po drodze ziemniaki są ważone za pomocą automatycznej wagi taśmowej. Skuteczność działania parownika czyli grubość i stopień zmiękczenia warstewki uparowanej bulwy są regulowane szybkością obrotów ślimaka parownika oraz ciśnieniem pary. Ziemniaki opuszczające parownik dostają się do obłuparki wstępnej (15), którą powinna być obłuparka prętowo-bębnowa, a następnie do obłuparki szczotkowej (16), w której następuje dokładne usunięcie łupin wraz z rozmiękczoną warstewką przy udziale silnego strumienia wodnego.



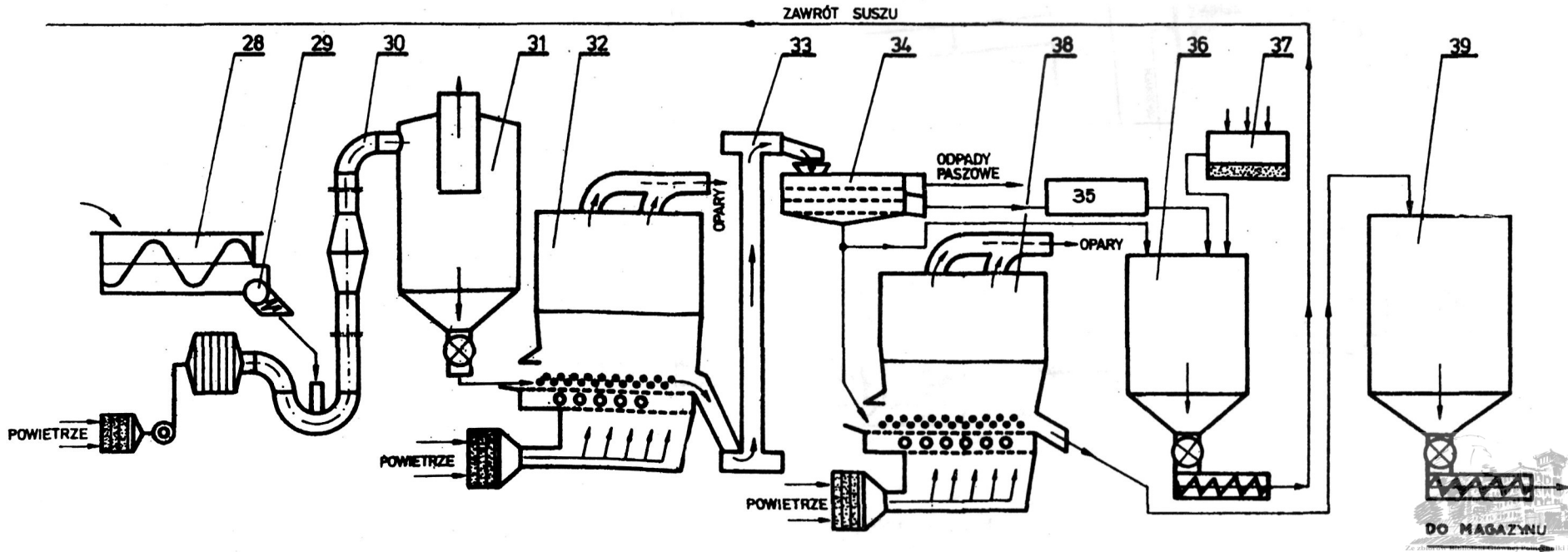
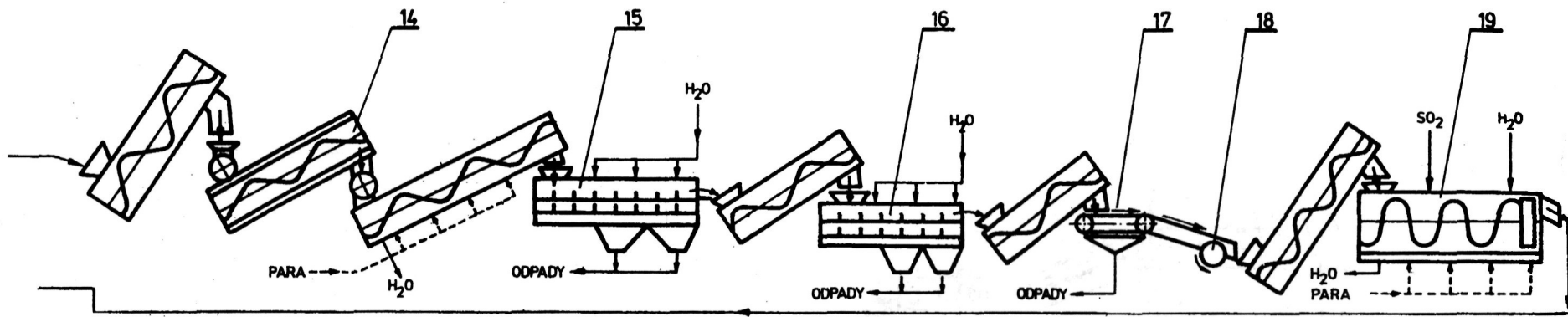
Rys. 7.4. Uproszczony schemat ideowy produkcji granulatu i aglomeratu

Obrane i umyte bulwy transporterem ślimakowym są kierowane na stół oczkownicy (17), gdzie są oczkowane oraz dokładnie selekcyjonowane, celem usunięcia części zepsutych lub zazielenionych. Wyselekcjonowane bulwy są

7-55 SCHEMAT TECHNOLOGICZNY PRODUKCJI GRANULATU ZIEMNIACZANEGO



Rys. 7.5. Schemat technologiczny produkcji granulatu ziemniaczanego



kierowane transporterem na krajalnicę krążkową (18) dla ujednolicenia wymiarów cząstek bulw poddawanych blanszowaniu. Blanszowanie grubo pokrojonych bulw odbywa się w gorącej wodzie za pomocą blanszownika ślimakowego (19) o działaniu ciągłym. Krajanka zanurzana jest w wodzie wypełniającej blanszownik (najlepiej z dodatkiem SO_2) o temperaturze 80–85°C i przebywa w tych warunkach 10–20 min. Po blanszowaniu krajanka jest wprowadzona do schładzalnika (20) wypełnionego zimną wodą (15–20°C) (ewentualnie z dodatkiem SO_2). Zupełne ochłodzenie krajanki trwa około 15 min. po czym jest ona kierowana do zasobnika (21) przed parowaniem. Gotowanie krajanki odbywa się w trzystopniowym parowniku ślimakowym (22) o działaniu ciągłym. Proces parowania odbywa się w parze o ciśnieniu 0,2 MPa w czasie 35–45 min. zależnie od odmiany przerabianych ziemniaków i pory roku. Uparowane ziemniaki są przekazywane przez ryżownik do pierwszego z trzech mieszalników korytowych (24), gdzie miazga jest mieszana z suchym granulem (23) (zawrotem) w stosunku wahającym się wokół proporcji 1 cz. świeżej miazgi na 2 cz. suchego zawrotu. Proporcje te czyli stopień zawrotu każdorazowo ustala się tak, aby uzyskać mieszkankę o zawartości suchej substancji 65–70%. Mieszanaka ziemniaczana samoczynnie wędruje przez trzy kolejne mieszalniki dzięki śrubowo ustawionym łopatom na osi mieszadeł. Po opuszczeniu mieszalników wilgotny i gruboziarnisty proszek ziemniaczany jest kierowany do schładzalnika (27), gdzie jest chłodzony do temperatury 35°C. Ochłodzony proszek ziemniaczany ze schładzalnika jest przekazywany do mieszalnika wtórnego (28) (remixer), gdzie przebywa co najmniej 30 min. i przy ciągłym mieszaniu podlega kondycjonowaniu. Ujednolicona wilgotność proszku w remixerze ustala się na poziomie 30%. Wilgotny proszek po kondycjonowaniu jest kierowany transporterem ślimakowym (29) do zasypu suszarni pneumatycznej (30) i jest suszony wstępnie do wilgotności 16–18%. Wylot suszarni pneumatycznej jest zakończony cyklonowym zasobnikiem (31), w którym następuje oddzielenie powietrza suszącego i gromadzenie wstępnie podsuszonego proszku przed suszarnią fluidyzacyjną. W drugim stopniu suszenia proszek z zasobnika cyklonowego jest kierowany do warstwy fluidalnej trzysekcyjnej suszarni fluidyzacyjnej (32). W pierwszych dwóch proszek jest suszony strumieniem gorącego powietrza o temp. 120°C, po czym w przenoszonej transporterem siatkowym warstwie fluidyzacyjnej następuje ochłodzenie proszku do temperatury około 30°C, w strumieniu zimnego powietrza trzeciej strefy suszarni, gdzie podsusza się jednocześnie do wilgotności suszu 10%. Po opuszczeniu suszarni fluidyzacyjnej surowy granulat, podlega następnie frakcjonowaniu. Sito (34) służące do frakcjonowania granulatu jest

trójpokładowym układem sit płaskich. Frakcjonowanie granulatu surowego przedstawia się następująco: najgrubsza frakcja czyli pozostałość na sicie pierwszym (≥ 4 mm) jest wyodrębniona jako frakcja paszowa. Frakcja średnia, czyli pozostałość na drugim sicie, jest poddawana aspiracji celem wydzielania z niej włókienek i innych odpadów (na paszę), a cząstki drobne tej frakcji są kierowane jako zawrót lub na paszę zależnie od przyjętego systemu regulowania jakości produktu. Przesiew z drugiego sita stanowiący pozostałość na trzecim sicie jest kierowany w całości do zwrotu. Granulat najdrobniejszy czyli przesiew z trzeciego sita ($\leq 0,25$ mm) kierowany jest do suszarni fluidalnej końcowego produktu. Jest to suszarko-chłodziarka (odpowiednio 1/3 i 2/3), gdzie produkt podsusza się w strumieniu powietrza o temp. $65 - 80^{\circ}\text{C}$, a następnie w strumieniu zimnego powietrza do wilgotności 6–8%. Produkt gotowy nadaje się do pakowania, względnie służy jako surowiec główny do produkcji aglomeratu. Produkt ten jest gromadzony i przechowywany w silosach w atmosferze azotu.

Podczas produkcji granulatu środki pomocnicze (antyutleniacze, spulchniacze itp.) dodawane są do uparowanej miazgi ziemniaczanej razem z zawrotem suszu (37), w postaci sypkiego koncentratu o składzie: 350 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, 10 g BHA, 6,5 kg dimodanu w 1 Mg granulatu.

Otrzymywanie aglomeratu polega na zwilżeniu granulatu cieczą aglomerującą i aglomerującym wysuszeniu zwilżonego proszku w suszarni fluidyzacyjnej. Surowy aglomerat podlega frakcjonowaniu, w wyniku którego jako końcowy produkt zbiera się frakcję o rozdrobnieniu 0,6 – 1,0 mm. Pozostała frakcja, głównie cząstki drobniejsze, znajdują się w obiegu kołowym procesu aglomeracji.

Proces technologiczny aglomeracji granulatu składa się z następujących etapów:

- przygotowanie cieczy do aglomeracji,
- doprowadzenie i dozowanie bazowego granulatu,
- aglomeracyjne suszenie w warstwie fluidalnej przy jednoczesnym rozpyleniu cieczy aglomerującej na warstwę fluidalną,
- frakcjonowanie i pakowanie produktu.

Etap pierwszy, czyli przygotowanie cieczy aglomerującej polega na sporządzeniu, wodnego roztworu mleka sproszkowanego oraz wodorosiarczynu sodowego, względnie $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$. Obok wodnego roztworu, przygotowuje się podgrzane tłuszcze, czyli olej roślinny i olejowy koncentrat przyprawy maślanej. Składniki ciekłe, tj. roztwór mleka i oleje są pobierane ze zbiorników przez specjalną pompę, w której zostają zhomogenizowane tworząc trwałą emulsję. Emulsja przez tę samą pompę jest doprowadzana do układu rozpylającego, złożonego z pompy sprężającej i systemu dysz rozpylających ją tuż nad warstwę fluidalną aglomerowego granulatu w postaci mgły. Rozpylana emulsja umożliwia ciągle doprowadzenie składników ciekłych do granulatu podczas aglomeracji w następujących proporcjach (skład wybrany przykładowo z wielu możliwych):

- przyprawa maślana – 13 g/min,
- olej – 180 g/min,
- mleko (suche) – 1060 g/min,
- SO_2 – 1,1 g/min,
- woda – 3,3 kg/min,
- granulat – 18,2 kg/min.

Granulat do aglomeracji w suszarni fluidyzacyjnej jest doprowadzany i dozowany za pomocą transportera ślimakowego.

Zestawienie stosowanych parametrów technologicznych

- Obieranie parowe (parownik) temp. 150–160°C, ciśn. 1 MPa, czas 30 – 120 s,
- temperatura i czas blanszowania 80–85°C, 10–20 min,
- nadciśnienie pary podczas parowania 0,2 MPa, czas parowania około 30 min,
- stopień zawrotu 1 cz. świeżej masy + 2 cz. suszu,
- temperatura powietrza suszącego w pneumatyku 160°C na wlocie, 80°C na wylocie
- temperatura powietrza suszącego warstwę fluidalną 120°C, 65 – 80°C,
- rozdrobnienie granulatu < 0,25 mm,
- rozdrobnienie aglomeratu 0,6–1,0 mm.

Charakterystyka normalizacyjna produktów

a) granulatu:

- wilgotność 6,0–8,0%,
- zawartość SO_2 do 125 mg/kg,
- zawartość glicerydów do 0,5%,
- BHA do 10 mg/kg,
- smak – właściwy dla puree ziemniaczanego,
- tekstura – suchy, puszysty proszek, nie kleikujący w zimnej wodzie,
- granulacja – $\phi = 0,25$ mm,
- kolor kremowy do żółtego,
- masa nasypowa – 0,85–1,0 g/cm³,
- zanieczyszczenia – do 35 pstrocin na powierzchni 30 cm²,

b) aglomeratu:

- wilgotność 6,0–0,8%,
- zawartość granulatu w s.s. 92,8%,
- zawartość odtłuszczonego mleka w s.s. 6,0%,
- zawartość oleju roślinnego w s.s. 1,0%,

- zawartość przyprawy maślanej 0,15%,
- zawartość SO_2 do 125 mg/kg,
- BHA do 10 mg/kg,
- smak – zbliżony do świeżego puree ziemniaczanego,
- tekstura – równomiernie ukształtowany proszek, puszysty, pozbawiony tendencji do kleistości,
- granulacja – $\phi = 0,6 - 1,0$ mm,
- kolor – kremowy do żółtego,
- masa nasypowa 0,42–0,55 g/cm³,
- zanieczyszczenia do 30 pstrocin na powierzchni 30 cm².

Wykaz urządzeń technologicznych do produkcji granulatu i aglomeratu

- 1 – odsiewacz rolkowy (do suchego oczyszczania ziemniaków),
- 2 – płuczka wstępna (korytowa),
- 3 – płuczka z łapaczem kamieni,
- 4 – transporter ukośny wynoszący,
- 5 – transporter poziomy rozprowadzający ziemniaki do zbiorników,
- 6 – zbiornik ziemniaków,
- 7 – spławiak,
- 8 – dozownik kołowy ziemniaków,
- 9 – pompa do ziemniaków,
- 10 – płuczka bębnowo-prętowa ziemniaków,
- 11 – stół kontrolny,
- 12 – zbiornik pośredni z podnośnikiem dozującym.
- 13 – waga taśmowa z rejestratorem,
- 14 – obieraczka parowa o działaniu ciągłym,
- 15 – obłupiarz I, piętrowo-bębnowa,
- 16 – obłupiarz II, szczotkowa,
- 17 – stół oczkownicowy,
- 18 – krajalnica krążkowa,
- 19 – blanszownik ślimakowy o działaniu ciągłym,
- 20 – schładzalnik,
- 21 – zbiornik kompensacyjny przed gotowaniem,
- 22 – parownik trzystopniowy o działaniu ciągłym ze ślimakiem dozującym ugotowane ziemniaki do mieszalnika,
- 23 – ślimakowy dozownik zawrotu,
- 24 – mieszalnik I ziemniaków ugotowanych i zawrotu,

- 25 – mieszalnik II,
- 26 – mieszalnik III – schładzacz proszku ziemniaczanego,
- 27 – schładzacz proszku ziemniaczanego,
- 28 – transporter ślimakowy (remixer),
- 29 – ślimak podający proszek ziemniaczany do suszarni pneumatycznej,
- 30 – suszarka pneumatyczna (suszenie wstępne),
- 31 – cyklonowy zasobnik u wylotu z suszarni pneumatycznej,
- 32 – suszarko-chłodziarka fluidyzacyjna,
- 33 – podnośnik suchego produktu,
- 34 – sita sortujące granulát,
- 35 – aspiratory do oddzielania włókien,
- 36 – zbiornik suszu przeznaczonego do zawrotu,
- 37 – dozownik dodatków na suchy koncentrat zawrotu,
- 38 – suszarko-chłodziarka fluidyzacyjna granulatu,
- 39 – zbiornik.

7.4. Otrzymywanie suszonej miazgi ziemniaczanej (Technologia projektowana)

Produkcja suszu z ziemniaków surowych, odbywa się w szczególności przez suszenie krajanki z przeznaczeniem jej po wysuszeniu na tzw. grysik stosowany w charakterze surowca i komponentu wielu środków żywności opartych na bazie ziemniaków. Proces suszenia krajanki ziemniaczanej jest procesem bardzo energochłonnym z dwóch zasadniczych powodów. Po pierwsze dlatego, że podczas suszenia krajanki ziemniaków surowych należy odparować dużą ilość wody, sięgającą 75% materiału suszonego. Po drugie, duże zużycie ciepła na wysuszenie krajanki ziemniaczanej konieczne jest dlatego, że suszeniu poddaje się materiał uwodniony przy małym stopniu rozdrobnienia, czyli przy stosunkowo małym rozwinięciu powierzchni. Trudność, a za tym długotrwałość procesu suszenia krajanki wynika z konieczności wydobycia wilgoci z głębokich warstw materiału na powierzchnię. Dodatkową trudnością, przedłużającą czas suszenia krajanki, jest tworzenie się w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury, zwartej zewnętrznej warstewki, trudno przepuszczającej wodę z wnętrza na powierzchnię krajanki.

Biorąc pod uwagę czynniki utrudniające przebieg procesu suszenia ziemniaków surowych w formie krajanki autorzy przeprowadzili badania nad wprowadzeniem nowej technologii otrzymywania suszu, która pozwoliłaby na zmniejszenie dolegliwości wymienionych czynników i usprawniła proces suszenia.



W wyniku przeprowadzonych badań proponuje się otrzymywanie sproszkowanego suszu ziemniaków surowych powstającego w wyniku dyspersyjnego suszenia wstępnie odwodnionej przez wirowanie miazgi ziemniaczanej.

Przebieg procesów technologicznych otrzymywania sproszkowanego suszu ziemniaczanego przedstawia się następująco. Umyte i obrane bulwy ziemniaczane poddaje się krojeniu ujednolicającemu. Grubą krajankę poddaje się słabemu blanszowaniu w temperaturze 80°C przez 2–5 min. w wodzie z dodatkiem SO₂. Zblanszowaną krajankę rozdrabnia się na miazgę o maksymalnych wymiarach cząstek nieprzekraczających 2–3 mm. Rozdrobnienie takie uzyskuje się za pomocą zmodyfikowanej tarki ziemniaczanej, czyli zaopatrzonej w odpowiednio rzadsze od stosowanego zazwyczaj sita. Uzyskiwaną w ten sposób miazgę ziemniaczaną należy natychmiast zakwaszyć do pH = 4,8–5,0 za pomocą roztworu kwasu siarkawego (SO₂) celem zabezpieczenia miazgi przed ciemnieniem oraz celem skoagulowania części białka rozpuszczonego w soku ziemniaczanym po to, aby można było zmniejszyć straty substancji białkowych podczas mechanicznego odwadniania miazgi przed suszeniem. Zakwaszoną miazgę poddaje się wirowaniu za pomocą wirówki sedymentacyjnej, usuwając znaczną ilość wody w postaci soku, a przez to zwiększa się zawartość suchej substancji miazgi do około 40%. Przed suszeniem wstępnie odwodnioną miazgę miesza się z otrzymanym wcześniej sproszkowanym suszem, jako zawrotem w stosunku wagowym 1:1. Po zmieszaniu mokrej miazgi z zawrotem otrzymuje się wilgotny proszek, nadający się do suszenia dyspersyjnego w suszarni fontannowej. Suszenie w suszarni fontannowej odbywa się przy temperaturze powietrza 130–140°C, przy optymalnym obciążeniu suszarni do zawartości wody w produkcie 9–10%. Wysuszony proszek jest gotowym produktem, nadającym się do długotrwałego przechowywania i służącym do wytwarzania wielu potraw ziemniaczanych, podobnie jak produkowany obecnie grysik ziemniaczany.

Bilans cieplny i materiałowy procesu suszenia krajanki ziemniaczanej w suszarni taśmowej wykazuje konieczność zużycia 26 MJ ciepła na jeden kg suszu o zawartości 10% wilgoci, podczas gdy suszenie częściowo odwodnionej miazgi w strumieniu gorącego powietrza za pomocą suszarni fontannowej wymaga ciepła w ilości około 5,5 MJ na 1 kg suszu, czyli około pięć razy mniej. Otrzymany wg nowej technologii susz jest tylko nieznacznie zubożony w substancje rozpuszczone w części oddzielonego mechanicznie soku.

8. GOSPODARKA WODNO-ŚCIEKOWA ZAKŁADU PRODUKUJĄCEGO SPOŻYWCZE SUSZE ZIEMNIACZANE

Produkcja spożywczych suszów ziemniaczanych narzuca bardzo wysokie wymagania w zakresie gospodarki wodno-ściekowej.

W zakresie wód technologicznych zakład powinien posiadać pozwolenie wodno-prawne na pobór wód powierzchniowych z rzeki co najmniej $8000 \text{ m}^3/\text{d}$ oraz pozwolenie wodno-prawne na pobór wód podziemnych ze studni głębinowej w ilości co najmniej $600 \text{ m}^3/\text{d}$ dla wybranych celów technologicznych. Zależnie od źródła zaopatrzenia zakładu w wodę oraz od jej jakości stosuje się odpowiednie metody i urządzenia do uzdatniania wody na terenie zakładu. Ze względu na napięty bilans wodny w kraju zakład powinien w maksymalnym zakresie stosować obieg kołowy wody, zwłaszcza wody używanej do mycia i płukania. Ujęcie wody powierzchniowej wraz ze stacją uzdatniania lokalizuje się zwykle nad rzeką. Woda ujmowana z nurtu rzeki spływa do studni zbiorczej, skąd pompuje się ją na filtry pośpieszne. Filtry te o średnicy około 2,5 m są wyposażone w tzw. dno sitowo-szczelinowe, zasypane złożem żwirowo-piaskowym. Oprócz filtrów stacja uzdatniania wyposażona jest w chlorator, który umożliwia chlorowanie wody w studni zbiorczej. Woda uzdatniona jest kierowana do zbiornika na terenie zakładu. Woda ze studni głębinowych jest przepompowywana do zbiornika napowietrzenia, a następnie odżelaziania, po czym kieruje się ją do wybranych celów technologicznych (jako składnik żywności).

W celu określenia parametrów jakościowych oraz efektów uzdatniania wody dokonuje się okresowo analizy próbek wody czerpanej z ujęcia przed — i po uzdatnieniu. Analiza musi obejmować wskaźniki mikrobiologiczne oraz zawartość wolnego chloru i jonów żelaza. Woda przeznaczona do celów technologicznych musi spełniać warunki określone parametrami wody przeznaczonej do picia, a mianowicie:

- zawartość azotynów i amonu — brak,
- zawartość fosforanów, chloru, siarczanów i azotanów mniej niż $30 \text{ mg}/\text{dm}^3$,
- zawartość żelaza mniej niż $0,05 \text{ mg Fe}/\text{dm}^3$,
- utlenialność wody nie większa niż $3 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$,
- twardość ogólna od 5 — 15°N .

W zakresie gospodarki ściekowej zaleca się prowadzenie rozluźnionego obiegu wodno-ściekowego; osobno dla ścieków powstających z mycia i płukania oraz osobno ścieków technologicznych. Wynika to ze zróżnicowanych wymagań co do czystości tych wód oraz z tego, że wody płuczkowe mogą być bardzo łatwo regenerowane i po uzdatnieniu powinny być używane wielokrotnie natomiast ścieki technologiczne powinny być po oczyszczeniu usuwane poza teren zakładu i tylko w wyjątkowych przypadkach mogą być powtórnie użyte. Rozdzielny obieg tych dwu rodzajów ścieków pozwala zatem na łatwiejsze ich oczyszczanie oraz na bardzo znaczne oszczędności zużycia wody. Drugą generalną zasadą obowiązującą w gospodarce wodno-ściekowej jest konieczność oczyszczenia własnych ścieków przed ich wypuszczeniem do wód otwartych. Przy czym ważne jest, aby miejsce spuszczenia oczyszczonych ścieków do rzeki było zlokalizowane w górnym biegu rzeki w stosunku do własnego ujęcia i stanu ścieków odprowadzonych do rzeki.

Ustalenia te określają ilość i skład ścieków dopuszczonych do wyprowadzenia ich z zakładu do wód otwartych są one określone następującymi warunkami głównymi:

- temperatura do 30°C ,
- $\text{pH} = 5-9$,
- BZT_5 do $700 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$,
- sucha pozostałość do $2000 \text{ mg}/\text{dm}^3$,
- zawiesina ogólna do $1000 \text{ mg}/\text{dm}^3$.

W zakładzie produkującym spożywcze susze ziemniaczane powstają następujące rodzaje ścieków:

a) ścieki spławiakowe i płuczkowe — z transportu hydraulicznego i płukania surowca; posiadają one zanieczyszczenia głównie mineralne takie jak: piasek, kamienie oraz inne komponenty ziemne; ilość tych ścieków bez stosowania obiegu kołowego wynosi około $8-10 \text{ m}^3/\text{Mg}$ ziemniaków,

b) ścieki technologiczne — powstałe w toku produkcji przy: obieraniu, płukaniu obranych ziemniaków, blanszowaniu, schładzaniu i parowaniu ziemniaków, ilość tych ścieków wynosi również około $6-10 \text{ m}^3/\text{Mg}$ przerabianych ziemniaków;

c) ścieki „higieniczne” — powstające w wyniku mycia pomieszczeń produkcyjnych oraz aparatów w ilości $2 \text{ m}^3/\text{Mg}$ przerabianych ziemniaków; ścieki te ze względu na ich charakter muszą być w zasadzie traktowane jako ścieki technologiczne.



Warunkiem prawidłowej i bezpiecznej dla środowiska pracy zakładu produkującego spożywcze susze ziemniaczane jest posiadanie i prawidłowa eksploatacja biologicznej oczyszczalni ścieków. Ze względu na ilość oraz zawartość w nich substancji azotowych i węglowodanów ścieki opuszczające wytwórnię suszów ziemniaczanych mogą być skutecznie oczyszczone jedynie na drodze kompleksowej fermentacji metanowej.



9. LITERATURA

- [1] **American Potato Co.:** Agglomerates of Potato Particles, pat. bryt. nr 1.274.864, 1972.
- [2] **Augustin J. i in.:** Changes in nutrient composition of dehydrated potato products during commercial processing. *J. Food Sci.* 1979, 41, 216–219.
- [3] **Augustin J.:** Variations in the nutritional composition of potatoes. *J. Food Sci.*, 1975, 40, 1295–1299.
- [4] **Augustin J.:** Vitamin composition of freshly harvested and stored potatoes. *J. Food Sci.* 1978, 43, 5, 1566–70.
- [5] **Bathke K., Köcrotz T., Pöthe E.:** Der Schwund bei der Lagerung von Kartoffel und seine Ursachen. *Agrartechnik* 1975, 25, 7, 328–333.
- [6] **Bielarz K.:** Skład i wartość ziemniaka i uszlachetnionych produktów spożywczych z ziemniaka. *Inf. Prz. Ziem.* 1968, 1, 56–62.
- [7] **Bielarz H., Gładkowski J.:** Spożywcze produkty z ziemniaka. *Przem. Spoż.* 1978, 32, 48–51.
- [8] **Boruch M., Skalski J., Kokuszko Z.:** Otrzymywanie suszów ziemniaczanych. *Zesz. Nauk. PŁ, Chemia Spoż.* 1976, 249, 28, 5–25.
- [9] **Boruch M., Nowakowska K.:** Sposób wytwarzania suszu spożywczego z surowych ziemniaków. Pat. PRL nr 136584, 31.03.87 r.
- [10] **Bremer K.:** Zukunftsträchtige Kartoffel – Veredlung – industriemehr als 100 Kartoffelfertigprodukte. *Kartoffelbau* 1979, 30, 3, 83–84.
- [11] **Fanke F.:** Über den Vitamin C – Gehalt in Konservierten Kartoffeln, *Ernährungs-Umschau* 1972, 19, 4, 118–119.
- [12] **Filonienko G.K., Lebiediew P.D.:** Urządzenia suszarnicze. PWT, W-wa 1956.
- [13] **Ginzburg A.S., Riezczykow W.A.:** Suszenie produktów spożywczych metodą fluidyzacji. WNT, W-wa 1969, s. 174.
- [14] **Горун Э.Г.:** Исследование химического состава и пищевой ценности хрустящего картофеля. *Консервн. Овощесуш. Пром.* 1979, 7, 42–44.
- [15] **Горун Э.Г.:** Семинар по обмену опытом производства сухого картофельного пюре. *Консервн. Овощесуш. Пром.* 1973, 1, 42–43.
- [16] **Горун Э.Г. и др.:** Влияние метода очистки картофеля на содержание углеводов. *Консервн. Овощесуш. Пром.* 1974, 29, 2, 39–41.
- [17] **Hoffman R.:** Kontinuierliche Gefriertrocknung granulierfähiger Lebensmittel. *Die Lebensmittel-Industrie* 1975, 22, 7, 297–303.
- [18] **Horubała A.:** Skład chemiczny ziemniaków, a ich przydatność dla przetwórstwa ziemniaczanego. *Przem. Spoż.* 1978, 11, 405–407.
- [19] **Кацай Б.Э., Кочетова Л.Т.:** Физикохимические изменения картофеля при очистке паром. *Консервн. Овощесуш. Пром.* 1974, 2, 22–25.



- [20] **Kołodziej Z.:** Wpływ zawartości skrobi i fityny na dezintegrację tkanki bulwy ziemniaka podczas gotowania. *Roczniki Techn. i Chem. Żywn.* 1974, 34, 309–319.
- [21] **Kubicki K., Polczyński R., Herse T.:** Nowoczesne przechowywanie ziemniaków. PWRiL W-wa 1968.
- [22] **Kujawa S., Żelechowska G.:** Surowiec do produkcji spożywczych przetworów z ziemniaka. *Przem. Spoż.* 1972, 26, 6, 257–259.
- [23] **Lisińska G.:** Suszenie bulw ziemniaczanych przez liofilizację. *Zesz. Nauk. AR Wrocław* 1977, 9, 3–5.
- [24] **Le Tourneau D.I., Zachringer M.V.:** Constituents of the potato tuber and their relation to texture. *Res. Bull. 64. Univ. of Idaho, Coll. of Agric.* 1965.
- [25] **Mica B.:** Einfluss des Verhältnisses von Stärke zu anderen Inhaltsstoffen auf den Gerschmack von Kartoffeln. *Die Stärke* 1978, 30, 313–315.
- [26] **Niewiara A.:** Techniczno-ekonomiczne uzasadnienie wyboru metody obierania ziemniaków przy produkcji suszów jadalnych. *Biul. Inf. Przem. Ziem. Poznań* 1970, 7, 59–66.
- [27] **Praca zbiorowa:** Maszyny i urządzenia dla przemysłu spożywczego. Katalog. Spomasz, W.P. Masz., W-wa 1979, t.V.
- [28] **Praca zbiorowa:** Technologia przetwórstwa ziemniaczanego. WNT. W-wa 1972.
- [29] **Schmidt Th.:** Ernährungsphysiologische Bedeutung von Speisekartoffeln. *Kartoffelbau*, 1973, 24, 7–9.
- [30] **Schulten H.:** Verfahren zur tafelfertigen Bereitung von Püree, insbesondere Kartoffelpüree. *Pat. RFN* 2.648.376, 1976.
- [31] **Schwimmer S., Burr H.K.:** Structure and chemical composition of the potato tuber. *Pot. Handbook*, 1967, 12, 42–45.
- [32] **Strumillo Cz.:** Podstawy teorii i techniki suszenia. WNT, W-wa 1983.
- [33] **Шуб Л.П., Гупалё И.И.:** Исследование процесса сушки замороженного картофельного пюре. *Консервн. Овощесуш. Пром.* 1978, 12, 17–19.
- [34] **Topolska J.:** Uszlachetnione wyroby z ziemniaków. *Przegląd gastronomiczny* 1967, 5, 17–19.
- [35] **Wilka-Jeszka J., Boruch M.:** Straty witaminy C w procesie otrzymywania suszu ziemniaczanego. *Zesz. Nauk. PŁ, Chemia Spoż.* 1979, 295, 33, 104–110.
- [36] **Wojtuch J.:** Przetwórstwo przemysłowe ziemniaków jadalnych i ich spożycie. *Nowe Rolnictwo* 1969, 14, 33–35.
- [37] **Zachringer M.V. i in.:** Cooking quality of some Dutch potato varieties. *Europ. Potato. J.*, 1969, 12, 225–237.



76964/S



Za zbiorów Biblioteki Głównej Politechniki Łódzkiej





