

SKRYPTY DLA SZKÓŁ WYŻSZYCH
POLITECHNIKA ŁÓDZKA

MIECZYŚLAW BORUCH, BOGUSŁAW KRÓL

**PROCESY
TECHNOLOGII ŻYWNOŚCI**

ŁÓDŹ 1993

NAKŁADEM POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ



**Skrypt jest przeznaczony dla studentów III roku
Wydziału Chemii Spożywczej PŁ.**



1606/W

Recenzent: prof. dr hab. Jan Dobrzycki

Redaktor: Krzysztof Jabłonowski

Redaktor techniczny: Krzysztof Świerzyński

**WYDAWNICTWO POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ
93-005 Łódź, ul. Wólczajska 223**

Nakład 260 + 40. Ark. wyd. 13,5. Ark. druk. 16,0. Papier offset. 60g 61 x 86.
Maszynopis wpłynął do Redakcji 11 VIII 1990. Okładano do składu 14 V 1992 r.
Podpisano do druku 7 IX 93 r. Druk ukończono we wrześniu 1993 r.

Zamówienie 70/93. Cena zł. 44 000,–

Wykonano w C.G.M. SA. 93-005 Łódź, ul. Wólczajska 223



SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA.....	5
1. WPROWADZENIE DO TECHNOLOGII ŻYWNOSCI.....	7
1.1. Podstawowe definicje oraz cechy technologii żywności.....	7
1.2. Baza surowcowa przemysłu spożywczego.....	11
1.2.1. Charakterystyka podstawowych surowców węglowodanowych i ich przemysłowe zagospodarowanie.....	13
1.3. Kryteria jakości produktów żywnościowych.....	17
1.4. Podstawowe zasady technologiczne.....	25
1.5. Procesy cieplne w technologii żywności.....	34
1.5.1. Wpływ temperatury na żywność.....	35
1.5.2. Rodzaje operacji cieplnych w technologii żywności.....	37
2. PODSTAWOWE PROCESY W TECHNOLOGII ŻYWNOSCI.....	46
2.1. Procesy mechaniczne.....	46
2.1.1. Rozdrabnianie.....	46
2.1.2. Mieszanie.....	61
2.1.3. Rozdzielanie mieszanin.....	67
2.2. Procesy wymiany ciepła i masy.....	95
2.2.1. Ogrzewanie i chłodzenie materiałów.....	95
2.2.2. Zagęszczanie roztworów.....	110
2.2.3. Suszenie materiałów.....	118
2.2.4. Ekstrakcja.....	129
2.2.5. Krystalizacja.....	132
2.2.6. Procesy sorpcyjne.....	138
2.2.7. Destylacja i rektyfikacja.....	142
2.2.8. Jonitacja.....	145
2.3. Procesy chemiczne.....	149
2.3.1. Procesy hydrolizy.....	149
2.3.2. Procesy utleniania.....	152
2.3.3. Procesy uwodorniania (redukcji).....	154
3. METODY UTRWALANIA ŻYWNOSCI.....	156
3.1. Wiadomości wstępne.....	156
3.2. Zahamowanie rozwoju drobnoustrojów.....	157
3.3. Zniszczenie drobnoustrojów.....	158
3.4. Usuwanie drobnoustrojów.....	159
3.5. Utrwalanie żywności przez zamrażanie.....	159
3.6. Termiczne (cieplne) utrwalanie żywności.....	166



3.6.1. Kryteria inaktywacji.....	168
3.6.2. Technologia puszkowania (apertyzacji).....	174
3.6.3. Technologia sterylizacji przepływowej metodą UHT.....	176
3.7. Osmoaktywne utrwalanie żywności.....	179
4. WYBRANE DZIAŁY PRZEMYSŁU SPOŻYWCZEGO (PRZYKŁADY).	182
4.1. Cukrownictwo.....	182
4.1.1. Skrócony opis procesów technologicznych otrzymywania cukru z buraków.....	182
4.1.2. Otrzymywanie preparatu błonnikowego „Pectocel” z wysłodków buraczanych.....	188
4.2. Przemysł ziemniaczany.....	190
4.2.1. Skrócony opis procesów technologicznych produkcji skrobi ziemniaczanej.....	190
4.2.2. Spożywcze susze ziemniaczane.....	193
4.2.3. Hydrolizaty skrobi.....	195
4.3. Przemysł cukierniczy.....	200
4.3.1. Otrzymywanie czekolady.....	200
4.3.2. Otrzymywanie produktów karmelarskich.....	204
4.4. Chłodnictwo żywności.....	206
4.4.1. Chłodnicze utrwalanie żywności.....	207
4.4.2. Technologia produkcji mrożonej żywności.....	210
4.5. Biotechnologia żywności.....	214
4.5.1. Piekarstwo.....	214
4.5.2. Piwovarstwo.....	216
4.5.3. Gorzelnictwo i drożdżownictwo.....	218
4.5.4. Mleczarstwo.....	220
5. WSPÓLCZESNE KIERUNKI ROZWOJU TECHNOLOGII ŻYWNOSCI POCHODZENIA ROŚLINNEGO.....	226
5.1. Zwiększenie i ulepszenie produkcji roślinnej.....	226
5.2. Udoskonalanie i unowocześnianie procesów technologicznych.....	229
5.2.1. Procesy membranowe.....	230
5.2.2. Procesy chromatograficzne.....	236
5.2.3. Instancyzacja.....	240
5.2.4. Mikrokapsułkowanie.....	243
5.2.5. Teksturyzacja.....	244
5.2.6. Niektóre kierunki rozwoju przemysłu spożywczego w krajach wysokoprzemysłowych.....	245
LITERATURA.....	252



PRZEDMOWA

Skrypt pt. „Procesy Technologii Żywności” zawiera elementarne wiadomości z zakresu technologii żywności, stanowiących podstawę zawodowej działalności inżyniera technologa w przemyśle spożywczym. Skrypt jest adresowany do studentów Wydziału Chemii Spożywczej Politechniki Łódzkiej kierunku technologii chemicznej i biotechnologicznej, którzy po raz pierwszy stykają się z zagadnieniami przemysłowego przetwarzania surowców w żywność.

Celem skryptu jest przybliżenie studentom ogólnej problematyki dotyczącej technologii przetwórstwa i utrwalania żywności oraz zapoznanie z podstawowymi procesami technologicznymi występującymi w różnych odmianach wukierunkowanych technologiach specjalistycznych. Skrypt może być traktowany jako uzupełnienie wykładów i zajęć laboratoryjnych z dziedziny technologii żywności i przedmiotów pokrewnych w początkowym etapie kształcenia technologów żywności różnych specjalizacji.

Skrypt podzielony jest na pięć rozdziałów. W rozdziale pierwszym przedstawiono ogólne informacje o procesach technologicznych i głównych zadaniach przemysłu spożywczego. Drugi rozdział zawiera przegląd najważniejszych procesów jednostkowych występujących w różnych gałęziach przemysłu spożywczego. Szczególną uwagę w tej części zwrócono na sposób prowadzenia licznych i różnorodnych procesów jednostkowych oraz na potrzebę ich usystematyzowania według odpowiednich kryteriów. W rozdziale trzecim przedstawiono przykłady najważniejszych metod utrwalania żywności z uwzględnieniem ich zalet i wad. Podkreślono ważną rolę skutecznego zabezpieczenia żywności w efektywnym zagospodarowaniu nietrwałych środków żywności. Rozdział IV stanowi zbiór przykładowo wybranych technologii przemysłu spożywczego. Zaakcentowano praktyczne wykorzystanie po



szczególnych procesów jednostkowych skupionych w określonym procesie technologicznym do osiągnięcia wyznaczonych celów produkcyjnych. W rozdziale piątym zarysowano perspektywy i aktualne kierunki rozwoju technologii żywności pochodzenia roślinnego w Polsce.

Autorzy zdają sobie sprawę, że skrótowe i nazbyt encyklopedyczne przedstawienie materiału jest poważnym uchybieniem, które jest trudne do uniknięcia ze względu na rozległość tej dziedziny wiedzy. Autorzy żywią nadzieję, że skrypt, mimo uchybień i usterek, umożliwi studentom rozszerzenie wiedzy oraz przyczyni się do zwiększenia kręgu osób zainteresowanych nowoczesnym przetwórstwem żywności.

Autorzy



1. WPROWADZENIE DO TECHNOLOGII ŻYWNOŚCI

1.1. Podstawowe definicje oraz cechy technologii żywności

Technologia jest działem nauki o sposobach wytwarzania produktów z określonych surowców z zachowaniem podstawowych praw natury. W związku z tym technologia żywności jest działem technologii o sposobach wytwarzania żywności i przemianach chemicznych, biochemicznych, fizycznych i biologicznych jakie zachodzą w toku przetwarzania surowców żywnościowych w gotowe produkty.

Żywnością nazywa się wszelkie produkty pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, które w stanie naturalnym lub po obróbce przemysłowej bądź kulinarnej stają się pożywieniem człowieka. Wśród surowców roślinnych główną rolę odgrywają nasiona zbóż i roślin strączkowych oraz owoce, warzywa i okopowe. W zakresie surowców zwierzęcych podstawowe znaczenie mają: tkanka mięśniowa, tkanka tłuszczowa, mleko i jajka.

Proces technologiczny jest to zespół celowych i ukierunkowanych technologicznie przekształceń surowców w produkty lub półprodukty. Znamioną cechą technologii żywności jest, jak dotychczas to, że dominują w niej procesy technologiczne o charakterze przetwórczym, które polegają na przekształcaniu nietrwałych surowców naturalnych w artykuły spożywcze, mające cechy bezpośredniej przydatności do spożycia lub wymagające jedynie prostego kulinarnego ich przygotowania. Uzasadnione jest jednak oczekiwanie, że w niedalekiej przyszłości



wzrośnie znaczenie procesów wytwórczych, w których np. w drodze biosyntezy powstaną nowe wartościowe produkty żywnościowe lub dodatki do żywności.

Innymi swoistymi cechami technologii żywności są jej różnorodność i często sezonowość, które wynikają z dużej liczby surowców, ich zróżnicowanego składu i właściwości oraz możliwości wytwarzania produktów końcowych o różnym stopniu przetworzenia. Z tych względów procesy technologiczne są znacznie zróżnicowane pod względem jakościowym, tj. stopnia złożoności, oraz ilościowym, tj. ich liczebności. Ze względu na organizację produkcji, złożone procesy technologiczne mogą być dzielone na odpowiednie procesy oddziałowe. Przykładowo w cukrownictwie złożony proces technologiczny otrzymywania cukru białego jest podzielony na dwa oddziały: oddział surowni i oddział produktowni. Podobnie ze względów organizacyjnych można wyodrębnić w jednym zakładzie produkcyjnym sezonowe procesy technologiczne, dotyczy to zwłaszcza zakładów w przemyśle owocowo-warzywnym. W tym przypadku w tym samym oddziale zakładu przetwarza się kolejno różne owoce i warzywa zgodnie z terminami ich pełnej przydatności technologicznej.

Ze względu na naturę zjawisk występujących w procesie technologicznym, proces ten daje się rozbić na szereg procesów jednostkowych. W procesach technologii żywności wyróżnia się następujące procesy jednostkowe:

a) mechaniczne, których podstawą jest mechaniczne oddziaływanie siły na materiały: rozdrabnianie, prasowanie itp.,

b) hydrodynamiczne, których podstawą jest działanie ciśnienia na płyny: filtracje, sedymentacja, przepływ płynów,

c) cieplne, w których podstawowym zjawiskiem jest zmiana stanu cieplnego substancji, a siłą napędową jest różnica temperatur: ogrzewanie, chłodzenie, odparowanie,

d) wymiany masy, w których podstawowym zjawiskiem jest ruch masy między fazami, a siłą napędową różnica stężeń: adsorpcja, suszenie, ekstrakcja,

e) termodynamiczne, które są określane prawami termodynamiki,

f) chemiczne, których podstawą są przemiany chemiczne: hydroliza, neutralizacja, utlenianie,

- g) biochemiczne, których podstawą są procesy mikrobiologiczne i enzymatyczne: fermentacja, enzymatyczne utlenianie,
- h) fizykochemiczne, których podstawą są procesy fizykochemiczne, powstawanie i rozpad emulsji, krystalizacja,
- i) utrwalające lub konserwujące, które są różne pod względem natury występujących zjawisk, a cechą wspólną jest utrzymanie żywności w stanie możliwie nie zmienionym pod względem fizycznym, odżywczym i higienicznym.

W technologii żywności wymienione procesy jednostkowe występują w różnym nasileniu w zależności od swoistych cech surowców i stopnia ich przetworzenia w określony produkt gotowy.

Odpowiednio do stopnia przetworzenia surowców oraz ich opakowania można wyróżnić następujące kategorie produktów spożywczych:

- konserwy,
- przetwory,
- produkty czyste,
- produkty pochodne,
- wytwory.

Konserwy są to produkty najmniej zmienione w stosunku do surowca, w których najistotniejszym procesem jednostkowym jest proces utrwalający osiągany różnymi metodami. Do konserw zalicza się produkty puszkowane, susze, mrożonki, kompoty.

Przetwory są to produkty, w których surowiec zatracił zwykle swoje cechy i wzbogacony został o nowe składniki, a całość w toku przetwarzania jest poddawana procesom mechanicznym i cieplnym. Do przetworów należy większość artykułów spożywczych powszechnego użytku: wyroby wędliniarskie, piekarskie, dżemy, sery.

Produkty czyste są to zwykle indywidualne związki chemiczne lub ich mieszaniny, które zostały wyodrębnione z surowca na drodze licznych procesów jednostkowych zwykle typu mechanicznego, cieplnego, chemicznego itp. Do produktów czystych można zaliczyć cukier, mączkę ziemniaczaną, olej, smalec, kazeinę.

Produkty pochodne są to produkty powstałe po dalszym przetworzeniu produktów czystych przez zastosowanie jednostkowych procesów chemicznych, cieplnych lub biochemicznych. Przykładowo do produktów pochodnych można zaliczyć: hydrolizaty białkowe, miód sztuczny, utwardzony tłuszcz, ocet.



Wytwory są to artykuły spożywcze lub dodatki do żywności, które zostały wytworzone na drodze biosyntezy w postaci biomasy np. drożdże piekarskie lub w postaci indywidualnych związków chemicznych takich, jak: kwas cytrynowy, glutaminowy, lizyna, aspartam.

Można zauważyć, że w przypadku wytwarzania większości produktów żywnościowych dominującymi procesami jednostkowymi są procesy cieplne i mechaniczne oraz utrwalające.

W procesach technologicznych wytwarzania żywności o różnym stopniu przetworzenia występują podobne czynności, które można określić mianem etapów technologicznych. Są to:

- a) etap wstępny: mycie, czyszczenie lub segregacja surowców,
- b) etap pomocniczy: rozdrabnianie, dzielenie na porcje, ładowanie,
- c) etap główny: prowadzenie procesów technologicznych w należytej kolejności przy określonych parametrach temperatury, czasu, pH,
- d) etap końcowy: pakowanie lub rozlew i etykietowanie.

Dla zapewnienia niezakłóconego przebiegu procesu technologicznego konieczny jest zespół czynności organizatorskich i technicznych, które są nazwane procesem produkcyjnym. Proces produkcyjny składa się z następujących procesów cząstkowych:

- a) zaopatrzenia materiałowego, czyli rytmicznego dostarczania surowców, materiałów pomocniczych i energii,
- b) procesu technologicznego wraz z zabezpieczeniem warunków BHP,
- c) transportu wewnętrznego związanego z przemieszczaniem surowców, półproduktów i wyrobów gotowych,
- d) kontroli jakości surowców, półproduktów i oceny jakości gotowego wyrobu,
- e) utylizacji odpadów i oczyszczania ścieków oraz gospodarki wodnej i energetycznej,
- f) magazynowania i wysyłki gotowych wyrobów.

W dobrze zorganizowanej działalności produkcyjnej konieczny jest zatem udział sprawnych zespołów ludzi o różnym przygotowaniu zawodowym. Właściwie wybrany proces technologiczny oraz należyty nadzór nad przebiegiem procesu przetwarzania surowców w określony produkt mają jednak znaczenie podstawowe. Są to zadania dla technologów.

Głównym celem technologii żywności jest wytwarzanie trwałych artykułów żywnościowych najwyższej jakości z wykorzystaniem nie-trwałych surowców roślinnych i zwierzęcych przy najmniejszych kosz-

tach produkcji. Konieczne jest zatem stosowanie energooszczędnych procesów, ograniczenie odległości transportu surowców masowych, ograniczenie strat surowców, właściwe wykorzystanie odpadów użytecznych np. w hodowli oraz wytwarzania produktów dobrej jakości o atrakcyjnym, estetycznym wyglądzie.

1.2. Baza surowcowa przemysłu spożywczego

W ramach zorganizowanej działalności gospodarczej w państwie, technologia żywności wchodzi w skład tzw. kompleksu żywnościowego tj. skoordynowanych działań organizacyjno-produkcyjno-handlowych obejmujących zasięgiem rolnictwo, skup płodów rolnych, przemysł spożywczy, przechowywanie żywności, zakłady zbiorowego żywienia oraz część przemysłu pracującego dla potrzeb rolnictwa i przemysłu spożywczego. Przemysłem spożywczym nazywa się łącznie wszystkie te gałęzie przemysłu, które wytwarzają żywność lub używki. Do używek zalicza się wyroby alkoholowe, herbatę, kawę i wyroby tytoniowe.

Znaczenie przemysłu spożywczego wzrasta w miarę postępu urbanizacji i oddalania się rejonów spożycia od rejonów rolnych oraz w miarę zwiększania produkcji rolnej. Podstawową bazą surowcową dla przemysłu spożywczego w Polsce jest rolnictwo, rolę uzupełniającą spełnia rybołówstwo morskie i śródlądowe oraz dziczyzna i runo leśne. Ponadto niektóre gałęzie przemysłu spożywczego wykorzystują surowce wtórne np. melasę i serwatkę.

Okolo 2/3 roślinnych płodów rolnych ulega przetworzeniu zanim staje się przedmiotem konsumpcji. Przetworzenie następuje w przemyśle spożywczym oraz w toku hodowli zwierząt gospodarskich, które są źródłem mięsa, mleka, jaj. Bardzo ważną cechą surowców dla przemysłu spożywczego jest ich odtwarzalność. Średnioroczną wielkość produkcji rolniczej wraz z procentowym udziałem surowców przetworzonych przez przemysł spożywczy zawiera tabela 1.

Z danych tabeli 1 widać, że niektóre plody rolne jak buraki, rzepak, tytoń są w całości wykorzystywane do przerobu w przemyśle spożywczym. Inne plody jak warzywa, owoce są częściowo spożywane w stanie świeżym, a część jest przeznaczona na przetwory. W tym zakresie jest celowość zwiększenia produkcji przetworów ze względu na możliwość korzystnego eksportu.



Tabela 1

Średnioroczna wielkość produkcji rolniczej wraz z udziałem procentowym surowców przetworzonych przemysłowo w Polsce

Lp.	Produkt	Wielkość mln ton	Udział surowców przetworzonych [%]
1	zboża ogółem	25	27
	w tym:		
	– pszenica	6	–
	– jęczmień	3,5	–
2	ziemniaki	40,0	4
3	buraki	16,0	100
4	rzepak	0,9	100
5	warzywa:	–	–
	– ogórki	0,25	40
	– pomidory	0,45	50
6	owoce:	–	–
	– jabłka	1,5	60
	– truskawki	0,2	50
	– porzeczki	0,2	80

W oparciu o dominujący składnik pokarmowy w wymienionych w tabeli surowcach można wyróżnić trzy następujące grupy:

- surowce węglowodanowe: zboża, ziemniaki, buraki,
- surowce tłuszczowe: rzepak, żywiec,
- surowce białkowe: mleko, żywiec.

Skład chemiczny trzech grup surowców zawiera tabela 2.

Tabela 2

Skład chemiczny niektórych surowców

Lp.	Surowiec	Zawartość [%]						
		woda	ss	węglowodany	białko	tłuszcze	popiół	inne
1	pszenica	15	85	69	11	1,8	1,6	1,6
2	żyto	15	85	73	7	2,0	1,5	1,5
3	jęczmień	15	85	68	9	2,3	2,2	3,5
4	ziemniaki	75	25	16-20 ¹	2	0,05	1	2,4

Tabela 2 (cd.)

5	buraki	75	25	17,5 ²	0,9	0,1	0,5	6
6	rzepak-ziarno	10	90	20	22	38	2	18
7	mleko	88	12	4,8 ³	3,0	3,5	0,7	—
8	mięso wieprzowe							
	— chude	72	28	1 ⁴	20	6	1	—
	— tłuste	48	52	1	15	35	1	—
9	jabłka	84	16	14 ⁵	0,3	0,4	0,3	1
10	pomidory	93	7	4	1	0,3	0,6	1,1

1 — jako skrobia, 2 — jako sacharoza, 3 — jako laktoza, 4 — jako glikogen, 5 — jako suma cukrów i kwasów organicznych

1.2.1. Charakterystyka podstawowych surowców węglowodanowych i ich przemysłowe zagospodarowanie

Zboża są podstawowym surowcem dla przemysłu zbożowo-młynarskiego. Mianem „zboża” określa się rośliny z rodziny traw o podobnych właściwościach, które są uprawiane w celu uzyskania wysokiego plonu ziarna zawierającego około 70% skrobi oraz 7-13% białka. Do zbóż zalicza się pszenicę, żyto, jęczmień, owies i kukurydzę.

Przemysłowe zastosowanie zbóż jest różne i zależy od jego rodzaju. Ziarna pszenicy służą prawie wyłącznie do otrzymywania mąki, która jest używana do produkcji chleba, makaronów i wyrobów cukierniczych. Ziarna żyta poddaje się przemiałowi na mąkę używaną do produkcji chleba. Jęczmień służy do produkcji kasz, a owies do produkcji płatków.

Głównymi cechami zbóż chlebowych decydujących o ich przydatności technologicznej są: wartość wymiאלowa zboża i wartość wypiekowa mąki. Wartość wymiאלowa ziarna jest to wyróżnik określający wydajność mąki z surowca przy możliwie niskich kosztach przemiału. Wysoka wartość wymiאלowa występuje gdy:

- zawartość wody w ziarnie wynosi około 15%,
- ziarno ma wytrzymałą łuskę i kruche bielmo,
- ziarno zawiera mało popiołu.



Wartość wypiekowa mąki jest to zespół jej cech, które pozwalają na dobre wyrośnięcie ciasta i maksymalną wydajność gotowego pieczywa. O wartości wypiekowej mąki pszennej decyduje głównie ilość i jakość glutenu oraz aktywność enzymów amylolitycznych. O jej wartości wypiekowej decyduje głównie zawartość białek i śluzów. Białka zbóż zawierają dostateczne ilości aminokwasów egzogennych za wyjątkiem lizyny, której dobrym źródłem są białka mleka.

W przypadku optymalnej zawartości wody w ziarnach na poziomie 15%, mogą być one składowane w odpowiednich ilościach przez dostatecznie długi czas. Ziarna zbóż są więc dogodnym surowcem do otrzymywania podstawowych produktów spożywczych powszechnego spożycia.

Ziemniaki należą do rodziny psiankowatych, do której należą również pomidory. Wartość użytkową mają bulwy, które stosuje się w żywieniu ludzi i zwierząt oraz są surowcem głównie dla przemysłu ziemniaczanego, a częściowo także przemysłu spirytusowego. Ze względów użytkowych rozróżnia się odmiany:

a) jadalne – smaczne, o średniej zawartości skrobi i miąższu, nie ciemniejące,

b) przemysłowe – o maksymalnej zawartości skrobi i wysokim plonie,

c) paszowe – o dużej wartości pokarmowej i wysokim plonie.

Ziemniaki odmian jadalnych są wykorzystywane do przemysłowej produkcji suszów ziemniaczanych i frytek. Ziemniaki przemysłowe, zaś służą jako surowiec w przemyśle ziemniaczanym do produkcji mączki ziemniaczanej i jej przetworów, tj. dekstryn, syropu skrobiowego, glukozy itp. Ziemniaki przemysłowe są więc typowym surowcem skrobiowym, w którym zawartość skrobi stanowi około 80% s.s. bulw. Skrobia w ziemniakach występuje w postaci owalnych ziaren o średnicy 2-110 μm , które są nierozpuszczalne w zimnej wodzie. Przy krochmalniczym przerobie ziemniaków zjawiskiem niepożądanym jest pienienie się soku ziemniaczanego oraz jego ciemnienie. Pierwsze zjawisko związane jest z występowaniem rozpuszczalnych białek i solaniny w bulwach ziemniaków, drugie zaś wynika z powstawania melaniny z tyrozyny pod wpływem tyrozinazy.

Ze względu na dużą zawartość wody w ziemniakach rzędu 70-80%, są one surowcem dość nietrwałym. Ziemniaki w czasie przechowywania wykazują takie czynności życiowe jak oddychanie, kiełkowanie oraz



parowanie, które powoduje ubytek suchej substancji i wody. Średniomiesięczny ubytek masy ziemniaków w warunkach właściwego składowania wynosi 1%. Na oddychanie ziemniaków składają się dwa biochemiczne procesy: odwracalne przechodzenie skrobi w maltozę i glukozę oraz spalanie utworzonych cukrów do CO_2 i H_2O . Procesy te zachodzą pod wpływem enzymów, których aktywność zależy od temperatury. Minimum oddychania przypada w temperaturze 3-4°C. Jest to optymalna temperatura przechowywania ziemniaków. Obniżenie temperatury poniżej 0°C hamuje oddychanie lecz nie przerywa scukrzenia skrobi, skutkiem tego ziemniaki stają się słodkie.

W toku kiełkowania ziemniaków straty skrobi są jeszcze wyższe. Przy kiełkach długości 3 cm straty skrobi wynoszą 5%, a przy długości 5 cm około 9%. Proces kiełkowania może być spowolniony i opóźniony przez opryskanie bulw retardantami z grupy auksyn, np. kwasem β -indoiloctowym lub przez radiacyjne napromieniowanie.

Buraki cukrowe należą do rodziny komosowatych. Jest to roślina łatwo adaptująca się do różnych warunków klimatycznych jeżeli pH gleby wynosi około 6,5. Skład buraków zmienia się w szerokich granicach zależnie od linii genetycznej, warunków agrotechnicznych, przebiegu pogody, stopnia dojrzałości i warunków magazynowania. W dojrzałych wysokocukrowych korzeniach buraków zawartość sacharozy wynosi przeciętnie 87% w przeliczeniu na suchą substancję. Korzenie buraków stanowią więc typowy jednoskładnikowy surowiec roślinny do produkcji naturalnego produktu czystego jakim jest sacharoza w postaci krystalicznej, a występująca w obrocie handlowym pod nazwą cukru, cukru białego lub rafinady.

Sprzęt buraków powinien następować z chwilą osiągnięcia dojrzałości technologicznej, tj. wówczas gdy buraki wykazują maksymalną masę i zawartość sacharozy. W naszych warunkach klimatycznych przypada to zwykle na październik. Okres dojrzałości technologicznej nie pokrywa się jednak z optymalnym okresem trwania kampanii cukrowniczej, który w Polsce wynosi 80-90 dni. Konieczny jest więc określony kompromis technologiczny. W myśl którego przerób buraków zaczyna się nieco wcześniej np. we wrześniu i kampanię kończy po zebraniu buraków i składowaniu w przyzmach na terenie cukrowni. W ten sposób straty cukru wynikające ze zmniejszenia plonu i składowania są możliwie najniższe. Straty podczas składowania buraków można podzielić na straty nieuniknione i straty na skutek nieodpowiedniego przechowywa-



nia. Nieuniknione straty powstają w wyniku oddychania buraków, który to proces analogicznie jak w przypadku ziemniaków jest intensywniejszy w miarę wzrostu temperatury składowania.

Przykładowo dobowe straty cukru wynoszą:

temperatura składowania	0	3	5	10	12
straty w % na masę buraków	0,006	0,007	0,008	0,013	0,020

Zatem przy średniej stracie 0,012%, w okresie 80 dni, suma strat cukru wynosi 1%, tj. 6% masy cukru zawartej w burakach. Optymalna temperatura składowania buraków wynosi $+2^{\circ}\text{C}$. Najlepsze wyniki osiąga się w przypadku magazynowania buraków w regulowanej atmosferze o zawartości 6% tlenu i 5% dwutlenku węgla i stałej temperaturze $2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

W temperaturze około -2°C buraki zaczynają obumierać i następuje odwodnienie plazmy. Podwyższenie temperatury sprawia, że przemarznęte buraki są podatne na działanie drobnoustrojów i szybko ulegają zepsuciu. Przerób takich buraków jest znacznie trudniejszy niż buraków właściwie składowanych i łączy się z dużymi stratami cukru.

W aspekcie technologicznym wspólną cechą surowców węglowodanowych jest sezonowość ich zbioru i na ogół kampanijny charakter procesów technologicznych, a także ścisła więź przemysłu z rolnictwem. Bowiem po przemysłowym wyodrębnieniu głównych składników z surowca ich wartościowe składniki uboczne w postaci np. otrąb, wysłodków i wycierki są zwracane do gospodarstw rolnych, gdzie są wykorzystywane do produkcji żywności pochodzenia zwierzęcego. Z tego względu np. opłacalność uprawy buraków cukrowych wpływa na stabilną produkcję mleka.

Przemysłowe zagospodarowanie roślinnych surowców tłuszczowych jest w charakterze ogólnym zbliżone do zagospodarowania zbóż. W naszych warunkach podstawowym surowcem jest ziarno rzepaku, z którego na drodze tłoczenia i ekstrakcji wydobywa się olej, zaś wartościowy odpad użytkowy w postaci kuchu lub śruty poekstrakcyjnej jest wykorzystywany w hodowli zwierząt.

Zwierzęce surowce białkowe ze względu na ich na ogół rytmiczną podaż i podatność na psucie wymagają szczególnie dobrej organizacji skupu i przemysłowego przerobu przy zachowaniu właściwej higieny.



1.3. Kryteria jakości produktów żywnościowych

Produktom żywnościowym przypisuje się następujące cechy, warunkujące ich jakość i wartość handlową:

- a) wartość odżywczą, która wynika z ogólnego składu chemicznego,
- b) smakowość, która wynika z jakości i zestawu użytych surowców i obecności odpowiednich składników smakowo-zapachowych,
- c) zdrowotność, która oznacza brak drobnoustrojów chorobotwórczych i substancji szkodliwych oraz toksycznych,
- d) trwałość, która oznacza możliwość długiego przechowywania produktu bez zmiany składu i wyglądu,
- e) atrakcyjność, która wyraża się w prawidłowej barwie, formie oraz starannym i estetycznym opakowaniu,
- f) dyspozycyjność, która wynika z łatwości przekształcenia produktu w potrawę, łatwość otwierania, porcjowanie itp.

Wartość odżywcza jest podstawową cechą jakości produktów żywnościowych. Substancje spożywane przez człowieka dla utrzymania się przy życiu noszą nazwę składników pokarmowych i są składową pożywienia. Wyróżnia się 6 grup związków chemicznych, które są składnikami pokarmowymi: białka, tłuszcze, węglowodany, związki mineralne, witaminy oraz woda. Tłuszcze i węglowodany są głównym źródłem energii, białka zaś przede wszystkim składnikiem budulcowym.

Tłuszcze są dla ustroju człowieka najbardziej skoncentrowanym źródłem energii $1\text{ g} = 38\text{ kJ}$ i są również źródłem witaminy A, D, E i K oraz niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT) do których zalicza się kwasy: linolowy, linolenowy i arachidonowy. Tłuszcze spełniają rolę magazynu energii, a także tworzą tkanki oporowe i ochronne.

Z punktu widzenia technologicznego umożliwiają wykonanie procesów obróbki termicznej takich jak smażenie i pieczenie. Przyjmowane z pokarmem zwiększają uczucie sytości. Zapotrzebowanie na tłuszcze jest proporcjonalne do zapotrzebowania energii, zależy zatem od rodzaju wydatkowanej pracy, wieku i płci. Przeciętne zalecane normy wynoszą 90-120 g/d, równocześnie postuluje się, aby 30-35% energii dziennej racji pokarmowej pochodziło z tłuszczów.

Węglowodany stanowią najbardziej ekonomiczne i najłatwiej przyswajalne źródło energii, dostarczając w 1 g 16,8 kJ. Wiele tka-



nek wykorzystuje glukozę jako jedyne źródło energii. Również synteza białek organizmu w znacznej części przebiega przy udziale energii pochodzącej z węglowodanów.

W produktach żywnościowych węglowodany rozpuszczalne w wodzie pełnią rolę środków słodzących i osmoaktywnych. Średnie zalecane zapotrzebowanie na węglowodany wynosi 400-600 g, co stanowi około 50-60% energii dostarczanej z pożywieniem. Równocześnie zaleca się, aby dzienne spożycie sacharozy nie przekraczało około 90 g, a błonnika 7 g.

Białka są najważniejszym składnikiem pokarmowym. Stanowią zasadniczy element budowy wszystkich tkanek ustroju i związków biologicznie czynnych. Białka wprowadzone z żywnością są przede wszystkim źródłem aminokwasów niezbędnych do syntezy białek organizmu. Białka pożywienia są również źródłem energii $1 \text{ g} = 16,8 \text{ kJ}$. Energetyczne wykorzystanie białek ma miejsce przy braku dostatecznej ilości tłuszczu i węglowodanów w pożywieniu. Białko, zwłaszcza zwierzęce, dzięki zawartości m.in. glutaminianu sodowego odgrywają także rolę składników smakowo-zapachowych oraz mają zdolność pobudzenia łaknienia. W aspekcie technologii żywności białka pełnią rolę strukturotwórczą, decydując o konsystencji i jakości pieczywa oraz wielu artykułów powszechnego spożycia zwłaszcza wyrobów mięsnych.

Poszczególne białka wprowadzone z pożywieniem są w różnym stopniu wykorzystane przez ustrój do celów budulcowych. Tę cechę nazywa się wartością odżywczą białek lub jakością odżywczą białka. O jakości białka decyduje głównie skład aminokwasowy. Blisko połowa aminokwasów występujących w białkach nie jest syntetyzowana w ustroju człowieka i zwierząt. Muszą one być dostarczone z pożywieniem. Aminokwasy te noszą nazwę egzogennych. Zalicza się do nich: lizynę, tryptofan, metioninę, fenyloalaninę, treoninę, walinę, leucynę i izoleucynę. Aminokwasy syntetyzowane w organizmie są nazywane endogennymi. Jakość białka zależy głównie od udziału aminokwasów egzogennych w sumie składu aminokwasowego oraz proporcji aminokwasów egzogennych. Ustrój człowieka najlepiej wykorzystuje białko laktoalbuminy zawartej w mleku matki oraz białko jaja kurzego. Dlatego proporcje aminokwasów zawartych w tych dwóch rodzajach białek uważa się za pełnowartościowe i wzorcowe. Białko jaja kurzego służy jako wzorzec do porównania jakości biologicznej innych białek.



Wzorcowe białko zawiera w przybliżeniu równe ilości aminokwasów egzo- i endogennych. Zawartość poszczególnych aminokwasów wynosi po około 6% w przeliczeniu na sumę białek, tj. po 400 mg w przeliczeniu na 1 g azotu lub 6.25 g białka, za wyjątkiem tryptofanu, którego odpowiednia zawartość wynosi 1,5%.

Ocenę jakości poszczególnych białek i białkowych produktów żywnościowych prowadzi się metodami biologicznymi lub chemicznymi. Metody biologiczne polegają na pomiarze wzrostu młodych zwierząt, zwłaszcza szczurów, lub na oznaczeniu zatrzymania azotu przez ustrój zwierzęcia. Podstawowymi miernikami jakości białka przy stosowaniu metod biologicznych są:

- współczynnik wydajności wzrostowej PER (Protein Efficiency Ratio),
- współczynnik zatrzymania białka netto NPR (Net Protein Retention),
- współczynnik wartości biologicznej BV (Biological Value),
- współczynnik wykorzystania białka netto NPU (Net Protein Utilization).

Chemiczne metody oznaczania jakości białka opierają się na chemicznej analizie składu aminokwasowego białka po jego hydrolizie. Następnie skład aminokwasowy badanego białka porównuje się ze składem aminokwasowym białka wzorcowego.

Przy określaniu jakości białka ze składu aminokwasowego uwzględnia się zawartość aminokwasu ograniczającego, tj. aminokwasu egzogenego występującego w najmniejszym stężeniu. Zgodnie z prawem minimum taki aminokwas egzogeny ogranicza wykorzystanie białka przez ustrój w takim stopniu, w jakim stanowi on udział procentowy w odniesieniu do zawartości tego samego aminokwasu w białku wzorcowym. W ten sposób wyznacza się tzw. chemiczny miernik jakości białka CS (Chemical Score).

$$CS = \frac{a_o}{a_{ow}} \cdot 100,$$

- a_o – zawartość aminokwasu ograniczającego w białku badanym w mg/g białka,
 a_{ow} – zawartość aminokwasu ograniczającego w białku wzorcowym w mg/g białka.



Stwierdzono, że $CS = NPU$, gdy aminokwasem ograniczającym jest metionina lub walina, które są składnikami ograniczającymi wielu białek.

Wartość odżywczą niektórych produktów spożywczych według wskaźnika chemicznego zawiera tabela 3.

Tabela 3

Lp.	Produkt	Aminokwas ograniczający	Wskaźnik chemiczny CS [%]
1	jaja kurze	—	100
2	mleko krowie	met + treon	98
3	wołowina	wal + trypt	96
4	soja	met + treon	78
5	fasola	met + wal	55
6	pieczywo	liz + try	57
7	ziemniaki	met + ileu	53
8	ryby	met + try	48
9	grzyby	ileu + wal	11

Jak widać z tabeli 3 białkami pełnowartościowymi są produkty pochodzenia zwierzęcego: jaja, mleko, mięso. Produkty roślinne np. produkty zbożowe są źródłem gorszych jakościowo białek. Ich wartość biologiczna jest ograniczona zawartością lizyny. Dodatek produktów zwierzęcych bogatych w lizynę np. mleka zwiększa wartość odżywczą białek roślinnych. Minimalne zapotrzebowanie białka wynosi 0,52 g/kg masy ciała i dobę. Norma zalecana jest o 60% wyższa.

Substancje mineralne wchodzą w skład niezbędnych struktur organizmu lub biorą udział w procesach metabolicznych. Można je podzielić na trzy grupy:

- składniki strukturotwórcze: wapń, fosfor, siarka,
- składniki równowagi kwasowo-zasadowej i utrzymywania ciśnienia osmotycznego komórek: sód, potas, magnez, wapń, chlor,
- składniki śladowe, które odgrywają ważną rolę wchodząc w skład układów enzymatycznych, hormonów i białek: żelazo, miedź, cynk, jod, magnez, molibden, chlor, selen.

Zalecane dzienne zapotrzebowanie organizmu na najważniejsze pierwiastki jest następujące (w mg): Ca – 800, P – 960, Mg – 350, Zn, Fe po 15, Mn – 3.5, Cu, F po 2.5, Mo – 0.3, J – 0.12, Cr i Se po 0.1.

Zagadnienie wartości odżywczej produktów żywnościowych jest jak widać bardzo złożone. Jest to głównie domena technologii żywienia i dietetyki, lecz o podstawowych kategoriach powinien pamiętać każdy technolog żywności i każdy konsument.

Smakowitość jest cechą towaroznawczą odnoszącą się do złożonych środków żywnościowych oraz gotowych potraw. Jest to cecha, która ujmuje całość wrażeń smakowo-zapachowo-czuciowo-wizualnych odnoszących się do danego wyrobu. W przypadku produktów gotowych otrzymanych z surowców naturalnych cecha ta może w procesie technologicznym być utrzymana bez zmian, lecz częściej smakowitość wyrobów jest zwiększona przez dodanie przypraw, barwników i dodatków smakowych. Smakowitość jest istotną cechą wyrobów mięsnych, mlecznych, pieczywa, wyrobów cukierniczych itp. Smakowitość produktów żywnościowych jest cechą wykształconą przez przyzwyczajenia żywnościowe określonych środowisk i narodów w dostosowaniu do dostępnych środków żywnościowych i klimatu, który często warunkuje określoną trwałość żywności. Zatem smakowitość wynika często z zabiegów utrwalających żywność lub maskujących niepożądane cechy. Stąd też najstarszą i najbardziej rozpowszechnioną przyprawą smakową jest sól kuchenna. Długie tradycje ma także dodanie do żywności i potraw takich środków smakowych jak ocet, kwas mlekowy i naturalne przyprawy korzenne (np. pieprz, cynamon, wanilia) oraz stosowanie warzyw smakowych.

Rozpowszechnienie środków słodzących, (z wyjątkiem miodu) oraz syntetycznych kwasów ograniczonych jak cytrynowy i winowy oraz środków zapachowych typu waniliny czy dwuacetylu, jest związane z rozwojem przemysłu spożywczego. Na podkreślenie zasługuje fakt, że smakowitość wielu produktów przemysłu spożywczego osiąga się głównie w toku właściwie prowadzonych procesów technologicznych. Dzięki odpowiednim surowcom, fermentacji i dojrzewaniu produkuje się np. smakowite sery i wina, a dzięki właściwym zabiegom technologicznym w odpowiednich urządzeniach otrzymuje się przykładowo doskonałą czekoladę, masło lub szynkę. Odpowiednia i właściwa smakowitość może być nadana substytutom wytwarzanym w przemyśle spożywczym. Margaryna, jak wiadomo, jest substytutem masła. Dzięki dobraniu określonych składników i zastosowaniu procesu technologicznego można uzyskać produkt, który pod względem użytkowym i żywieniowym przewyższa produkt naturalny.



Barwienie i dobarwianie wyrobów żywnościowych jest zagadnieniem złożonym. Barwienie przez dodanie środków barwiących stosuje się doraźnie dla zwiększenia atrakcyjności i wyglądu wyrobu, dobarwianie zaś dla uzupełnienia intensywności barwy lub ujednolicenia barwy. Do barwienia używa się barwników naturalnych i syntetycznych. Stosowanie barwników syntetycznych obwarowane jest licznymi przepisami. Lista tego typu barwników dozwolonych do stosowania na terenie różnych państw jest często zmieniana. Spośród barwników naturalnych stosuje się substancje wyodrębnione z różnych części roślin. Czerwone antycyjanowe barwniki otrzymuje się z korzeni buraków ćwikłowych lub wyciągów z czarnej porzeczki lub aronii. Pomarańczowe barwniki karotenowe uzyskuje się z korzeni marchwi. Żółty barwnik można otrzymać z owocni dyni, zaś chlorofil z zielonych części roślin. W przemyśle spożywczym do dobarwiania napojów alkoholowych i syropów stosuje się także tzw. karmel tj. mieszaninę barwników powstających z sacharozy w trakcie prażenia w temperaturze 150-180°C bez udziału wody.

Zdrowotność jest to cecha żywności, która oznacza, że w jej składzie oprócz składników pokarmowych nie ma substancji innych, a zwłaszcza składników szkodliwych, toksycznych i chorobotwórczych. Mianem składników lub substancji szkodliwych dla zdrowia określa się związki chemiczne, które są zdolne do uszkodzania prawidłowych czynności ustroju na skutek interakcji tych związków z białkami ustrojowymi, DNA lub enzymami. Substancje toksyczne zaś powodują niepożądane działanie chemiczne, które ze strony ustroju wyrażają się ostrymi i często gwałtownymi objawami, wymagającymi natychmiastowej pomocy lekarskiej i często długotrwałego leczenia.

Znajomość toksycznego działania substancji, które mogą występować w żywności jako zanieczyszczenia jest niezbędna. Dla określenia działania toksycznego przyjęto określenie „toksyczność ostra” oznaczona symbolem LD₅₀, która wyraża liczbowo jednorazową dawkę danej substancji w mg, powodującą śmierć 50% zwierząt doświadczalnych w badanej grupie podczas 14-dniowej obserwacji.

Innym kryterium oceny szkodliwości substancji wyznaczonej na podstawie wielostronnych badań na zwierzętach jest dopuszczalne dzienne spożycie dla człowieka – ADI (Acceptable Daily Intake), które jest wyrażane w mg/kg ciężaru ciała. Jest to ilość danej substancji, która może wniknąć do ustroju z pożywieniem i ze wszystkich innych źródeł



np. przez skórę i nie spowoduje szkody dla zdrowia. Na podstawie wielkości ADI wyznacza się podział związków na trucizny, związki szkodliwe i praktycznie nieszkodliwe.

Tabela 4

Źródła zanieczyszczeń żywności				
1. środowisko: woda gleba powietrze	2. pozostałości z działal- ności rolni- czej: nawozy, środki och- rony roślin	3. pozostałości z działal- ności hodow- lanej: pasze, leki	4. pozostałości procesu technolo- gicznego	5. opakowania
Rodzaje zanieczyszczeń				
1. pierwiastki szkodliwe	pierwiastki szkodliwe	pierwiastki szkodliwe	pierwiastki szkodliwe	pierwiastki szkodliwe
2. azotany i azotyny	azotany i azotyny	azotany i azotyny	azotany i azotyny	—
3. tlenki azo- tu i tlenki siarki	—	—	—	—
4. insektycydy fungicydy herbicydy	insektycydy fungicydy herbicydy	insektycydy fungicydy herbicydy	— — —	— — —
5. —	— regulatory wzrostu roślin	nitrozoaminy, hormony, antybiotyki, środki prze- ciw pasoży-	nitrozoaminy — — środki przeciw pasożytom, środki po- wierzchnio- niowo czynne, środki dezyn- fekcyjne, rozpuszczal- niki, katalizatory	— — — — — rozpuszczal- niki, katalizatory, monomery, plastyfikatory

Zdrowotność żywności zależy w znacznym stopniu od jakości surowca, przebiegu procesu technologicznego, tworzywa z którego zbudowana jest aparatura i opakowania żywności oraz stopnia zanieczyszczenia powietrza i wody.

Źródła i rodzaje zanieczyszczeń żywności zawiera tabela 4. W przypadku surowców roślinnych związki toksyczne i szkodliwe mogą się znaleźć w produktach gotowych w wyniku użycia nadmiernej ilości lub w wyniku nieprzestrzegania okresu karencji stosowanych nawozów, zwłaszcza azotowych, oraz środków ochrony roślin (pestycydów i herbicydów). Innym źródłem skażenia tych surowców jest uprawianie i pozyskiwanie płodów rolnych z terenów skażonych przez zanieczyszczenie przemysłowe. Szczególnie częste jest skażenie gleby ołowiem i kadmem w pobliżu drogowych szlaków komunikacyjnych i w pobliżu dużych ośrodków przemysłowych.

W przypadku surowców zwierzęcych składnikami obniżającymi zdrowotność mogą być związki pobudzające wydajność wzrostu zwierząt, jak hormony i antybiotyki. W toku przerobu surowców tj. w procesie produkcyjnym, może nastąpić zanieczyszczenie następującymi substancjami:

- metalami ciężkimi, głównie Pb, Zn, Ni, Cu z urządzeń i aparatów,
- aminami i estrami z opakowań z tworzyw sztucznych,
- detergentami z pozostałości po myciu urządzeń i aparatów,
- związkami szkodliwymi, powstałymi z ich nieszkodliwych pochodnych na skutek niedotrzymania optymalnych warunków procesu np. powstawanie akroleiny w toku przegrzewania tłuszczów.

Działanie szkodliwe mogą wykazywać składniki dodane do żywności w celu zwiększenia jej trwałości lub ukierunkowania odpowiednich przemian w toku procesu technologicznego. Są to:

- środki konserwujące: benzoesan sodowy (ADI = 5 mg/kg), kwas sorbowy (ADI = 25 mg/kg), KNO_3 , SO_2 ,
- przeciwutleniacze: kwas sorbowy, 3-butylo-4-hydroksyanizol,
- środki spulchniające: np. mieszanina NaHCO_3 i kwasu adypinowego (ADI = 5 mg/kg),
- syntetyczne środki słodzące: np. sacharyna (ADI = 5-15 mg/kg).

Wyżej wymienione substancje są dodawane w ilościach rzędu 0,1%, co w znacznym stopniu wyklucza możliwość szkodliwego działania. Wydane są przy tym obowiązujące rozporządzenia, które szczegółowo określają rodzaje i ilości dodatków do żywności dozwolonych do stosowania w określonych artykułach żywności.

Ze względu na znaczne prawdopodobieństwo zanieczyszczenia żywności różnymi substancjami rozpowszechniło się określenie „zdrowa żywność” dla podkreślenia, że dane artykuły żywnościowe są pozabawione substancji szkodliwych i toksycznych.

Atrakcyjność i dyspozycyjność są to dwie cechy żywności, wzajemnie się uzupełniające, które są istotne głównie w warunkach funkcjonowania rynku z dominacją podaży nad popytem. Ważną rolę w podniesieniu wartości tych cech odgrywają takie elementy, które stymulują popyt i sprzedaż. Ważna jest więc postać wyrobu, jego kształt, barwa, konsystencja, połysk, jakość, forma i materiał opakowania, sposób otwierania i zamykania, łatwość transportu i składowania, forma plastyczna opakowań, staranne i estetyczne umocnienie etykiet itp. Ocenia się, że dobre opakowanie zwiększa wartość handlową towarów od 10-20%.

1.4. Podstawowe zasady technologiczne

Z definicji technologii żywności wynika, że jest to dział nauki stosowanej o sprawnych sposobach wytwarzania produktów w oparciu o podstawowe prawa fizyki, chemii, biologii, ekonomii itd. Zatem w procesach technologicznych działają podstawowe obiektywne prawa natury:

- prawo zachowania masy i energii,
- prawa rządzące przenoszeniem masy i ciepła.

Z przedstawionych praw można wyróżnić pewne uogólnienia, zasady, który ułatwiają zrozumienie przebiegu procesów technologicznych oraz warunkujących ich prawidłowe prowadzenie.

Z prawa zachowania masy i energii wynikają następujące zasady:

- zasady najmniejszego zużycia energii (oszczędności energii),
- zasada kołowego obiegu energii i masy,
- zasada ciągłości produkcji.

Z praw rządzących przenoszeniem masy i energii wynikają kolejne zasady:

- zasada prądów naturalnych,
- zasada przeciwprądu materiałowego i cieplnego,
- zasada optymalnego rozwinięcia powierzchni.



Z obydwu praw równocześnie wynika ponadto: zasada optymalnego prowadzenia procesu (zasada kompromisu technologicznego).

Spełnienie powyższych zasad może być zilustrowane licznymi przykładami konkretnych procesów jednostkowych lub technologicznych prowadzonych w urządzeniach i aparatach skonstruowanych zgodnie z wymaganiami określonymi przez jedną lub kilka zasad równocześnie.

Dobrym przykładem zasad wynikających z prawa zachowania masy i energii jest zateżnianie roztworów w jedno- i wielodziałowych aparatach wyparnych, pracujących w różnych warunkach temperatury i ciśnienia. Z prawa zachowania masy i energii wiadomo, że ilość masy i energii wprowadzona z surowcem oraz ilość energii dostarczona do uzyskania określonej postaci wyrobu gotowego jest równa ilości masy i energii wyprowadzonych z produktem oraz sumie strat energii do otoczenia i strat masy w produktach odpadowych. W praktyce sporządza się dwa równoległe bilanse: energetyczny (cieplny) i masy (materiałowy).

Dla okresowego procesu zateżniania roztworu w jednodziałowej wyparce ze skraplaczem od stężenia początkowego C_p do stężenia końcowego C_k można sporządzić następujące bilanse:

a) bilans masowy roztworu

$$L_r = L_k + W$$

b) bilans masowy suchej substancji (s.s)

$$L_r \cdot C_p = L_k C_k,$$

stąd np.

$$W = L_r - L_k = L_r \left(1 - \frac{C_p}{C_k} \right),$$

lub

$$C_k = \frac{L_r}{L_k} C_p = \frac{L_r \cdot C_p}{L_r - W}$$

gdzie: L_r – masa początkowa roztworu;

L_k – masa końcowa roztworu;

W – masa wody.

W praktyce w przypadku określonej pracy aparatu występują ilościowe straty s.s. na skutek przywierania koncentratu do ścian aparatury i przerzutów części roztworów z oparami. Straty te mogą wynosić od 1-5% w zależności od właściwości roztworu, konstrukcji wyparki. Ponadto mogą następować straty o charakterze jakościowym, wynikające z nienależycie dobranej temperatury zateżnienia, która zależy od ciśnienia.

c) bilans cieplny:

$$Q_r + Q_p = Q_{sk} + Q_w + Q_k + Q_{st},$$

$$\begin{aligned} L_r C_r t_r + G_p (i'' - i') = \\ = G_{sk} i + W i + L_k C_k t_k + Q_{st}, \end{aligned}$$

gdzie: Q_r, Q_p – ciepło dostarczone z roztworem i parą grzejącą,
 Q_{sk}, Q_w, Q_k, Q_{st} – ciepło odprowadzone odpowiednio ze skroplinami, wodą chłodzącą, roztworem zateżnionym i stratami do otoczenia.

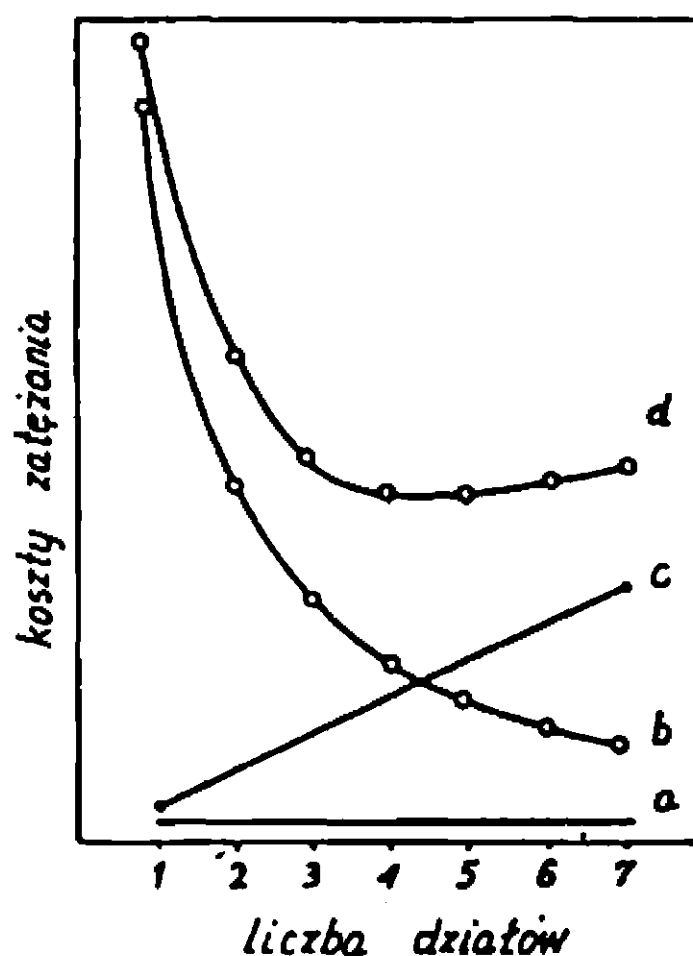
Ciepło dostarczone z parą Q_p zostaje zużyte na podgrzanie roztworu L_r do temperatury wrzenia, odparowanie wody i straty ciepłe z wtórną parą wodną ($Q_{sk} + Q_w$) i z produktem końcowym Q_k oraz stratami do otoczenia. Bilans cieplny i masowy mogą mieć również postać graficzną jako tzw. wykres Sankey'a.

Z powyższego bilansu cieplnego wynika, że odparowanie przebiega z różnym zużyciem energii w zależności od wielkości strat cieplnych z parą odlotową i wielkości strat do otoczenia. Wykorzystanie oparów do podgrzewania roztworu rozcieńczonego i właściwa izolacja aparatury zmniejsza jednostkowe zużycie energii do odparowania wody. Z bilansem energetycznym łączy się zasada oszczędności energii. W aparatach jednodziałowych zużycie masy pary do odparowania 1 kg wody wynosi około 1 kg. Jednostkowe zużycie pary może być znacznie obniżone przez zastosowanie wyparek wielodziałowych. Jak wiadomo, ciepło parowania wody zmienia się z temperaturą wrzenia, a temperatura ta zależy od ciśnienia, pod którym ciecz wrze. W aparatach wielodziałowych dział pierwszy i każdy poprzedni odparowuje wodę pod wyższym ciśnieniem i w wyższej temperaturze. Dział taki spełnia rolę wytwornicy pary dla działu następnego, w którym woda od-



parowuje w niższej temperaturze. Opary działu pierwszego oddają ciepło w dziale drugim z utworzeniem oparów drugiego działu, które oddają ciepło w dziale następnym. Dzięki temu jednostkowe zużycie pary w kg pary/kg wody zmniejsza się wraz z liczbą działów następująco:

		oszczędność [%]
– wyparka jednodziałowa	1	–
– wyparka dwudziałowa	0,5	50
– wyparka trzydziałowa	0,33	66
– wyparkaczterodziałowa	0,25	72
– wyparka pięciodziałowa	0,20	76



Rys. 1.1. Koszt zaleźania roztworów w zależności od liczby działów wyparki

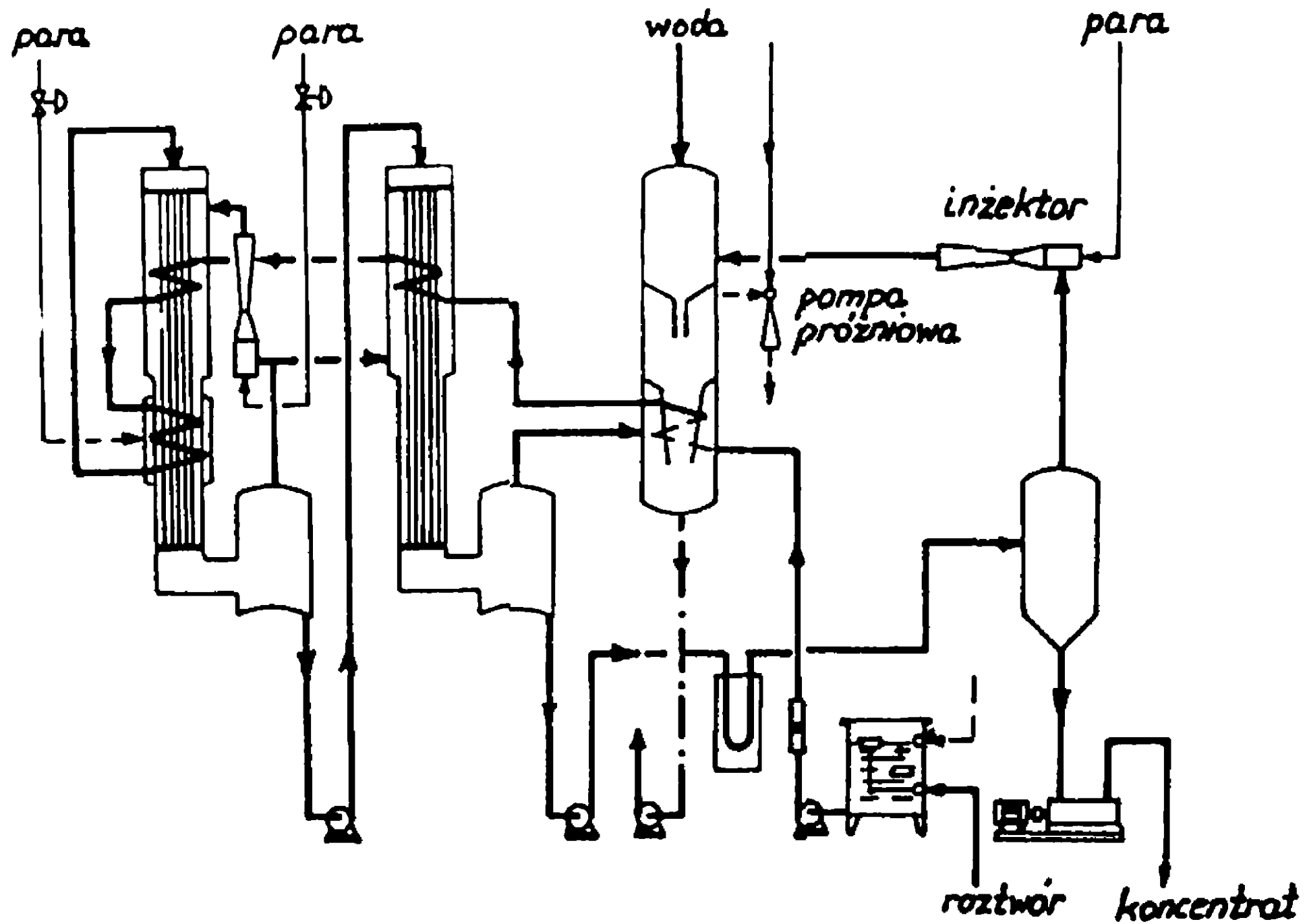
a – robocizna, b – koszt pary, c – koszt inwestycji, d – suma kosztów

Zwiększenie liczby działów zwiększa oszczędność energii, lecz w przypadku liczby działów powyżej trzech oszczędności energii są

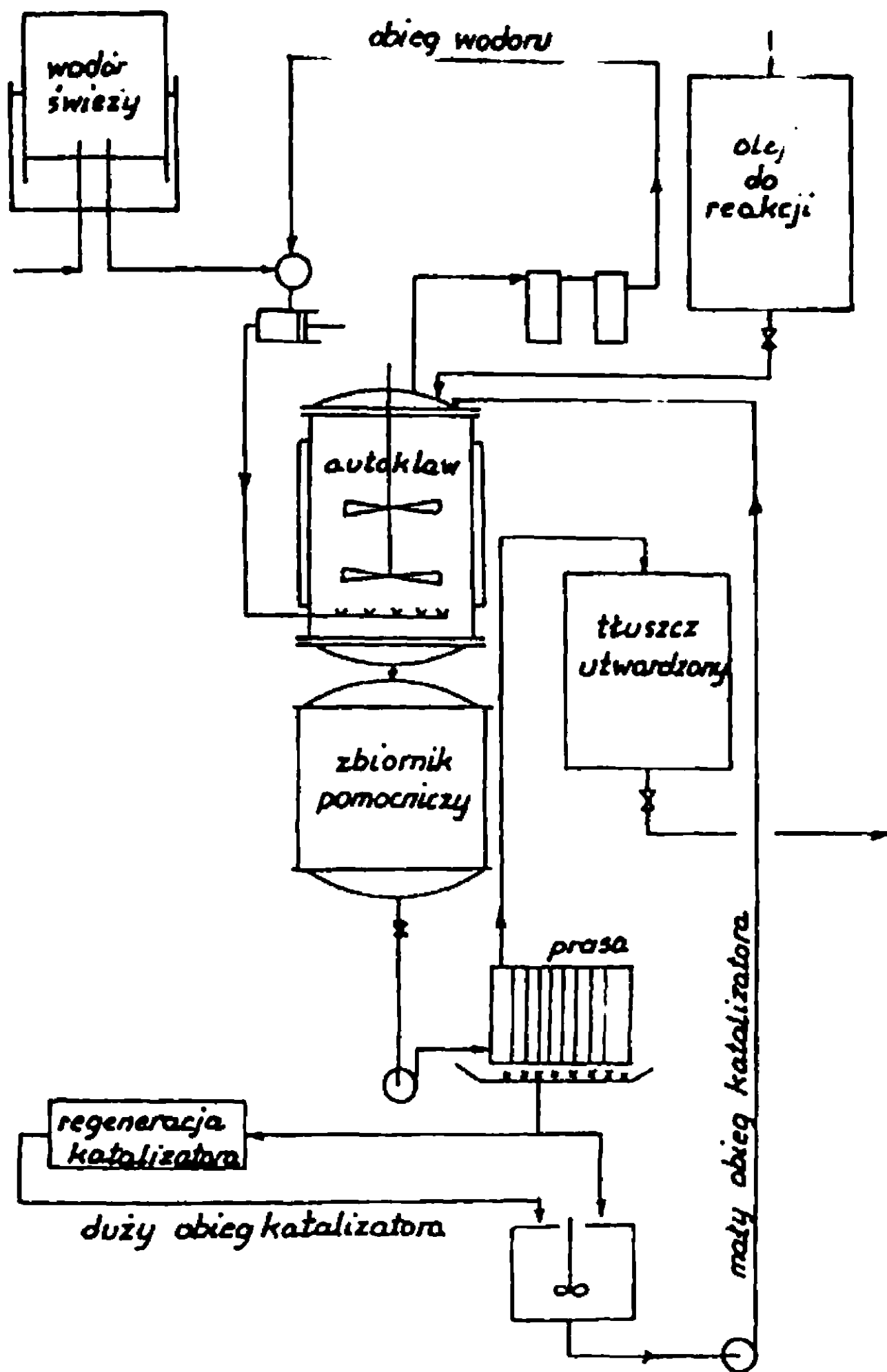
coraz mniejsze. Wraz ze wzrostem liczby działów w aparacie wyparnym zwiększa się koszt urządzeń i nakłady inwestycyjne. Koszt obsługi urządzenia jest stały, ponieważ ze wzrostem liczby działów nie ma potrzeby zwiększania liczby osób, które obsługują wyparkę. Z wykresu rys. 1.1. widać, że najmniejsza suma poniesionych kosztów zateżania występuje, gdy urządzenie wyparne liczy 4 działy. Ze wzrostem liczby działów zwiększa się temperatura wrzenia roztworu w pierwszym i drugim dziale. W związku z tym zateżaniu w temperaturze znacznie powyżej 100°C mogą być poddawane roztwory substancji odpornych na ogrzewanie w wysokich temperaturach. Do takich substancji należy sacharoza w lekko zasadowych roztworach wodnych. Dzięki temu w przemyśle cukrowniczym 4-5-działowe wyparki są stosowane powszechnie. Z kolei przy zateżaniu roztworów termolabilnych jak mleko, soki owocowe, roztwory glukozy, temperatura roztworów w pierwszym dziale nie może przekraczać $100-102^{\circ}\text{C}$ a w ostatnim 70°C . Dlatego roztwory tego rodzaju zateżają się w cienkwarstwowych wyparkach opadowych 2-3 działowych. Działanie dwudziałowej wyparki typu Wiegand zostało opisane na str. 144. Takie postępowanie można przypisać działaniu zasady kompromisu technologicznego lub zasady optymalnego prowadzenia procesu. Jednakże w wyparkach dwu- i jednodziałowych jednostkowe zużycie energii może być zmniejszone przez zastosowanie zasady kołowego obiegu energii. Zasada ta jest spełniona dzięki temu, że znaczna część energii zawartej w oparach i skroplinach zostaje wprowadzona w obieg kołowy przy użyciu strumienicy i przez wykorzystanie ciepła do podgrzewania roztworu rozcieńczonego. Para grzejna o ciśnieniu $0,8\text{ MPa}$ o temperaturze 70°C umożliwi zateżanie roztworu w temperaturze 60°C . Schemat w ten sposób zmodyfikowanej wyparki typu Wiegand jest przedstawiony na rysunku 1.2. Innym przykładem stosowania zasady oszczędności energii jest tzw. grawitacyjny przepływ masy w procesach ciągłych i okresowych.

Zasada kołowego obiegu masy jest powszechnie stosowana w nowoczesnym przemyśle spożywczym i chemicznym. Najpowszechniej stosuje się obieg wody technologicznej w cukrowniach. Innym ciekawym przykładem stosowania obiegu kołowego masy jest jednostkowy proces chemiczny uwodornienia tłuszczów przedstawiony na rysunku 1.3.





Rys. 1.2. Schemat dwustopniowej wyparki opadowej z rekompresją oparów i próżniowym ochładzaniem koncentratu



Rys. 1.3. Schemat uwodornienia tłuszczów z kołowym obiegiem wodoru i katalizatora

W procesie uwodornienia można wyróżnić trzy materiałowe obiegi kołowe:

a) obieg wodoru, który ze zbiornika magazynowego wchodzi do reaktora, po czym z autoklawu przechodzi przez płuczki z roztworem wodorotlenku sodowego w celu usunięcia kwasów tłuszczowych i dwutlenku węgla, a następnie przechodzi do komory mieszania, do której doprowadza się wodór świeży i w końcu wymieszane strumienie wodoru są skierowane ponownie do reaktora,

b) mały obieg katalizatora, który po zakończeniu reakcji jest oddzielany w prasie filtracyjnej od oleju utwardzonego, a następnie katalizator jest mieszany z olejem rafinowanym i wprowadzany do reaktora,

c) duży obieg katalizatora, który polega na usunięciu nieaktywnego katalizatora z procesu, poddaniu go regeneracji i uformowaniu świeżego, aktywnego katalizatora.

Stosowanie zasady oszczędności energii i zasady obiegu kołowego w wielu przypadkach wymusza stosowanie zasady ciągłości produkcji. Przykładem takiego współoddziaływania w.w. zasad jest zateżanie roztworów zawierających składniki termolabilne. W przypadku zainstalowania wysokosprawnej wyparki opadowej o działaniu ciągłym w miejsce wyparki okresowej wymaga zainstalowania urządzeń o działaniu ciągłym lub półciągłym do przygotowania roztworu rozcieńczonego i ewentualnie dalszej obróbki technologicznej koncentratu. W przeciwnym razie należałoby stosować niefunkcjonalne duże zbiorniki magazynowe. W liniach o działaniu ciągłym instalowane są jednak na wypadek awarii oraz postoju niewielkie zbiorniki retencyjne.

Procesom ciągłym przypisuje się następujące zalety:

- intensyfikację rozmiarów produkcji,**
- obniżenie kosztów jednostkowych,**
- ujednoczenie jakości produkcji na dobrym lub średnim poziomie,**
- stymulowanie lub konieczność automatyzacji.**

Do wad zalicza się:

- duży koszt inwestycyjny,**
- znaczne rozmiary strat w przypadku awarii lub niedotrzymania pożądanych warunków przebiegu procesu.**

Z prawa przenoszenia masy i energii oraz charakteru siły napędowej zjawiska, wynikają wspomniane wcześniej trzy zasady technologiczne, które wzajemnie się przenikają i uzupełniają.

Zasada prądów naturalnych oznacza, że kierunek przepływu płynów o różnej gęstości odbywa się zgodnie z kierunkiem siły grawitacji. W przypadku, gdy dwie ciecz o różnej gęstości będą w ruchu, wówczas ciecz o większej gęstości będzie przepływać ku dołowi, a ciecz o mniejszej gęstości może utrzymywać się długo w oddzielnej warstwie nad cieczą o większej gęstości. Najprostszym przykładem stosowania się do zasady prądów naturalnych jest laboratoryjna praktyka rozcieńczania kwasu siarkowego. Duży egzotermiczny efekt rozcieńczania i duża różnica gęstości powodują szybkie wyrównanie stężenia i temperatury roztworu, gdy kwas wlewany jest do wody. Przy niedozwolonym odwrotnym postępowaniu silny efekt termiczny powoduje ogrzanie wody i jej wypryskiwanie wraz z kwasem. Zasadę prądów naturalnych stosuje się powszechnie we wszelkiego rodzaju wymiennikach ciepła i skraplaczach. Opary lub ciecz gorąca wprowadzana jest u góry urządzenia i ochładzając się zwiększa swoją gęstość, a przez to spływa w dół, zaś ciecz chłodząca wprowadzana od dołu ogrzewa się, zmniejsza się jej gęstość i wypływa ku górze. Także zmiany gęstości roztworów spowodowane przez procesy ekstrakcji muszą przebiegać zgodnie z zasadą prądów naturalnych, aby można osiągnąć optymalne wyniki procesu. Tylko bowiem przy zachowaniu tej zasady siła napędowa ekstrakcji, jaką jest różnica stężeń, ma wartość najwyższą. Ekstrakcja jest procesem jednostkowym opartym na zjawisku wymiany masy i ciepła. Proces ten ma zastosowanie przemysłowe m.in. do wydobywania cukru i buraków i tłuszczu z nasion oleistych. Obecnie w skali przemysłowej stosuje się prawie wyłącznie urządzenia (ekstraktory) o działaniu ciągłym, których opis budowy i działania zamieszczony jest w p. 2.2.4.1. Analiza ciągłych procesów ekstrakcji wykazuje, że najkorzystniejszy jest proces przeciwprądowy, w którym siła napędowa ma stałą wartość i zapotrzebowanie cieczy jest możliwie najmniejsze, względnie może być łatwo regulowane i optymalizowane. Szybkość przenikania cukrów z krajanki buraczanej do wody, która jest ekstrahentem, wyraża się wzorem:

$$\frac{ds}{d\tau} = D A \cdot \frac{dc}{dx} \quad \text{gdzie} \quad D = \frac{k T}{\eta}$$

Z podanego wzoru widać, że szybkość dyfuzji $ds/d\tau$ rośnie wraz z różnicą stężeń dc i zmniejszeniem się drogi dyfuzji dx , a także jest proporcjonalna do temperatury ekstrakcji i odwrotnie proporcjonalna do lepkości.



Przy ustalonym przepływie przeciwprądowym ekstraktora (wody) w stosunku do krajanki o szybkości dyfuzji decyduje kształt i grubość krajanki oraz temperatura ekstrakcji. Z wzoru wynika, że teoretycznie najkorzystniejsze jest maksymalne skrócenie drogi dyfuzji, czyli maksymalne rozwinięcie powierzchni. Ze względu jednak na mechaniczne właściwości krajanki, tj. jej łamliwość, jedrność, niejednorodność, najkorzystniejsze jest stosowanie krajanki o ściśle określonym parametrze (liczba Silina). Takiej krajance odpowiada optymalne rozwinięcie powierzchni. Jest to w zgodzie z zasadą optymalnego rozwinięcia powierzchni.

Z podobnych względów temperatura ekstrakcji nie powinna być możliwie najwyższa, lecz optymalna, której wielkość w praktyce technologicznej wyznaczają takie zjawiska, jak: denaturacja białek komórkowych, termiczna odporność ścian komórkowych, przebieg określonych reakcji enzymatycznych i chemicznych, możliwość zakażeń mikrobiologicznych itp. W praktyce optymalna temperatura ekstrakcji cukru wynosi około 70°C, lecz ważny jest także jej rozkład wzdłuż ekstraktora.

Skrócony tok rozumowania w dochodzeniu do optymalizacji rozwinięcia powierzchni i temperatury wskazuje, że dochodzenie do zasady optymalizacji procesu jest poszukiwaniem dróg do znalezienia dogodnego kompromisu między poszczególnymi parametrami wpływającymi na proces w sposób przeciwstawny. Spośród wielu kryteriów optymalizacji w technologii żywności wybiera się kryterium minimum strat i minimum czasu na wytworzenie produktów.

1.5. Procesy cieplne w technologii żywności

Oddziaływanie cieplne na surowce i półprodukty żywnościowe oraz gotowe wyroby jest jedną z podstawowych cech procesów technologicznych prowadzonych w większości gałęzi przemysłu spożywczego.

Procesy cieplne, zarówno dostarczanie jak i doprowadzanie i odprowadzanie ciepła, są stosowane w technologii żywności w następujących etapach technologicznych i celach:

a) przy wstępnej obróbce i czyszczeniu surowców roślinnych oraz zwierzęcych,

- b) przy właściwym przetwarzaniu surowców w określone półprodukty i produkty,
- c) przy termicznym utrwalaniu żywności,
- d) w pracach pomocniczych związanych z czyszczeniem i wyjąłaniem urządzeń i aparatury.

Procesy cieplne towarzyszą lub umożliwiają wykonanie procesów jednostkowych.

1.5.1. Wpływ temperatury na żywność

Wpływ temperatury i czasu jej utrzymywania można rozpatrywać w odniesieniu do określonych wyrobów żywnościowych lub związków chemicznych. W pierwszym przypadku można mieć na uwadze surowce i wyroby żywnościowe potraktowane obróbką cieplną w warunkach tzw. dobrej praktyki przemysłowej. To jest w warunkach ustalonych doświadczeniem wielu pokoleń technologów i rzemieślników, zwłaszcza w aspekcie zmian jakości żywności. W drugim przypadku należy mieć na uwadze charakter i kierunek zmian chemicznych i fizycznych, jakie następują w określonych warunkach w odniesieniu do indywidualnych związków chemicznych lub ich mieszanin.

Umiarkowane ogrzewanie surowców żywnościowych w temperaturze $< 100^{\circ}\text{C}$ we wspomnianych warunkach dobrej praktyki przemysłowej lub kulinarnej nie zmniejsza na ogół wartości odżywczej lecz znacznie polepsza jej strawność i trwałość. Termiczna denaturacja białek nie obniża ich wartości biologicznych (wartości odżywczej) lecz ułatwia ich trawienie. Tłuszcze w tych warunkach są termostabilne. Cukry proste w naturalnych roztworach o odczynie kwasowym nie ulegają zmianie, jedynie sacharoza może ulec częściowej hydrolizie, zaś skrobia ulega skleikowaniu, dzięki temu wzrasta jej strawność. Względnie największe straty występują w przypadku witaminy C i B₁.

Ogrzewanie w temperaturach powyżej 100°C , np. w wyniku smażenia i pieczenia, podnosi wartość kulinarno-smakową lecz obniża wartość biologiczną białek na skutek zmian w aminokwasach i cukrach, które ulegają reakcji Maillarda. Ponadto część cukrów ulega odwodnieniu, diametryzacji i karmelizacji. Skrobia zaś ulega dekstrynizacji. Tłuszcze po przekroczeniu temperatury około 150°C ulegają częściowej hydrolizie z utworzeniem akroleiny. Witaminy C i część z grupy B ulegają w znacznym stopniu rozkładowi.



Widomym znakiem zachodzących zmian chemicznych jest zmiana barwy, najczęściej zbrunatnienie zwłaszcza powierzchniowych części żywności. Powstałe substancje barwne pochodzą z rozkładu cukrów lub powstają przy ich udziale. Wyróżnia się następujące grupy związków barwnych: melaniny, melanoidyny, substancje karmelowe, w przypadku roztworów zasadowych występują także barwne produkty rozkładu cukrów prostych.

Melaninami nazywa się mieszaninę wielkocząsteczkowych związków o barwie brunatnej i czarnej, które powstają wskutek enzymatycznego utleniania pochodnych fenolowych. Typowym substratem jest tyrozyna, która w obecności tlenu pod wpływem enzymu oksydazy o-dwufenolowej tworzy związki typu chinonów z pierścieniem indolowym, które następnie ulegają polimeryzacji z utworzeniem związków barwnych. Związki te tworzą niekiedy kompleksy z jonami żelaza i miedzi. Szybkie ciemnienie niektórych naturalnych roztworów technologicznych, jak soku z buraków i miazgi z rozartych ziemniaków jest powodowane powstawaniem melanin. Zapobieganie tworzenia się melanin polega na działaniu SO_2 . Optymalna dawka wynosi około 80 mg SO_2 /kg soku.

Melanoidyny są to barwne produkty reakcji Maillarda, która przebiega między aminokwasami i związkami karbonyłowymi, zwłaszcza cukrami redukującymi w roztworach o różnym odczynie i temperaturze. Spośród aminokwasów najaktywniejszymi substratami reakcji Maillarda są lizyna, kwas glutaminowy i kwas asparaginowy. Ze względu na reaktywność związki karbonyłowe można uszeregować w następującej kolejności: aldehyd glicerynowy > kwas galakturonowy > ketozy > aldozy.

Skomplikowany mechanizm reakcji Maillarda jest mało zbadany. W temperaturach niższych powstają grupy związków labilnych o charakterze prekursorów, które po ogrzaniu ulegają szybko polimeracji z utworzeniem produktów o barwie od jasnożółtej do brunatnej. Charakterystyczna barwa różnego rodzaju wyrobów poddanych smażeniu i pieczeniu jest spowodowana powstaniem produktów reakcji Maillarda. Produkty reakcji Maillarda mają zazwyczaj smak gorzki.

Karmelem nazywa się brunatną mieszaninę związków chemicznych o charakterze kwasowym, które powstają podczas prażenia węglowodanów lub ogrzewaniu ich roztworów w podwyższonej temperaturze. W produktach naturalnych poddanych obróbce cieplnej produkty karmelizacji powstają równocześnie z produktami reakcji Maillarda.

Ich wzajemne proporcje wynikają z udziału masowego aminokwasów i cukrów oraz zależą od reaktywności poszczególnych składników mieszaniny.

W procesach technologicznych związanych z wyodrębnianiem cukrów krystalicznych z roztworów technologicznych obecność związków barwnych jest niepożądana. Dlatego są one usuwane najczęściej w oparciu o zjawisko adsorpcji na powierzchni węgla wapniowego, węgla aktywnego oraz żywic jonowymiennych.

1.5.2. Rodzaje operacji cieplnych w technologii żywności

Obróbka termiczna surowców żywnościowych jest zagadnieniem bardzo złożonym. Wyróżnia się procesy związane z doprowadzeniem i odprowadzeniem ciepła. Wyróżnić można także procesy w zależności od celu wynikającego z ustalonej technologii. Najbardziej przejrzysty jest podział operacji cieplnych wynikających z zakresu stosowanych temperatur. Według rosnącej temperatury wyróżnia się następujące procesy technologiczne związane z wymianą ciepła lub wymianą ciepła i masy:

– zamrażanie	–40 ÷ –20°C
– skądowanie chłodnicze	–15 ÷ 10°C
– procesy fermentacyjne w obecności bakterii i drożdży	4 ÷ 40°C
– procesy enzymatyczne z udziałem preparatów pleśniowych	40 ÷ 60°C
– zatężanie roztworów termolabilnych	50 ÷ 70°C
– pasteryzacja surowców i wyrobów	70 ÷ 95°C
– krystalizacja izotermiczno-izochoryczna	60 ÷ 85°C
– blanszowanie	80 ÷ 95°C
– ekstrakcja	70 ÷ 100°C
– gotowanie	100°C
– suszenie	60 ÷ 120°C
– zatężanie roztworów termostabilnych	100 ÷ 125°C
– sterylizacja zwykła	115 ÷ 121°C
– sterylizacja błyskawiczna	130 ÷ 145°C
– smażenie	120 ÷ 180°C
– pieczenie	150 ÷ 200°C
– prażenie	140 ÷ 220°C



Z wyjątkiem zamrażania, składowania chłodniczego do prowadzenia wyżej wymienionych procesów technologicznych niezbędne są procesy cieplne związane z dostarczaniem ciepła. Są to: ogrzewanie bezciśnieniowe cieczy, zawiesin i układów dwuskładnikowych, autoklawowanie, tj. ogrzewanie pod zwiększonym ciśnieniem oraz odparowanie w różnych warunkach temperatury i ciśnienia.

Ruch ciepła w aparatach technologicznych przemysłu spożywczego jest opisany ogólnymi równaniami i prawidłami znanymi z wykładów inżynierii chemicznej, lecz ma wiele cech charakterystycznych wynikających z niestalonych warunków procesów. Przykłady podano w p. 2.2.2.

Z technologicznego punktu widzenia jest istotna także celowość oddziaływania cieplnego na materiał i zmiany jakie wywołuje w materiale działanie energii cieplnej w określonych warunkach. Dlatego celowe jest podanie bliższej charakterystyki niektórych specyficznych procesów cieplnych w ich aspekcie technologicznym. Dotyczy to tych procesów, które zostały pominięte w p. 2.2.2 i nie dotyczą procesów biotechnologicznych.

1. ogrzewanie ma na celu podwyższenie temperatury materiału do takiego poziomu, przy którym określone procesy technologiczne przebiegają w warunkach optymalnych. Jest to operacja pomocnicza lub pełni rolę procesu towarzyszącego. W operacjach cieplnych wymianę ciepła między ośrodkami o różnych temperaturach w większości przypadków prowadzi się sposobem przeponowym, za pośrednictwem przegrody metalowej a niekiedy i szklanej oraz sposobem bezprzeponowym, tj. przez umieszczenie surowców lub produktów spożywczych w czynniku grzejnym. Ma to miejsce w toku gotowania wyrobów w wodzie, smażeniu w tłuszczu, pieczeniu i prażeniu. W przypadku przeponowego ogrzewania za pośrednictwem pary grzejnej lub gorącej wody, wymianę cieplną prowadzi się zazwyczaj w przeciwprądzie ze względu na większą efektywność ogrzewania przeciwprądowego niż współprądowego. Bezprzeponowe współprądowe ogrzewanie prowadzi się w procesach suszenia, zwłaszcza typu dyspersyjnego, w celu uniknięcia nadmiernego podwyższenia temperatury produktu końcowego.

Źródłem ciepła w technologii żywności są paliwa stałe, ciekłe, gazowe oraz energia elektryczna, a nawet słoneczna (suszenie owoców).

Przy wyborze źródeł ciepła bierze się pod uwagę względy ekonomiczne oraz czynniki pozaekonomiczne, z których najważniejszymi są:

- wyeliminowanie zanieczyszczenia żywności opalem i produktami spalania,



- uniknięcie możliwości wybuchu,
- uzyskanie możliwości płynnej regulacji dopływu energii.

Te trzy warunki spełnia energia elektryczna, a częściowo także ogrzewanie gazowe i ogrzewanie za pomocą pary technologicznej.

2. pasteryzacja jest to proces, którego nazwa pochodzi od nazwiska sławnego chemika i biologa Ludwika Pasteura, który pierwszy wykazał, że szybkie ogrzewanie surowców żywnościowych w naczyniu zamkniętym i następnie szybkie schłodzenie zwiększa ich trwałość na skutek zabicia wegetatywnej mikroflory.

W przetwórstwie produktów spożywczych, a zwłaszcza w mleczarstwie rozróżnia się następujące rodzaje pasteryzacji:

- długotrwałą, w której temperaturę 62-65°C utrzymuje się przez 30 min,
- krótkotrwałą, w której temperaturę 72-75°C utrzymuje się przez 12-20 s,
- błyskawiczną, w której temperaturę 85-90°C utrzymuje się przez 2-5 s,
- wysoką, w której temperaturę 90°C utrzymuje się przez 2 min.

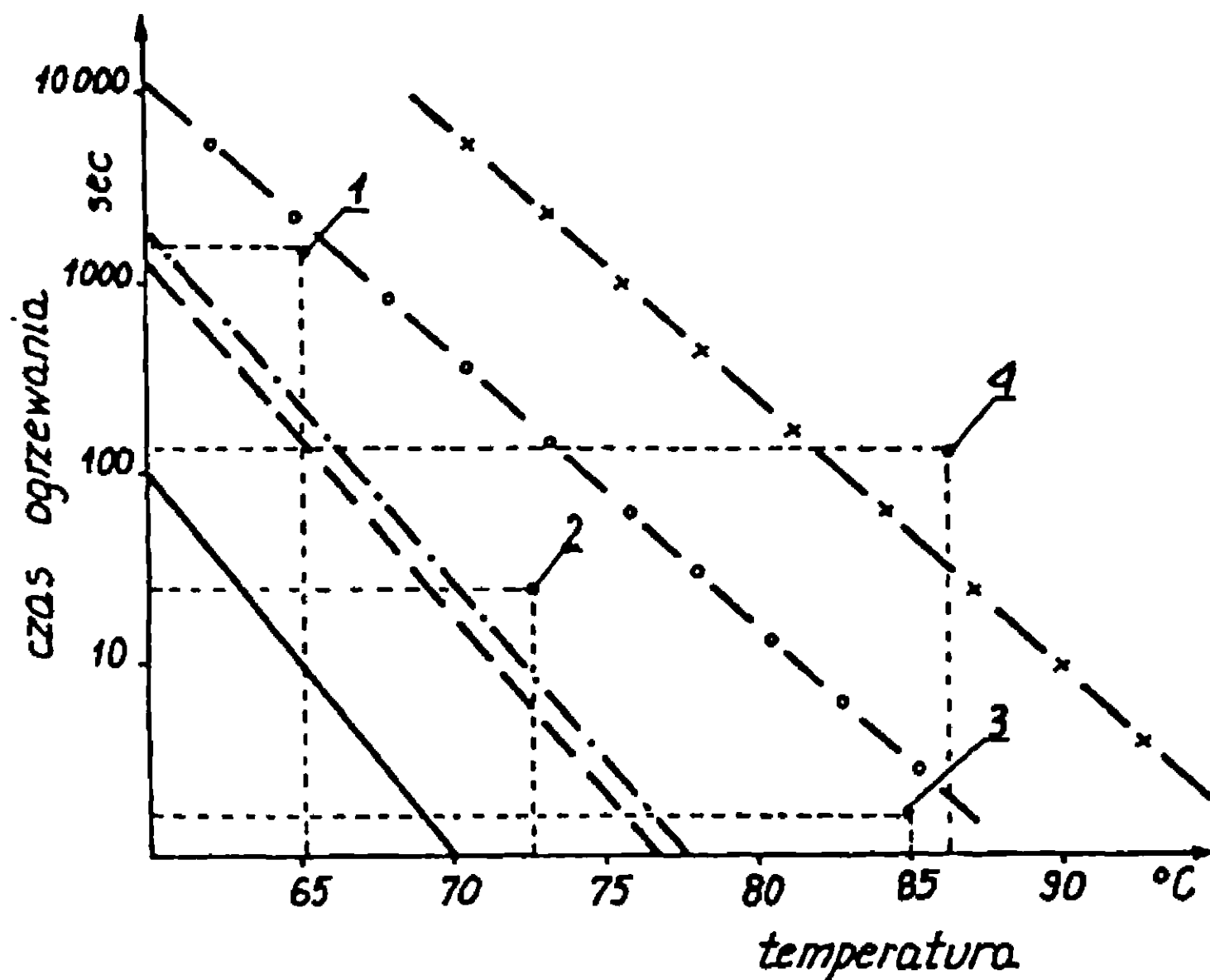
W przetwórstwie owoców i warzyw utrzymuje się zwykle temperatura 85-100°C przez 20-30 minut.

Liczne badania i wieloletnia praktyka pozwoliły ustalić warunki pasteryzacji poszczególnych surowców i przetworów, w których produkty pasteryzowane są wolne od szkodliwej mikroflory wegetatywnej, a równocześnie niepożądane zmiany jakościowe produktów na skutek ogrzewania są możliwie minimalne.

Na rysunku 1.4. przedstawiono zależność pomiędzy temperaturą pasteryzacji a czasem ogrzewania w sekundach. Dla każdego rodzaju drobnoustrojów, enzymów i substancji występuje w skali półlogarytmicznej zależność liniowa pomiędzy całkowitym zniszczeniem wegetywnym form drobnoustrojów i enzymów lub stopniem denaturacji białek a temperaturą i czasem jej utrzymywania. Skuteczność w.w. rodzajów pasteryzacji mleka zaznaczono na rysunku 1.4. punktami 1-4. Z wykresu widać, że skutek działania pasteryzacji długotrwałej, krótkotrwałej i błyskawicznej jest podobny. W wyniku jej wykonania zostają zniszczone bakterie coli i bakterie gruźlicy oraz enzym fosfataza kwaśna, denaturacja zaś białek jest minimalna. Ze względu na skutek, te trzy rodzaje pasteryzacji określa się mianem pasteryzacji niskiej. Prosty sposób wyznaczania jej skuteczności polega na oznaczeniu aktywności enzymu fosfatazy kwaśnej. Z wykresu 1.4. widać, że ogrzewanie mleka



w temperaturze 85°C przez 120 sekund (2 min.) powoduje znaczną denaturację białek – punkt 4. Dlatego ten rodzaj pasteryzacji ze względu na jej skutek określa się mianem pasteryzacji wysokiej.

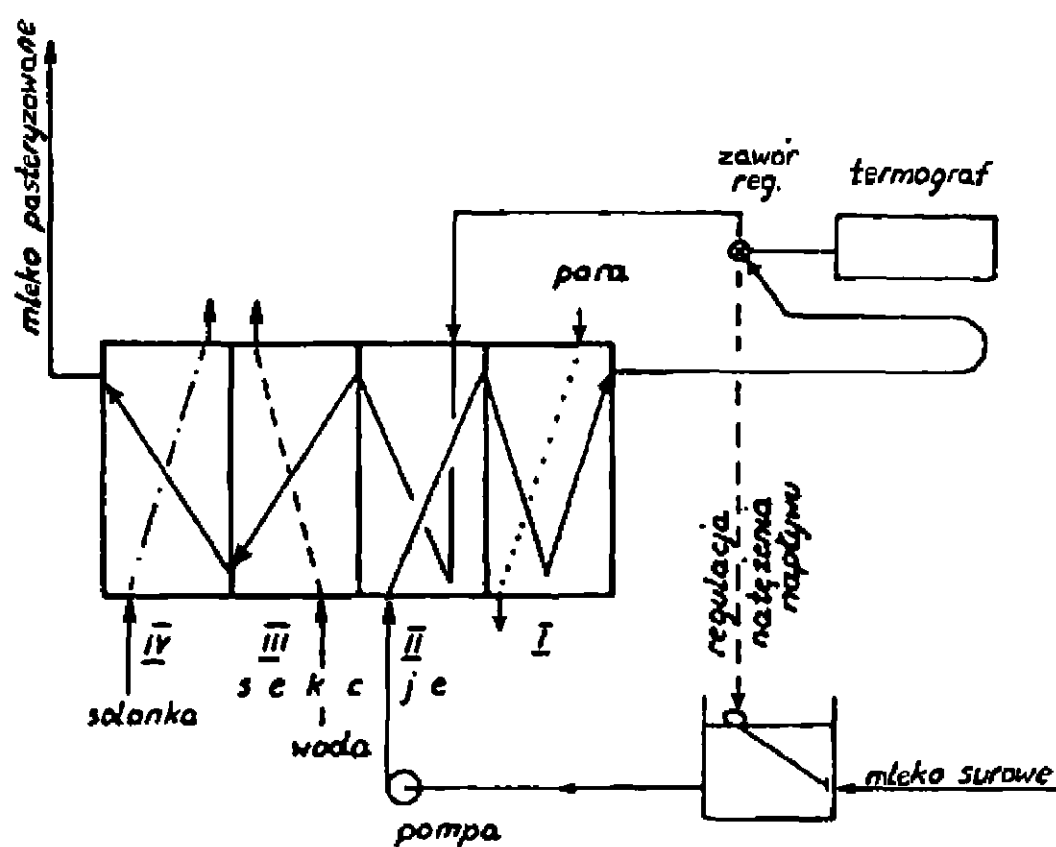


Rys. 1.4. Warunki pasteryzacji i kryteria w wielosekcyjnym pasteryzatorze płytowym

– całkowite zniszczenie bakterii Coli, – – całkowite zniszczenie bakterii gruźlicy, –·– całkowita dezaktywacja fosfatazy, –•– denaturacja 5% białek mleka, –+– denaturacja 10% białek mleka

warunki pasteryzacji: 1 – długotrwałej, 2 – krótkotrwałej, 3 – błyskawicznej, 4 – „wysokiej”

Należy podkreślić fakt, że mleko pasteryzowane w warunkach pasteryzacji niskiej nie jest wolne od drobnoustrojów ciepłolubnych i dla uzyskania kilkudniowej trwałości jest przechowywane w temperaturze 2-3°C. Pasteryzację prowadzi się w pasteryzatorach okresowych i ciągłych. Obecnie w mleczarstwie powszechnie stosuje się ciągłe pasteryzatory płytowe (rys. 1.5). W aparatach płytowych, zestawionych w plakiety z faliście tłoczonych płyt ze stali kwasoodpornej, czynnik grzejny para lub gorące mleko przepływają przeciwnie do mleka surowego. Falisty kształt płyt zwiększa ogólną powierzchnię kontaktu wymiany ciepła oraz zapewnia burzliwy przepływ cieczy. Wysokość temperatury i jej rozkład w czasie w mleku poddanym pasteryzacji jest kontrolowany termografem, z którego sygnał idący na zawór regulujący napływ mleka surowego umożliwia optymalne prowadzenie pasteryzacji w pożądanym warunkach.



Rys. 1.5. Schemat ciągłej pasteryzacji w wielosekcyjnym pasteryzatorze płytowym

I – sekcja pasteryzacji, II – wymiennik ciepła, III – sekcja schładzania wodą, IV – sekcja oziębiania solanką

3. blanszowanie jest to krótkotrwałe ogrzewanie umytych warzyw i owoców w temperaturze 80-95°C i szybkie schłodzenie do temperatury

20°C. Celem blanszowania jest inaktywacja oksydaz, zwłaszcza tyrozy-
nazy, która powoduje ciemnienie surowców o jasnym mięszu, takich
jak: jabłka, gruszki, groszek. W toku blanszowania następuje także
denaturacja białek w warstwie powierzchniowej owoców i warzyw,
dzięki temu ograniczony jest wyciek soku komórkowego z surowców
w toku ich dalszej obróbki. Blanszowanie może być prowadzone przez
krótkotrwałe bezprzeponowe działanie pary na surowiec lub przez
zanurzenie surowców w gorącej wodzie. Ten ostatnio wymieniony
proces nosi nazwę blanszowania immersyjnego i jest często prowadzo-
ny sposobem ciągłym w urządzeniach ze ślimakowym transportem
surowców (blanszowanie typu Rietza).

4. gotowanie jest to termiczna operacja technologiczna, która polega
na utrzymywaniu medium technologicznego w stanie wrzenia lub
w temperaturze nieco niższej niż 100°C w czasie od około 30 minut do
kilku godzin. Proces ten jest specyficzny dla różnych gałęzi przemysłu
spożywczego.

W przemyśle mięsnym pod terminem gotowania rozumie się działa-
nie wody, pary wodnej lub wilgotnego gorącego powietrza w tem-
peraturze około 100°C. Celem tego procesu w zależności od czasu
działania jest częściowa lub całkowita denaturacja białek w surowcu.
W zależności od rodzaju czynnika grzejjego rozróżnia się następujące
procesy:

- obgotowanie, tj. działanie wody lub pary w temperaturze 80-100°C
przez kilka minut w celu powierzchniowego ścięcia białek, jest to
zabieg podobny do blanszowania,
- gotowanie wędzonek w wodzie o temperaturze 100°C przez 1-4
godzin w celu denaturacji białka w całej masie,
- parzenie, tj. działanie wody lub pary wodnej w temperaturze 80-95°C
przez kilka godzin.

W przemyśle owocowo-warzywnym proces gotowania występuje
w tzw. operacji gotowania kompotów w słojach w celu ich spaste-
ryzowania. Proces prowadzi się w wannach pasteryzacyjnych, tj.
zbiornikach z rusztowym dnem, na którym ustawione są słoje z kom-
potem. Słoje są zanurzone w wodzie, którą ogrzewa się bezprzeponowo
parą do temperatury 90-96°C.

Typowy proces gotowania zachodzi w toku chmielenia brzezki
piwnej, który polega na utrzymaniu przefiltrowanej brzezki piwnej
z dodatkiem chmielu w stanie łagodnego wrzenia w czasie około dwóch

godzin. W toku procesu następuje ekstrakcja żywic chmielowych i koagulacja białek, przez co uzyskuje się odpowiednią klarowność i gorycz brzeczki chmielowej. Tradycyjnie proces ten w browarnictwie nazywa się warzeniem brzeczki piwnej, ponieważ gotowanie prowadzi się w stanie wrzenia.

Z kolei w przemyśle cukrowniczym termin gotowanie cukrzycy jest określeniem tradycyjnym dla procesu krystalizacji cukru prowadzonego w temperaturze około 75°C w stanie wrzenia roztworu pod zmniejszonym ciśnieniem z równoczesnym oddestylowaniem wody i z doprowadzeniem świeżych porcji soku gęstego (dociągów). W aspekcie poznawczym proces ten jest lepiej rozpatrywać jako proces krystalizacji prowadzonej metodą izotermiczno-izochoryczną. Proces cieplny w tym przypadku towarzyszy złożonym przemianom natury fizykochemicznej.

5. autoklawowanie jest to nazwa procesu cieplnego prowadzonego pod zwiększonym ciśnieniem w temperaturze powyżej 100°C w celu uzyskania pełnej jałowości produktów żywnościowych lub uzyskania pożądanych efektów technologicznych, a zwłaszcza wykonania reakcji np. hydrolizy niektórych węglowodanów i białek. Autoklawowanie jest procesem cieplnym umożliwiającym wykonanie procesów chemicznych w okresowych i ciągłych reaktorach zwanych także konwertorami. Zastosowanie autoklawowania do procesów chemicznych w technologii żywności zawiera p. 2.3., zaś do procesów utrwalania żywności p. 3.2. i p. 3.3.

6. odparowanie jest metodą oddzielania nadmiaru rozpuszczalnika od innych składników roztworu w temperaturze wrzenia. Odparowanie jest więc jedną z metod zatężania roztworów, do których zalicza się jeszcze odwróconą osmozę i kriokoncentrację (p. 2.2.2.).

W przemyśle spożywczym bardzo często odparowanie prowadzi się pod zmniejszonym ciśnieniem, dzięki temu wrzenie następuje w niższych temperaturach, a to z kolei chroni wiele składników roztworu przed niepożądanymi zmianami.

Większość roztworów zatężanych w przemyśle spożywczym charakteryzuje się małym stężeniem. Zawartość suchej substancji waha się w granicach 5-20%; serwatka – 5%; soki owocowe – 10%; mleko – 12%; sok buraczany – 17%. Dlatego konieczne jest usunięcie dużej ilości wody, a zgodnie z zasadą minimalnego zużycia energii niezbędne jest stosowanie wielodziałowych aparatów wyparnych, do-



stosowanych pod względem temperatury roztworów w odpowiednich działach do specyficznych cech tych roztworów (1.4). Uwzględniając optymalne warunki pracy urządzeń oraz ekonomiczną stronę procesu, do odparowania w poszczególnych przemysłach stosuje się różne typy wyparek. Warto podkreślić, że w przemyśle cukrowniczym zadaniem wyparki jest nie tylko odparowanie roztworu, ale także dostarczanie pary niskociśnieniowej do określonych celów technologicznych.

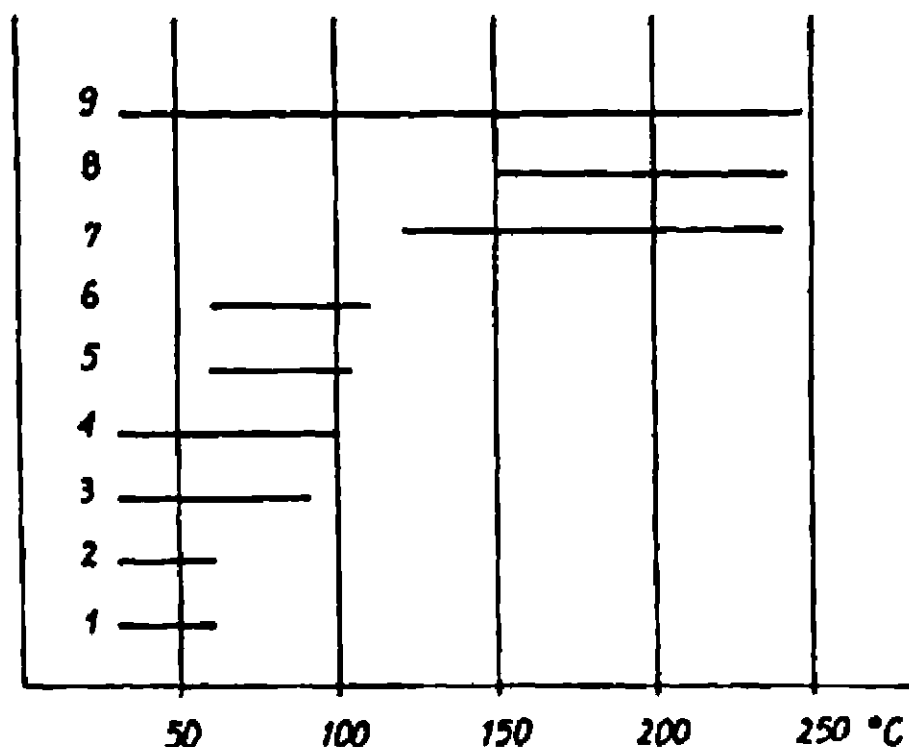
7. **smażenie** polega na ogrzewaniu surowców roślinnych i zwierzęcych w ciekłym ośrodku, zwykle tłuszczu o temperaturze 150-190°C, a niekiedy w syropie cukrowym w temperaturze około 150°C. Smażenie w tłuszczu takich surowców jak mięso, ryby, plastry ziemniaczane prowadzi do utworzenia na powierzchni smażonych materiałów kruszej brunatnej skórki o charakterystycznym aromacie. Jest to wynik przebiegu procesu dekstrynizacji, karmelizacji oraz przebiegu reakcji Maillarda. Wewnątrz naturalnych surowców temperatura nie przekracza 100°C, a zatem materiał ulega ugotowaniu. Smażone produkty w zależności od ich struktury, porowatości, wchłaniają od 10-40% tłuszczu.

Smażenie jest rozpowszechnionym zabiegiem kulinarnym oraz jest stosowane w przemyśle spożywczym głównie w następujących dziedzinach:

- przy produkcji konserw rybnych,
- przy produkcji frytek ziemniaczanych,
- przy wypieku pączków,
- przy sporządzaniu konfitur, tj. w toku wysycania owoców syropem cukrowym z jednoczesnym usunięciem wody.

Do przemysłowego smażenia stosuje się odpowiednie panwie i wanny ogrzewane elektrycznie lub parowo.

8. **pieczenie** jest typowym procesem cieplnym przemysłu piekarskiego i ciastkarskiego i polega na utrzymywaniu uformowanego ciasta w piecu piekarskim o temperaturze 180-250°C w czasie około jednej godziny. Pieczywo jedynie na powierzchni ogrzewa się do 170°C z utworzeniem pożądanej skórki w pieczywie. Temperatura zaś miąższu powoli wzrasta od temperatury około 30°C do 100°C. W czasie stopniowego nagrzewania się ciasta występują kolejno następujące procesy fizyczne, enzymatyczne i chemiczne (rys. 1.6.).



Rys. 1.6. Zakresy temperatur, w których przebiegają wybrane procesy w toku pieczenia ciasta w piecu piekarskim
 1 – „podnoszenie ciasta”, 2 – aktywność drożdży, 3 – aktywność enzymów, 4 – wzrost objętości gazów, 5 – koagulacja białek, 6 – „żelowanie” skrobi, 7 – dekstrynizacja, 8 – brunatnienie, 9 – utlenianie i estryfikacja (zmiana zapachu)

9. prażenie jest to najbardziej drastyczny proces termiczny, w którym surowce zwykle roślinne są poddawane ogrzewaniu w temperaturze 150-220°C w celu uzyskania pożądanych zmian smakowo-zapachowych lub technologicznych.

Łagodne prażenie w temperaturze około 130°C ma miejsce przy prażeniu (upalaniu) nasion kakaowych w celu uzyskania właściwej barwy i aromatu, usunięcia cierpkości i ułatwienia wytłaczania tłuszczu z nasion tzw. masła kakaowego stosowanego do produkcji czekolady.

Przy prażeniu nasion kawy naturalnej temperatura wynosi 160-200°C. W podobnych warunkach prażone są nasiona jęczmienia i cykorii, z których otrzymuje się ekstrakty namiastek kawy.

W skali przemysłowej ważny jest także proces produkcji dekstryn, który polega na prażeniu mączki ziemniaczanej z dodatkiem 0,1% kwasu solnego lub azotowego w temperaturze 140-180°C w czasie około 1 godziny. W zależności od temperatury i czasu uzyskuje się odpowiednio tzw. dekstryny białe i żółte.

Prażenie surowców prowadzi się w retortach lub obrotowych piecach. Do produkcji dekstryn stosuje się retorty okresowe i retorty obrotowe o działaniu ciągłym.

2. PODSTAWOWE PROCESY W TECHNOLOGII ŻYWNOŚCI

2.1. Procesy mechaniczne

2.1.1. Rozdrabnianie

Rozdrabnianie jest takim rodzajem oddziaływania na materiały, które prowadzi do zmniejszenia cząstek tego materiału. Polega ono na wywołaniu w materiale naprężeń przekraczających jego wytrzymałość i spójność, dzięki czemu materiał rozpada się na cząstki mniejsze od wyjściowych.

Przez rozdrabnianie uzyskuje się zwiększenie powierzchni właściwej materiału, co sprzyja intensyfikacji wielu procesów fizykochemicznych. Ze względu na intensywność i stopień zaawansowania procesu, rozdrabnianie materiałów roślinnych i zwierzęcych można podzielić na rozdrabnianie tkankowe i rozdrabnianie komórkowe. Rozdrabnianie tkankowe polega na rozczłonkowaniu dużych fragmentów materiału z maksymalnym zachowaniem struktury komórkowej. Prowadzone jest głównie w celu przygotowania materiału do dalszej obróbki przez ujednoczenie wielkości cząstek, zapewnienie właściwego przebiegu procesów dyfuzyjnych wymiany masy i ciepła. W zakresie tego typu rozdrabniania wyróżniamy takie procesy jak:

- a) łamanie,
- b) krajanie,
- c) szarpanie.

W odróżnieniu od tego rodzaju procesów, rozdrabnianie komórkowe jest bardziej intensywnym oraz precyzyjnym oddziaływaniem mechanicznym na materiał. Celem tego procesu jest całkowita dezinteg-



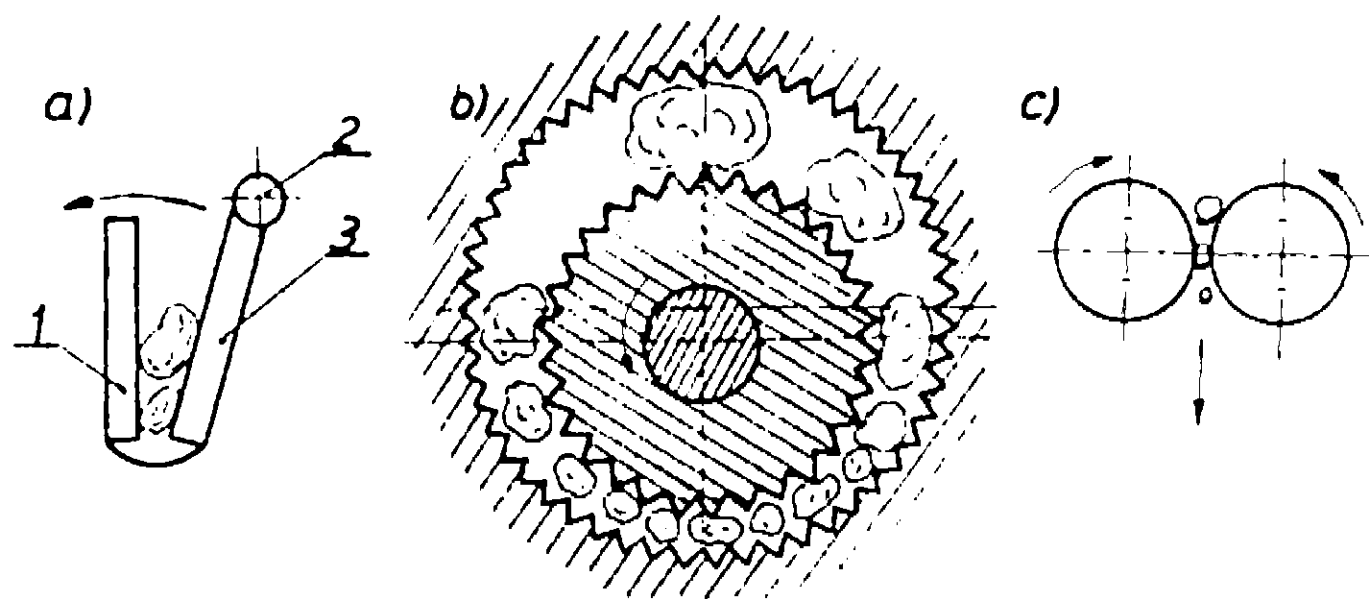
racja struktury komórkowej i uzyskanie bardzo małych (zwykle poniżej $50\mu\text{m}$) wymiarów cząstek materiału. Najczęściej rozdrabnianie komórkowe jest działaniem wtórnym, poprzedzonym obróbką rozdrabniania tkankowego. Duży stopień rozdrobnienia komórkowego, czyli zmielenie materiału, można zapewnić przez zastosowanie różnego rodzaju gniotowników i młynów lub homogenizatorów.

Przykłady procesów i urządzeń rozdrabniających.

1) łamanie (kruszenie lub śrutowanie) jest procesem, który stosuje się zwykle do rozdrabniania dużych brył materiałów kruchych na cząstki o wymiarach liniowych kilku centymetrów. Służą do tego celu łamacze szczękowe, stożkowe i walcowe (rys. 2.7).

Łamacze służą między innymi do rozdrabniania węgla, kamienia wapiennego itp.

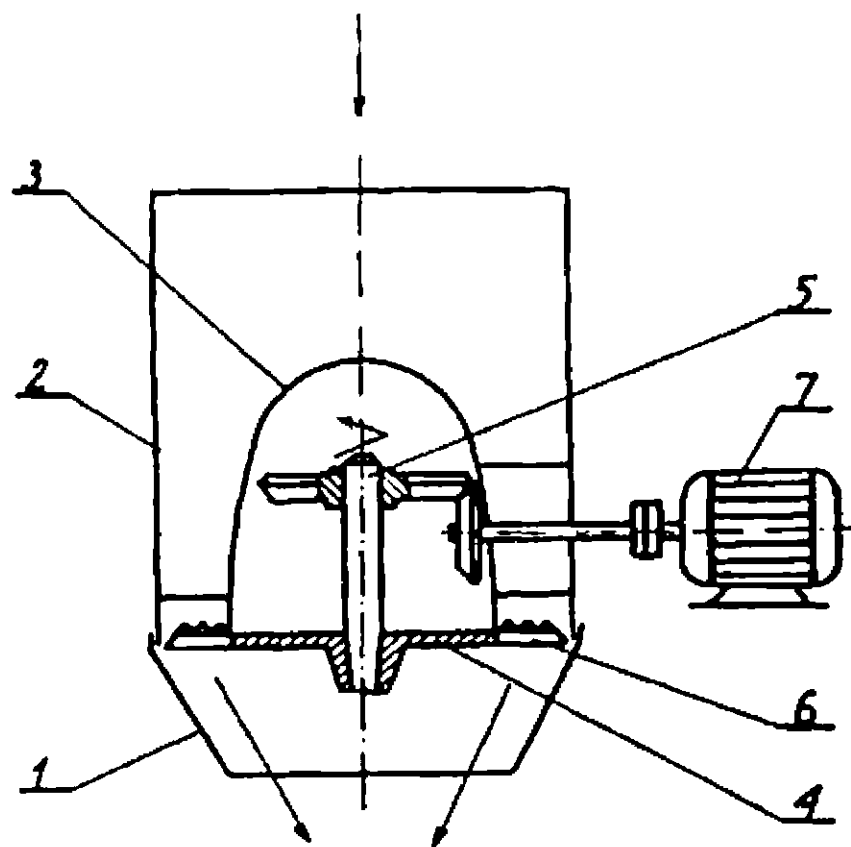
2) krajanie bywa najczęściej stosowane jako rozdrabnianie formujące krajankę warzyw i owoców kierowanych następnie do dalszej obróbki celem wymiany masy i ciepła.



Rys. 2.7. Łamacze: a – łamacz szczękowy; b – łamacz stożkowy; c – gniotownik walcowy;

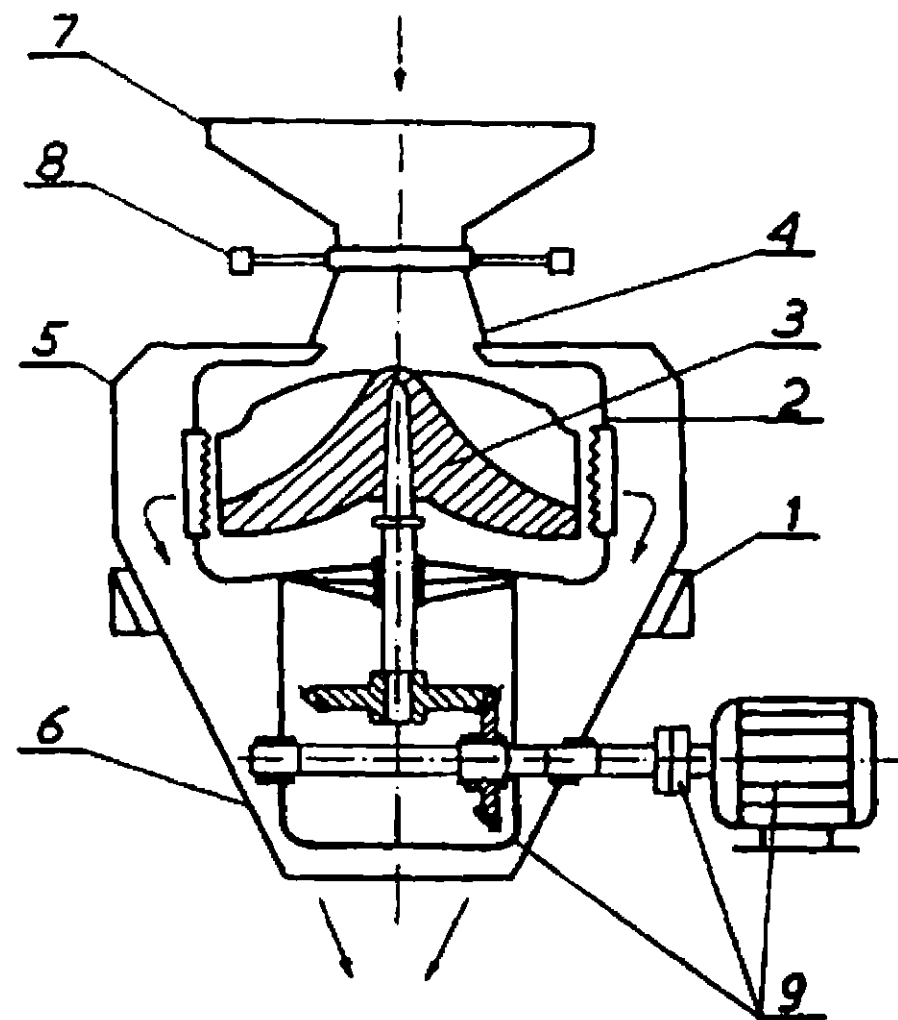
1 – szczęka nieruchoma, 2 – mechanizm nacisku, 3 – szczęka ruchoma

Przykładem zastosowania procesu krajania w wielkiej skali, jest otrzymywanie specjalnej krajanki korzeni buraczanych celem poddania jej dyfuzji dla wydobycia z niej cukru. Do krojenia korzeni buraczanych mają zastosowanie dwa typy krajalnic (rys. 2.8 i 2.9). Poza krajaniem specjalnym buraków w przemyśle spożywczym stosuje się powszechnie



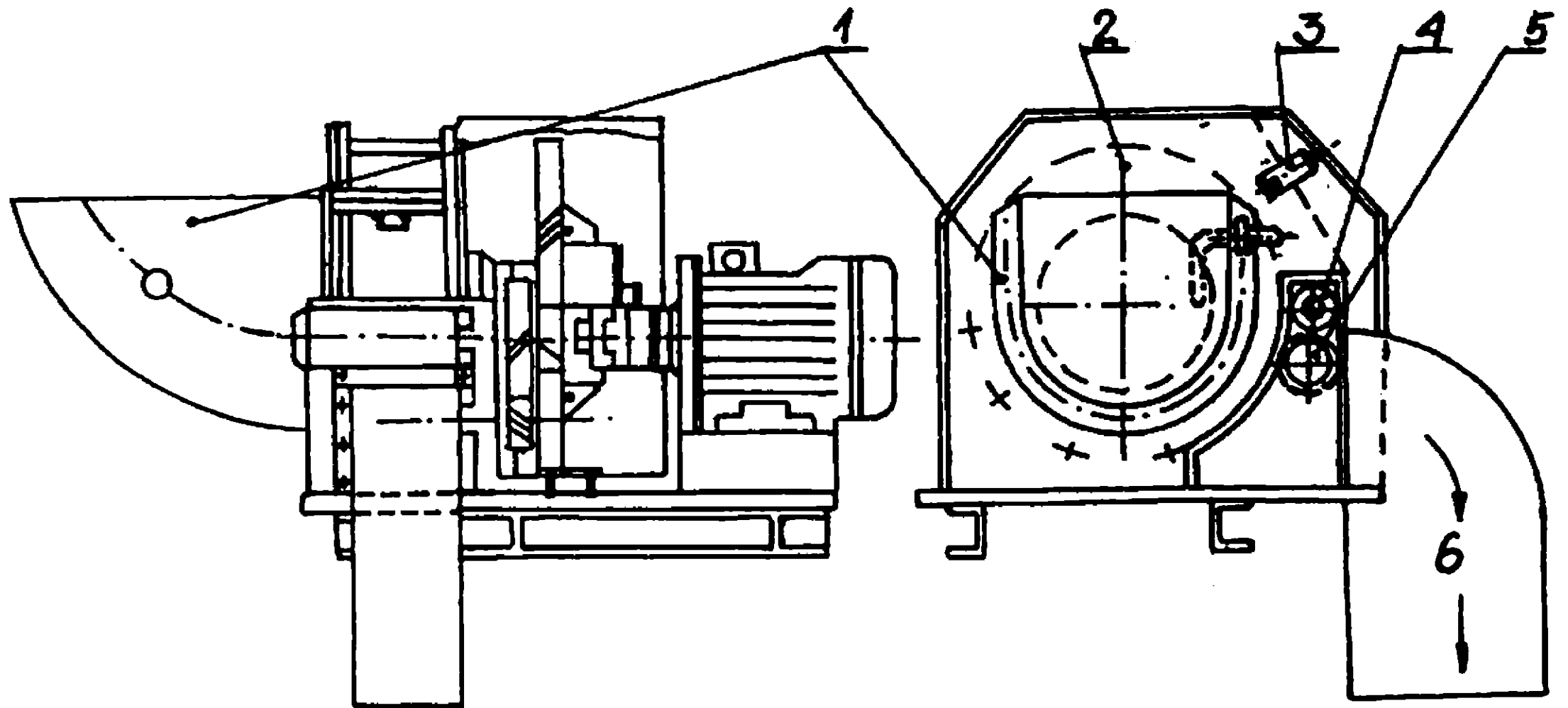
Rys. 2.8. Schemat krajalnicy tarczowej

1 – zsyp krajanki; 2 – zasobnik; 3 – stożek unieruchamiający; 4 – tarcza z nożami; 5 – oś napędu tarczy; 6 – noże; 7 – napęd obrotu tarczy



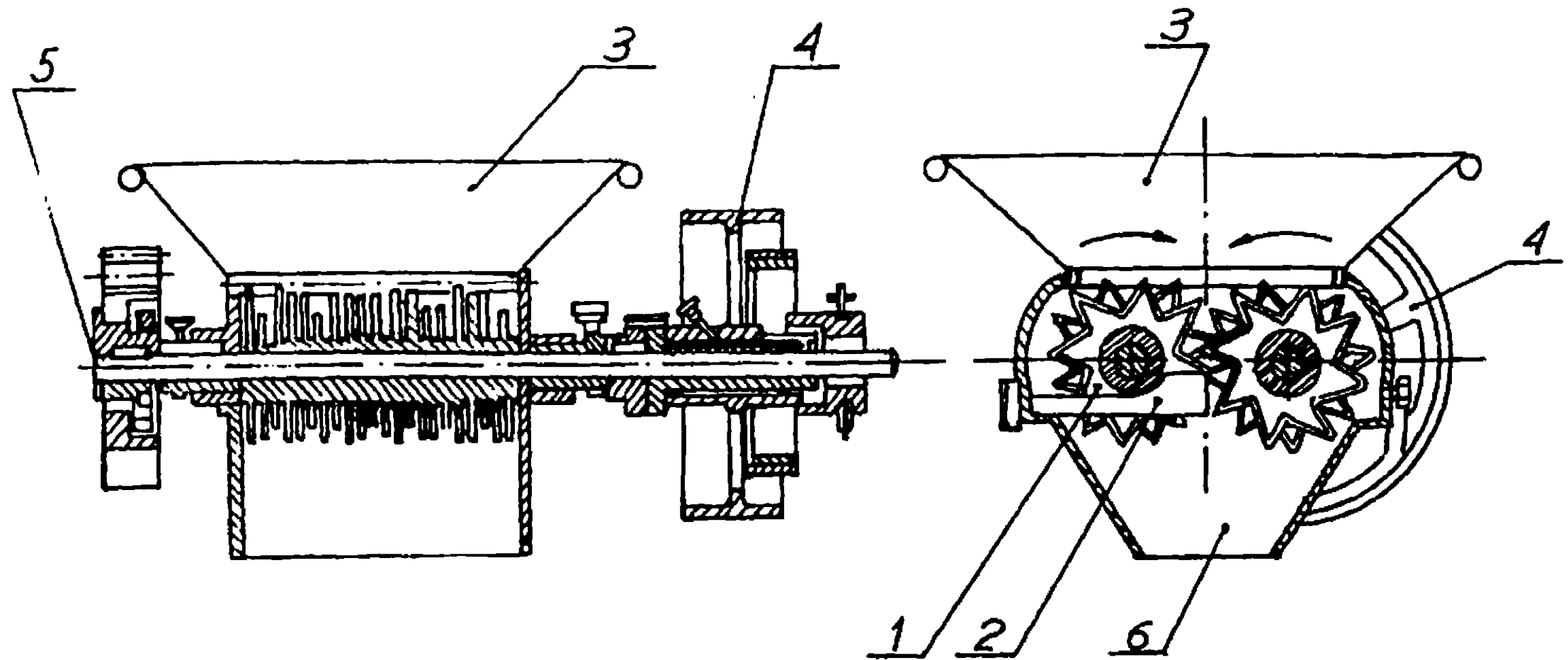
Rys. 2.9. Schemat krajalnicy odśrodkowej

1 – podstawa zawieszenia; 2 – bęben nieruchomy z nożami; 3 – wirujący zbiornik; 4 – zasyp; 5 – obudowa; 6 – zsyp krajanki; 7 – zasobnik; 8 – przepustnica; 9 – napęd obrotu tarczy



Rys. 2.10. Krajalnica uniwersalna

1 – zsyyp; 2 – bęben wirujących łopatek; 3 – nastawny nóż stały; 4 – noże krążkowe; 5 – bęben z nożami obwodowymi; 6 – wylot krajanki



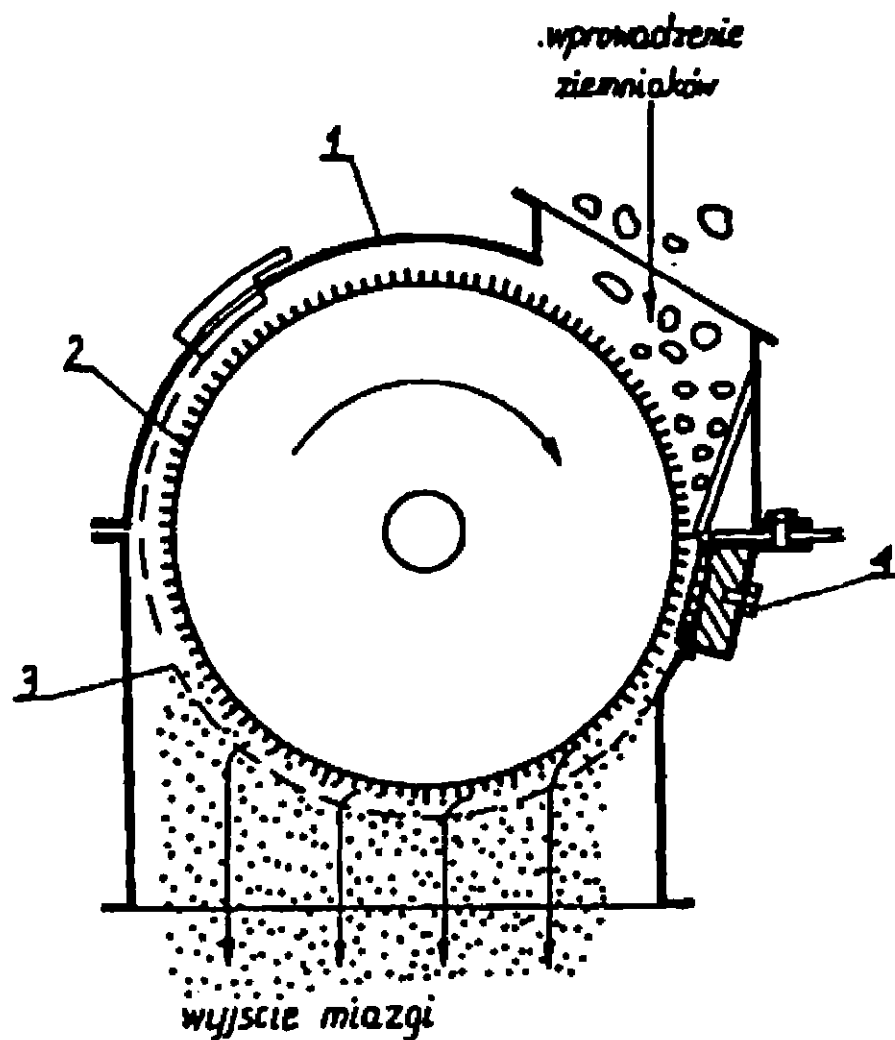
Rys. 2.11. Szarpak dwubębnowy

1 – bęben zębaty; 2 – ruszt; 3 – lej załadowczy; 4 – napęd; 5 – przekładnia nastawna; 6 – wylot miazgi

krajanie owoców i warzyw na różnorodne kształty krajanki, a przede wszystkim na plasterki, słupki i kostkę. Służą do tych celów różnorodnej konstrukcji krajalnice suwakowe, a przede wszystkim krajalnice odśrodkowe. Na uwagę zasługuje tu krajalnica odśrodkowa do warzyw. Krajalnica ta jest urządzeniem o dużej uniwersalności, umożliwiając otrzymywanie krajanki w formie plasterków, a przez wmontowanie dodatkowych noży krążkowych umożliwia formowanie słupków i kostki (sześciątów), (rys. 2.10).

3) szarpanie – to proces, który stosuje się głównie do rozdrabniania materiałów miękkich i elastycznych. W szczególności szarpaki stosuje się do rozdrabniania na miążgę warzyw, owoców i mięsa.

Przykładami szarpaków są: szarpak dwubębnowy i tarka do rozdrabniania ziemniaków, (rys. 2.11 i 2.12).



Rys. 2.12. Schemat tarki do ziemniaków

1 – obudowa; 2 – bęben wirujący z piłkami obwodowymi;
3 – sito; 4 – kłoc regulowany

4) mielenie materiałów czyli rozdrabnianie komórkowe może być zrealizowane dzięki zgniataniu, zderzaniu oraz działaniu sił ścinających, powstających podczas przesuwania się i tarcia powierzchni względem

materiału rozdrabnianego. Mielenie może być zastosowane w odniesieniu do materiału sypkiego względnie do płynnych zawiesin cząstek ciała stałego w środowisku ciekłym. Wśród urządzeń służących do mielenia materiałów wyróżniamy:

- gniotowniki walcowe i obiegowe,
- młyny żarnowe, tarczowe i walcowe,
- młyny kulowe,
- młyny udarowe,
- młyny pneumatyczne.

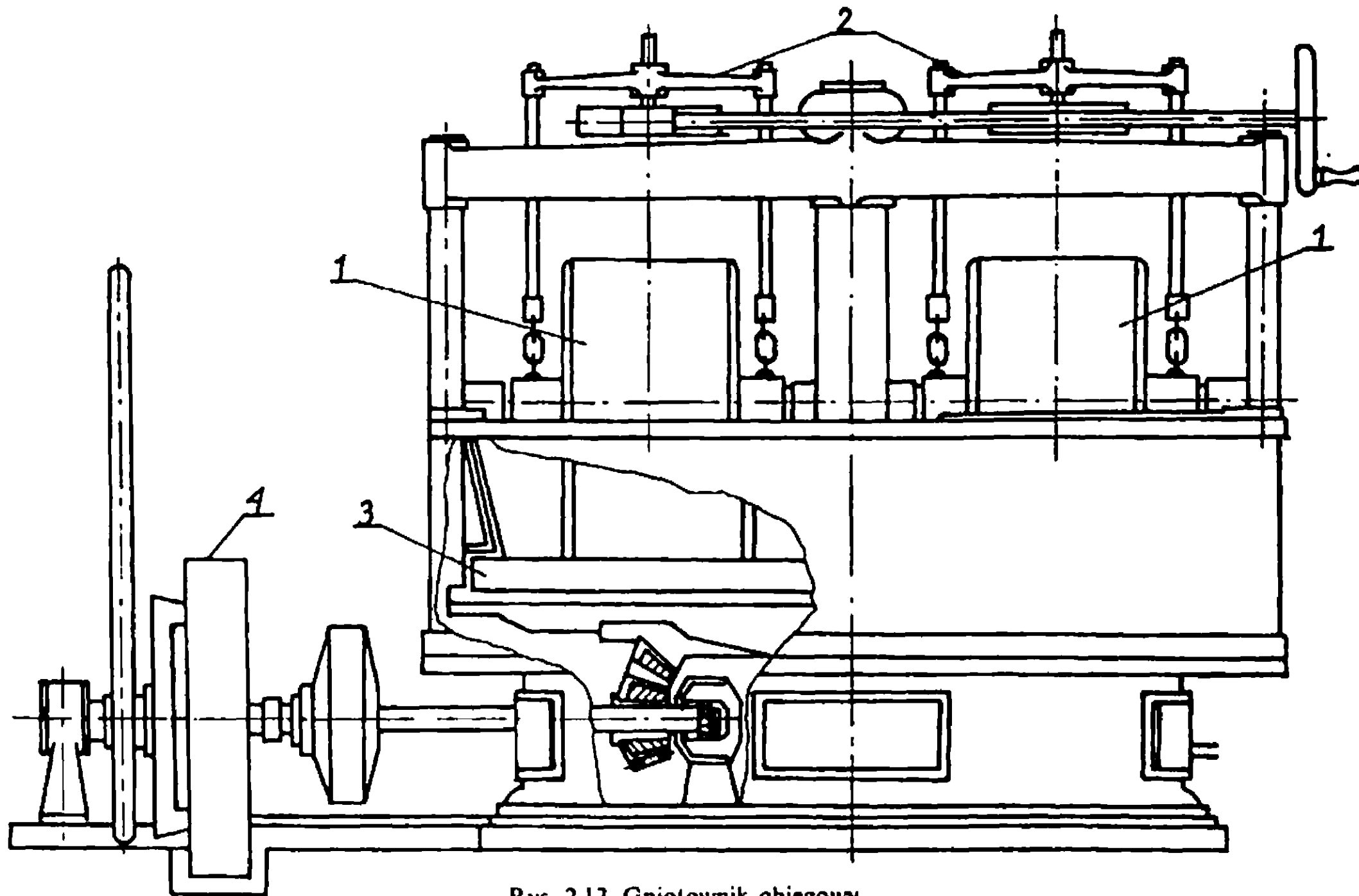
Gniotowniki walcowe są urządzeniami służącymi do mielenia wyłącznie w wyniku działania sił ściskających pomiędzy powierzchniami dwóch przeciwbieżnych walców, obracających się z jednakową prędkością. W gniotownikach rozróżniamy powierzchnie robocze, gładkie, rowkowane i zębate.

Ze względu na występujące tu wyłącznie siły ściskające, skuteczność rozdrabniająca tych gniotowników jest niewielka dlatego znajdują zastosowanie głównie przy produkcji płatków zbożowych. Znacznie większą skuteczność rozdrabniania uzyskuje się w gniotownikach obiegowych, które dzięki występowaniu sił ściskających i ścinających (rozcierania) dysponują wszystkimi cechami młynów.

Gniotowniki obiegowe rozdrabniają materiał przez zgniatanie i rozcieranie między powierzchnią toczących się walców po płaskim dnie zbiornika. Siły ścinające pojawiają się w gniotowniku obiegowym dzięki temu, że przy kołowym obiegu walców po dnie naczynia, krawędzie obwodu walców bliżej osi obrotu pokonują znacznie krótszą drogę niż zewnętrzne krawędzie. Stąd wynika konieczność ciągłych przesunięć powierzchni toczącego się walca względem powierzchni podłoża. Ilustruje to gniotownik obiegowy stosowany do rozdrabniania masy czekoladowej, (rys. 2.13).

Młyny żarnowe. Historycznie młyny żarnowe stanowią najstarszy rodzaj urządzenia rozdrabniającego. Zawdzięczają to prostocie konstrukcji oraz bardzo dużej skuteczności mielącej. Rozdrabnianie materiałów następuje tu dzięki zgniataniu, a przede wszystkim dzięki intensywnemu tarciu występującemu między ostro porowatymi powierzchniami specjalnych kamieni.

Młyny żarnowe mimo ustąpienia miejsca bardziej nowoczesnym urządzeniom współczesnym, stanowią obecnie bardzo pożądane urządzenie do przemiału wielu materiałów specjalnych zwłaszcza takich, które z różnych względów nie mogą się kontaktować z metalowymi powierzchniami rozdrabniającymi.



Rys. 2.13. Gniotownik obiegowy

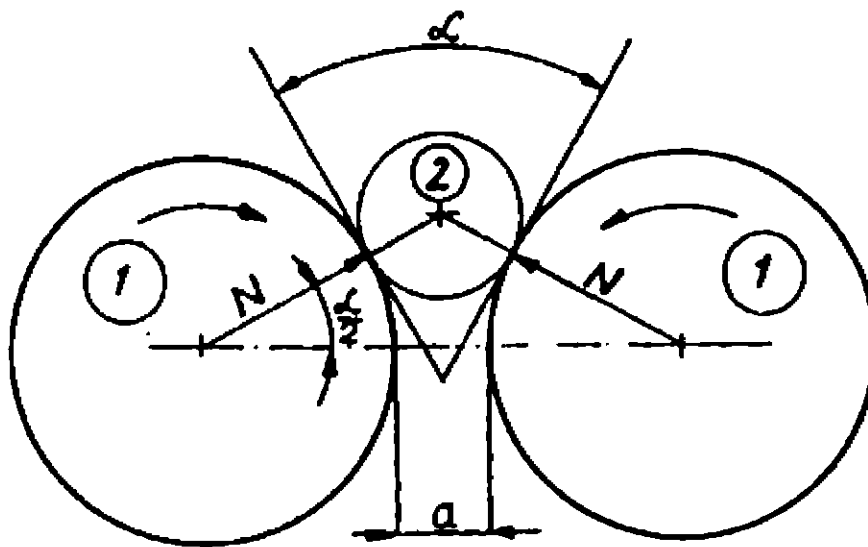
1 – walce granitowe; 2 – zawieszenie walców; 3 – granitowa tarcza obrotowa; 4 – napęd tarczy granitowej

Młyny tarczowe (dwu- i wielotarczowe) stanowią nowoczesną wersję dawnych młynów żarnowych z tą różnicą, że precyzyjnie skonstruowane elementy rozdrabniające są wykonane z metalu w postaci rowkowanych lub ząbkowanych tarcz.

Młyny walcowe. W odróżnieniu od gniotowników walcowych młyny walcowe działają rozdrabniająco na materiał nie tylko przez zgniatanie go między powierzchniami współpracujących walców, ale również przez tarcie występujące między tymi powierzchniami dzięki zróżnicowanej prędkości liniowej ruchu tych powierzchni, wywołanej najczęściej zróżnicowanymi obrotami współpracujących walców.

Szczelina między dwoma współpracującymi walcami może być stała lub regulowana. W każdym przypadku warunkiem rozdrobnienia cząstek materiału między obracającymi się walcami jest wciągnięcie tych cząstek między walce w wyniku tarcia ich powierzchni. Aby siła tarcia mogła wciągnąć rozdrabniany materiał, kąt chwytu walców (α) powinien być mniejszy od podwojonego kąta tarcia (β). Przy czym kąt chwytu walców (α) jest to kąt zawarty pomiędzy stycznymi do walców w punktach styku walców z materiałem rozdrabnianym.

Zależności te ilustruje rys. 2.14. Jak widać z rys. 2.14 kąt chwytu (α) zależy od średnicy walców (D), średnicy cząstki rozdrabnianego materiału (d) oraz szerokości szczeliny między walcami (a).

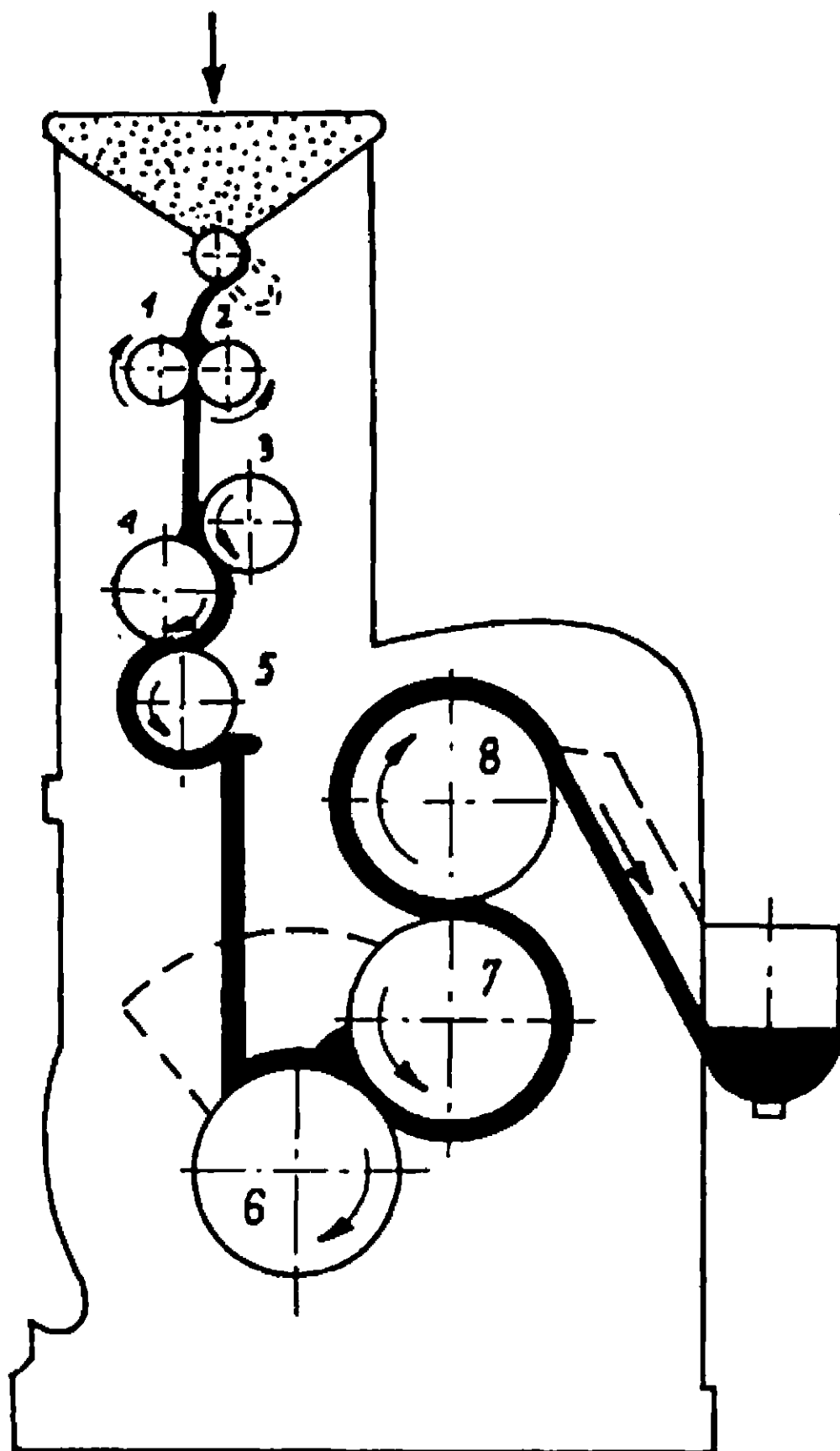


Rys. 2.14. Zasada działania młynów walcowych

1 – walce; 2 – cząstka rozdrabniana; 3 – a – zmienny rozstaw walców; α – kąt chwytu walców; N – reakcja siły nacisku

W młynach walcowych stosuje się walce o powierzchniach gładkich lub rowkowych. Rowkowanie walców może być bardzo zróżnicowane pod względem układu rowków oraz ich profilu. Tak więc stosuje się

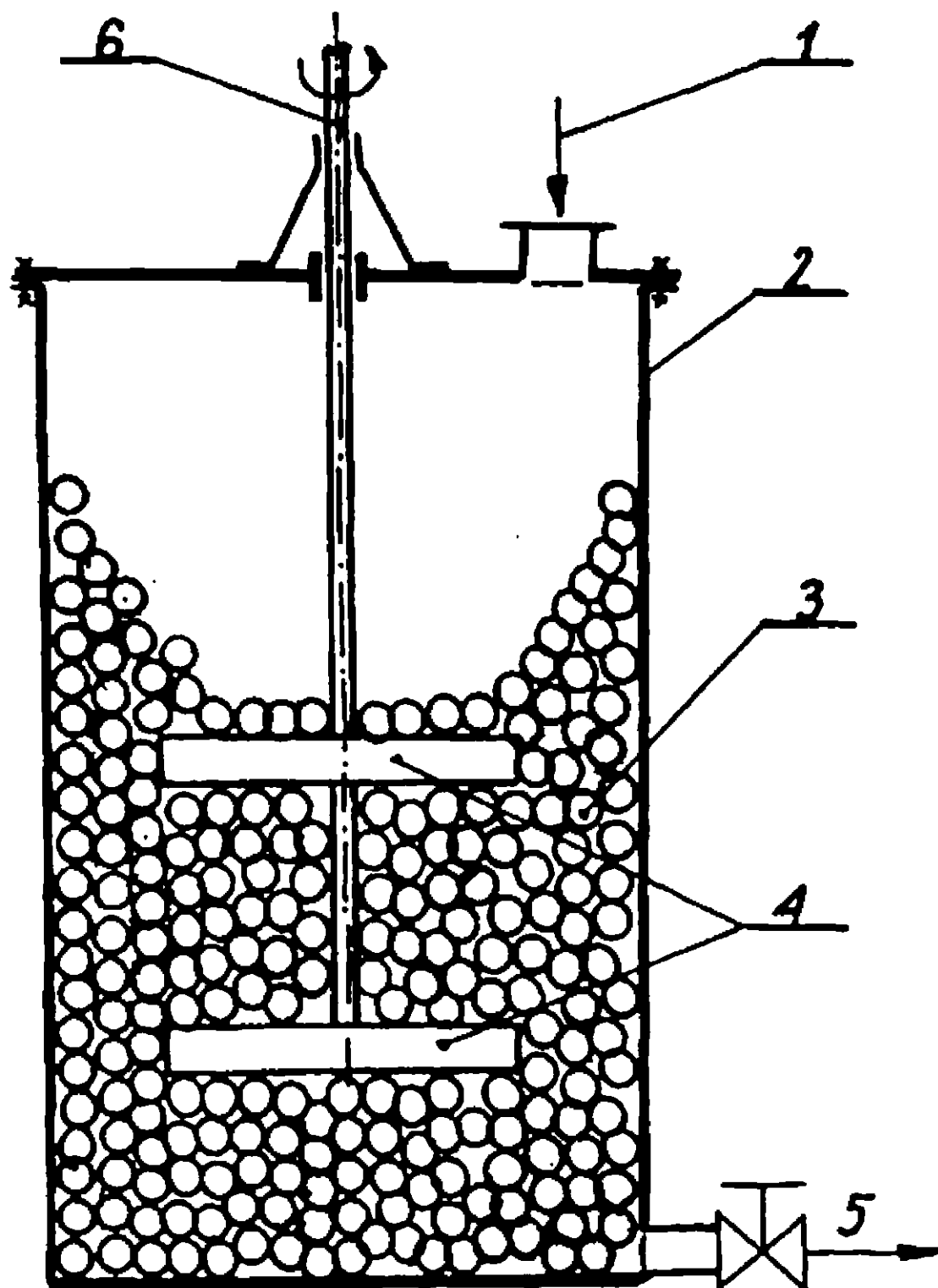
rowki w układzie osiowym, w linii śrubowej. Profile rowkowe mogą mieć równe pochylenia, względnie mogą mieć profile opisane różnymi kątami natarcia i pochylenia ostrza. Jeżeli uwzględnić wszystkie te możliwości oraz ich wzajemne odniesienie można wyobrazić sobie, jak wielka jest różnorodność kombinacji układów i możliwości walców w młynach walcowych.



Rys. 2.15. Schemat młyna ośmiowalcowego

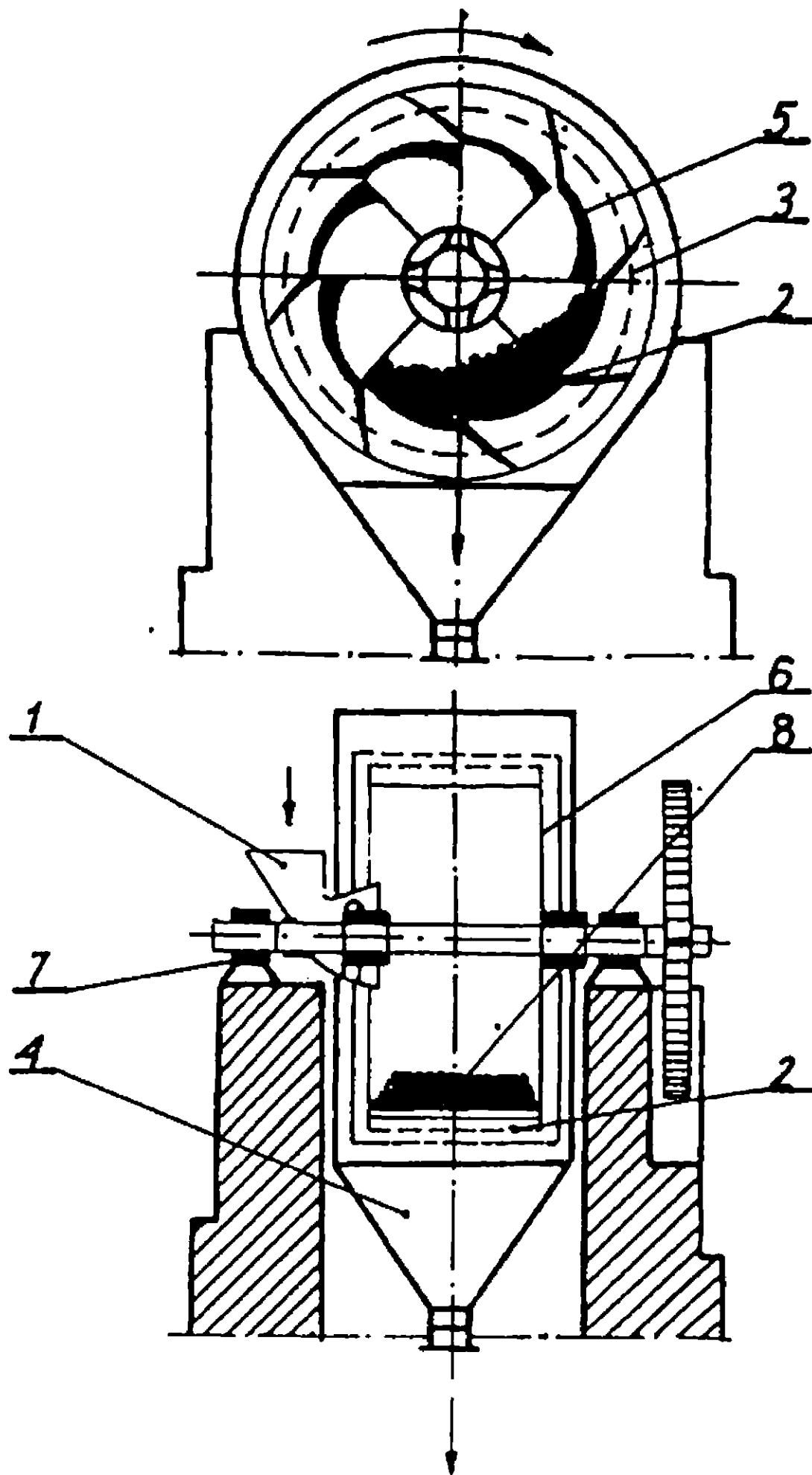
Młyny walcowe (dwu- i wielowalcowe) znalazły powszechnie zastosowanie w przemyśle spożywczym do rozdrabniania i przemiału zbóż na śrutę, kaszę i mąkę. Młyny trzy-, pięcio- i ośmiowalcowe stosuje się również do przemiału materiałów w fazie płynnej przy rozdrabnianiu nasion oleistych. Przykładem takiego urządzenia jest młyn ośmiowalcowy do otrzymywania miazgi kakaowej.

W pokazanym na rysunku 2.15 młynie ośmiowalcowym dwa pierwsze walce oraz czwarty walec mają powierzchnie rowkowane, pozostałe natomiast walce mają powierzchnie gładkie.



Rys. 2.16. Młyn kulkowy z mieszadłem

1 – wprowadzenie miazgi do mielenia; 2 – korpus młynka; 3 – kulki stalowe; 4 – łapy mieszadła; 5 – wypływ miazgi; 6 – oś mieszadła

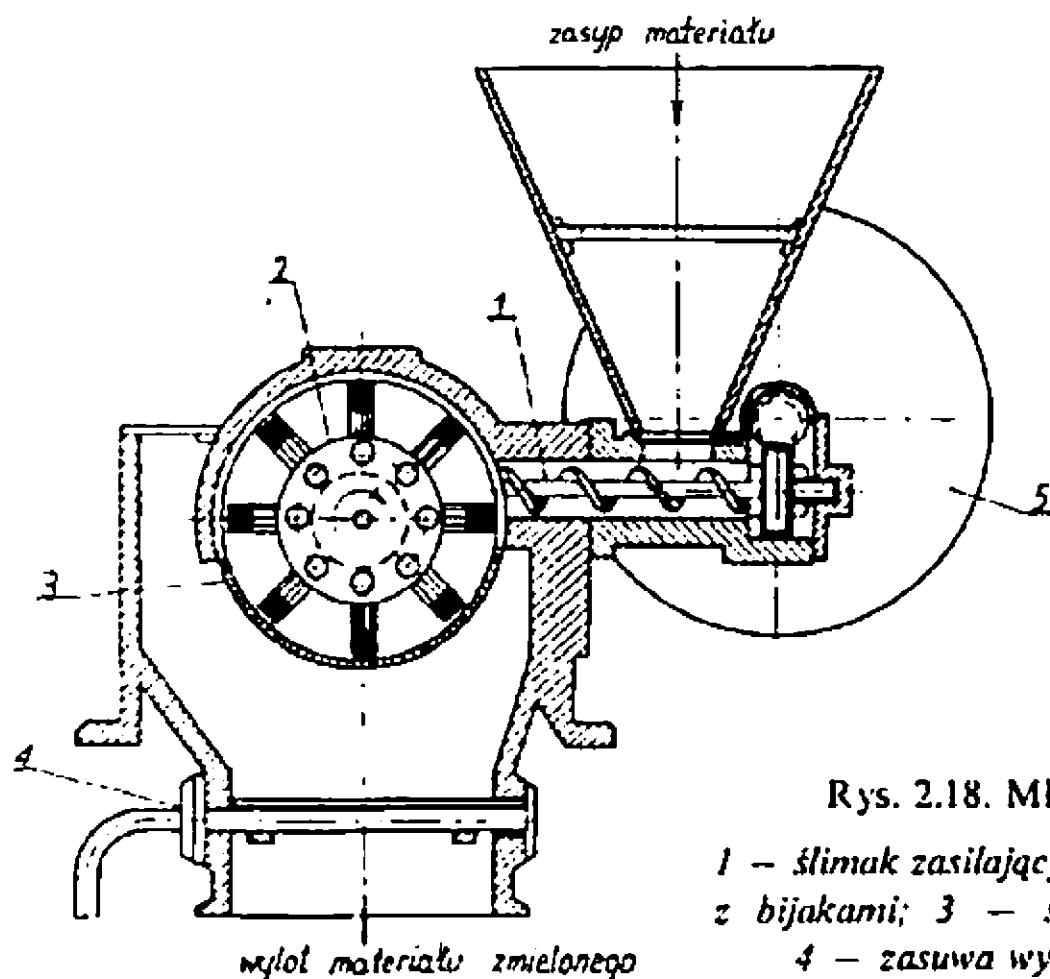


Rys. 2.17. Bębnowy młyn kulowy o działaniu ciągłym
 1 – lej załadowczy; 2 – sito między płytowe; 3 – sito bębna zewnętrznego; 4 – zsyp przemiału; 5 – płyty przesypowe; 6 – korpus bębna; 7 – łożysko; 8 – kule rozdrabniające

W młynie tym kolejne walce obracają się z rosnącą prędkością, co zapewnia ciągłość przepływu płynnej warstewki rozdrabnianego materiału. Dla spełnienia podstawowego warunku pracy młynów walcowych ($\alpha < 2\beta$), w młynie ośmiowalcowym, zamieniając grubą śrubę ziaren kakaowych na płynną miazgę kakaową o cząstkach rzędu 20-50 μm , stosuje się stopniowo malejące szczeliny między walcami przy jednoczesnym rosnącym różnicowaniu średnicy walców.

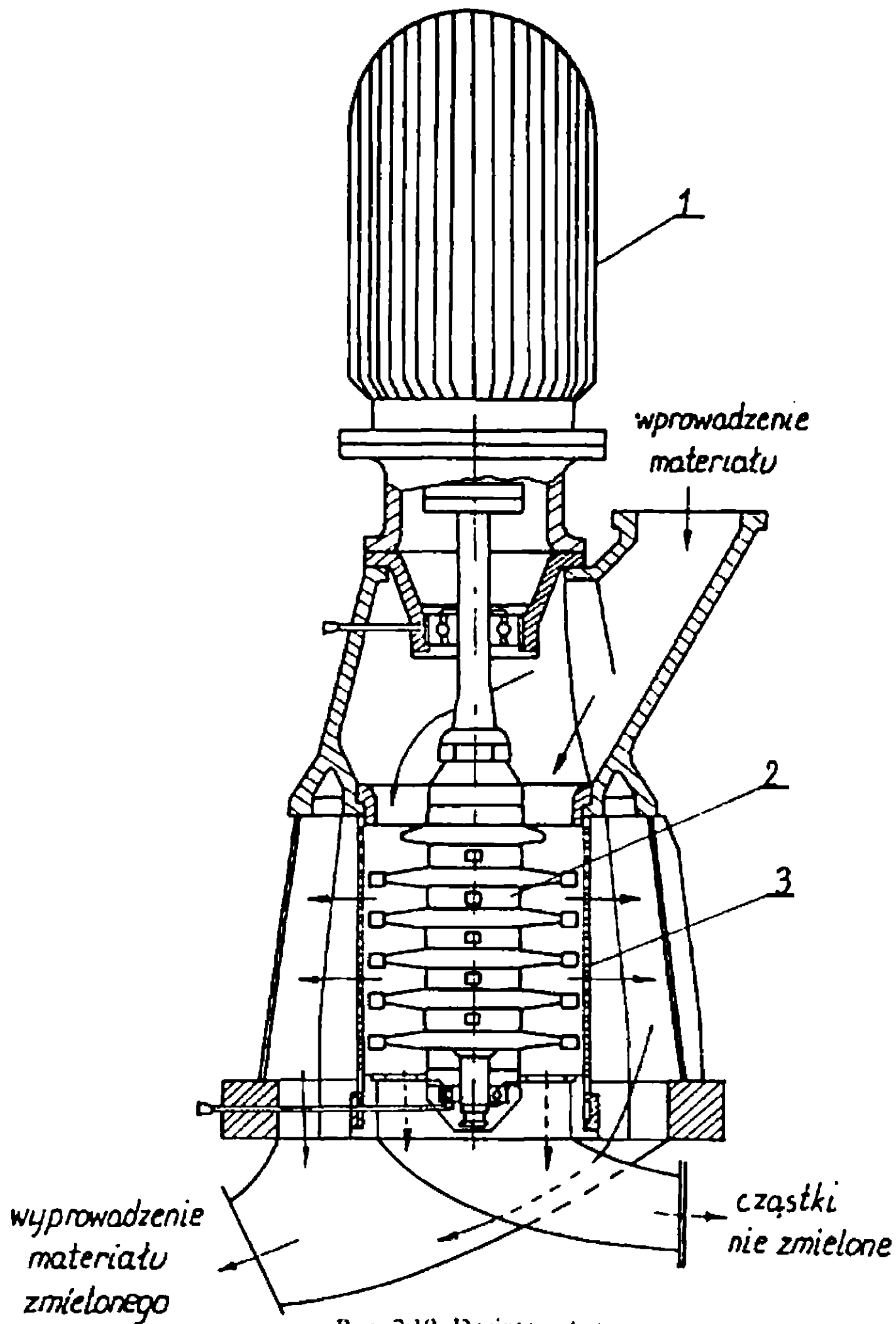
Młyny kulowe. Rozdrabnianie materiałów w młynach kulowych odbywa się dzięki zgniataniu i rozcieraniu cząstek w wyniku zderzeń kul z powierzchnią obudowy młyna oraz wzajemnych zderzeń i tarcia powierzchni kul.

Wśród młynów kulowych rozróżniamy młyny kulowe z wymuszonym przez mieszadło ruchem obrotowym kul w zbiorniku cylindrycznym oraz bębnowe młyny kulowe z grawitacyjnym opadaniem kul podczas obrotów bębna. Ze względu na system pracy młyny kulowe dzielimy na urządzenia periodyczne oraz młyny o działaniu ciągłym, (rys. 2.16 i 2.17).



Rys. 2.18. Młynek bijakowy

- 1 – ślimak zasilający; 2 – wirujący bęben z bijakami; 3 – sitowy obwód bębna;
4 – zasuwka wysypu; 5 – napęd



Rys. 2.19. Dezintegrator

1 - silnik; 2 - bijaki na osi głównej; 3 - bęben sitowy

Młyny udarowe. Do tego rodzaju młynów zaliczamy urządzenia, w których elementy rozdrabniające wprawione są w bardzo szybki ruch wirowy, dzięki czemu zderzają się z cząstkami materiału, przenosząc na nie wielkie porcje energii. Dodatkowym elementem rozdrabniającym i kalibrującym jest sito.

Do tej grupy młynów zaliczyć można jako typowych przedstawicieli: młynek bijakowy i dezintegrator, (rys. 2.18 i 2.19).

Tego rodzaju młyny najlepiej spełniają swoje zadanie w przypadku rozdrabniania materiałów kruchych, np. cukier krystaliczny. Ich zastosowanie jest również bardzo pożądane w przypadku, gdy materiał przy rozdrabnianiu musi być intensywnie chłodzony. Spełnia tę rolę w młynach udarowych silny strumień powietrza wytwarzany przez elementy szybko wirujące.

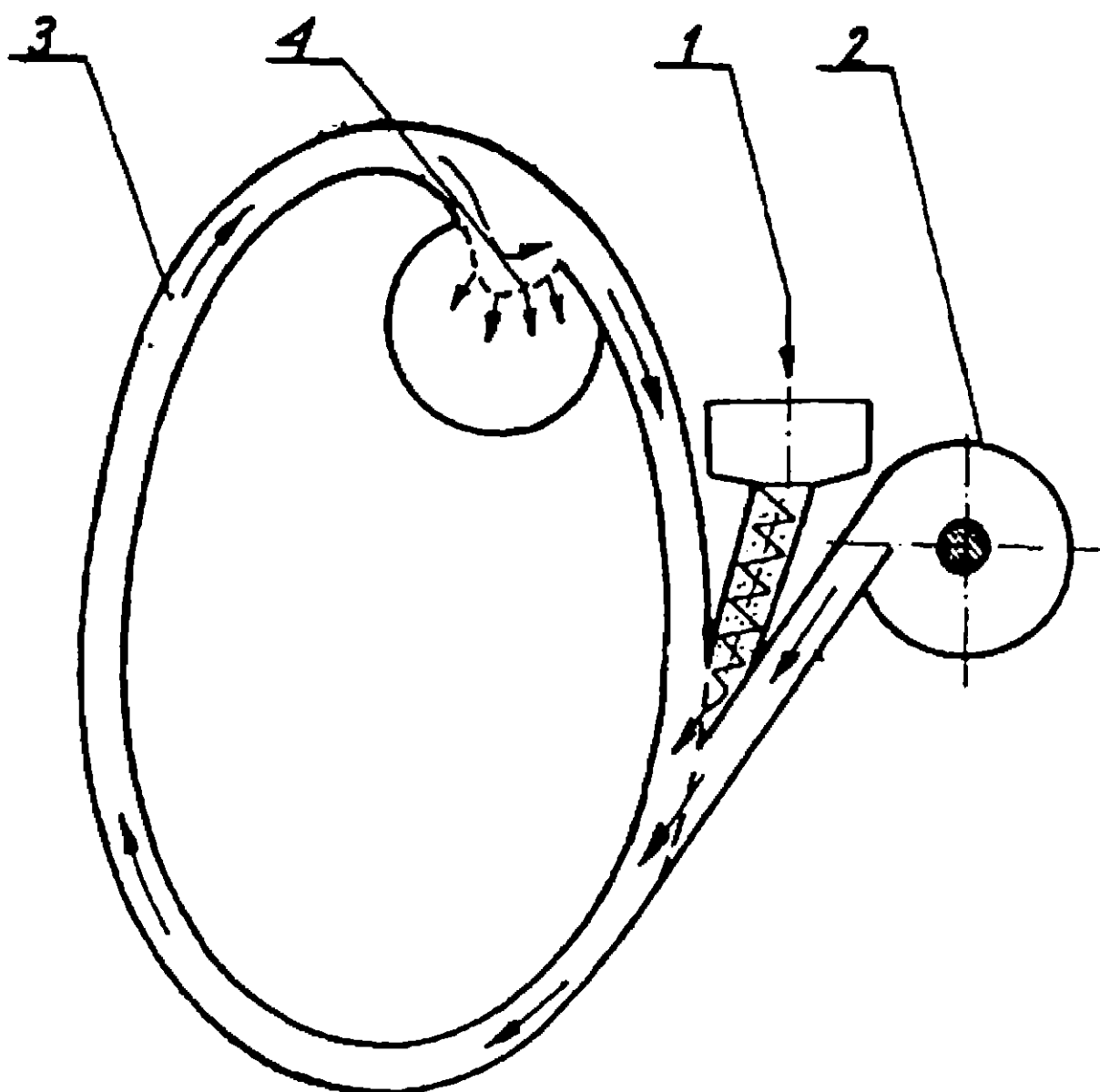
Jeszcze sprawniejsze chłodzenie rozdrabnianego materiału zapewnia się podczas rozdrabniania w strumieniu powietrza wytworzonym w młynach pneumatycznych.

Młyn pneumatyczny jest zbudowany w postaci kanału o kształcie elipsoidalnym. W kanale tym, który wyłożony jest bardzo twardym materiałem, wytwarza się bardzo szybki strumień gazów unoszący cząstki rozdrabnianego materiału. W wyniku gwałtownych zmian kierunku przepływu strumienia zawiesiny, cząstki tej zawiesiny rzucają się na zewnętrzną ściankę kanału i są przez to rozbijane. Sito kalibrujące odbiera materiał rozdrobniony, a większe cząstki kierują się do obiegu kołowego (rys. 2.20).

Homogenizacja. Przez homogenizację rozumiemy rozdrobnienie i ujednoczenie cząstek fazy rozproszonej jednego płynu w fazie rozpraszającej (ciągłej) innego płynu niemieszającego się z fazą rozproszoną. Przykładem homogenizacji może być rozdrobnienie kroplkowe tłuszczu w wodzie lub odwrotnie, względnie rozproszenie dowolnego gazu w cieczy. Homogenizacja jest zatem procesem będącym na pograniczu rozdrabniania i mieszania.

Homogenizatory stosowane w przemyśle spożywczym można podzielić na trzy grupy:

- homogenizatory ciśnieniowe lub dyszowe,
- homogenizatory ultradźwiękowe,
- młynki koloidowe.



Rys. 2.20. Schemat młyna pneumatycznego

1 – wprowadzenie materialu; 2 – dmuchawa; 3 – kanał elipsoidalny; 4 – sito graniczne odbieralnika

2.1.2. Mieszanie

Mieszanie jest operacją stosowaną w procesach technologicznych w celu intensyfikacji procesów wymiany ciepła lub masy, przyspieszenia procesów chemicznych lub biochemicznych. Proces mieszania polega na wytworzeniu z dwóch lub większej liczby składników mieszaniny jednorodnej zarówno pod względem stężenia składników, jak i temperatury.

Proces mieszania może przebiegać w następujących środowiskach:
 – ciecz – gaz (wytwarzanie piany),

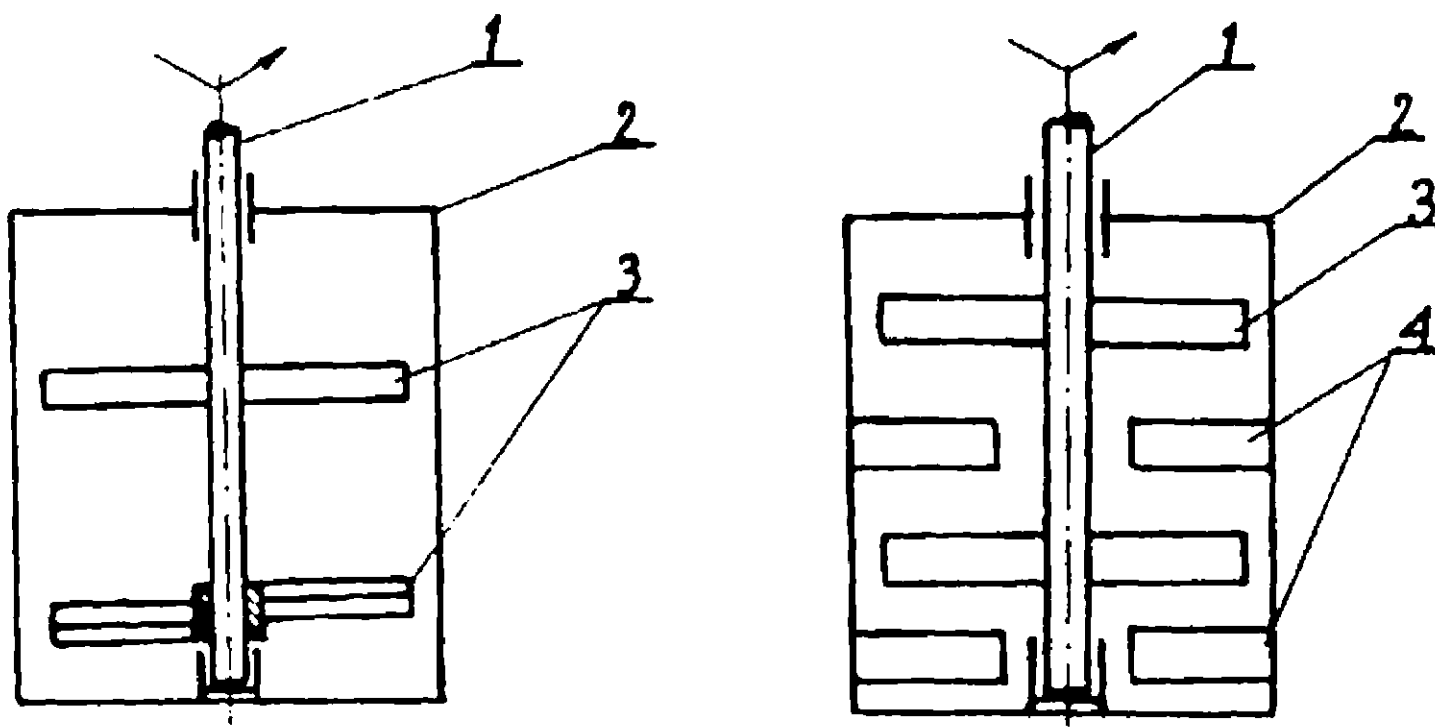
- ciecz – ciecz (wytwarzanie roztworów lub emulsji),
- ciecz – ciało stałe (wytwarzanie roztworów lub zawiesin),
- gaz – ciecz (wytwarzanie mgieł, nawilżanie),
- gaz – ciało stałe (wytwarzanie pyłów i dymów),
- ciało stałe – ciało stałe (wytwarzanie mieszanin sypkich).

Mieszania można dokonywać za pomocą urządzeń mechanicznych (mieszadła), procesów strumieniowych lub pneumatycznych. W przypadkach specjalnych uznanie uzyskały zastosowania mieszadeł wibracyjnych i ultradźwiękowych. Urządzenia do mieszania stałych ciał sypkich nazywamy mieszarkami, do mieszania mas półpłynnych (plastycznych) nazywamy zagniatarkami, do mieszania płynów (cieczy i gazów) – mieszalnikami.

Celem scharakteryzowania procesu mieszania należy rozwiązać szereg następujących zagadnień inżynierskich. Należą do nich:

- zapotrzebowanie mocy podczas rozruchu i w toku pracy mieszadła;
- intensywność procesu mieszania;
- wymiana ciepła w układzie;
- ruch składników układu;
- fizykochemiczne lub biochemiczne oddziaływanie składników.

W praktycznej realizacji procesów mieszania znajduje zastosowanie ogromna różnorodność konstrukcji urządzeń mieszających, które można usystematyzować następująco:



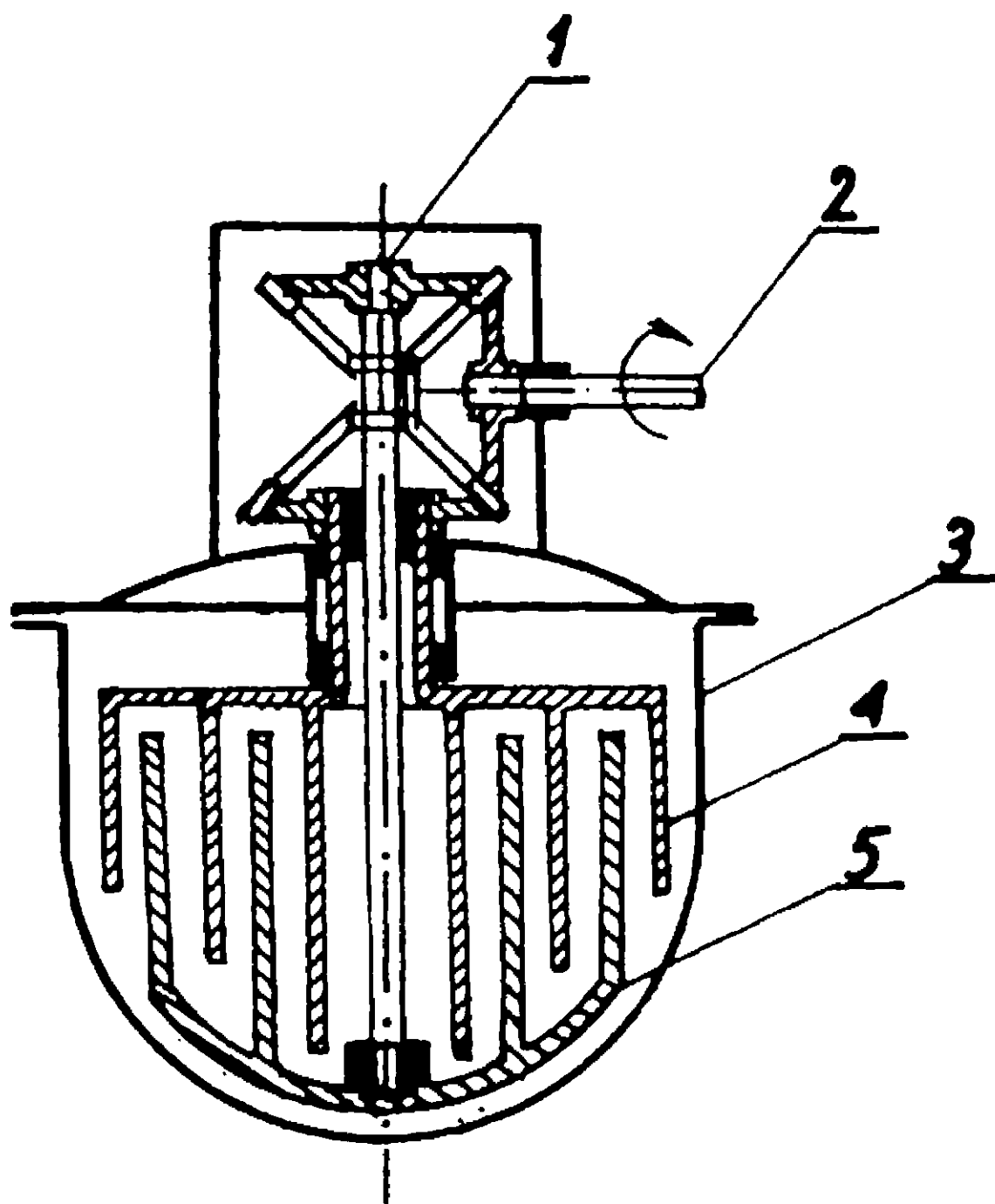
Rys. 2.21. Schemat mieszalników łapowych

1 - oś napędzana; 2 - korpus; 3 - łapy ruchome; 4 - łapy nieruchome

1. Mieszalniki mechaniczne

Mieszalnik mechaniczny jest układem złożonym z dwu elementów: zbiornika i mieszadła. Oba te elementy mogą być usytuowane pionowo lub poziomo. Mieszadła można podzielić na: łopatkowe, śmigłowe i śrubowe, zgniatarki, turbinowe i specjalne.

Mieszadła łopatkowe mogą mieć różnego kształtu łopatki pojedyncze lub zwiokrotnione. Przy tym łopatki mogą być wszystkie ruchome lub część z nich może być nieruchoma.

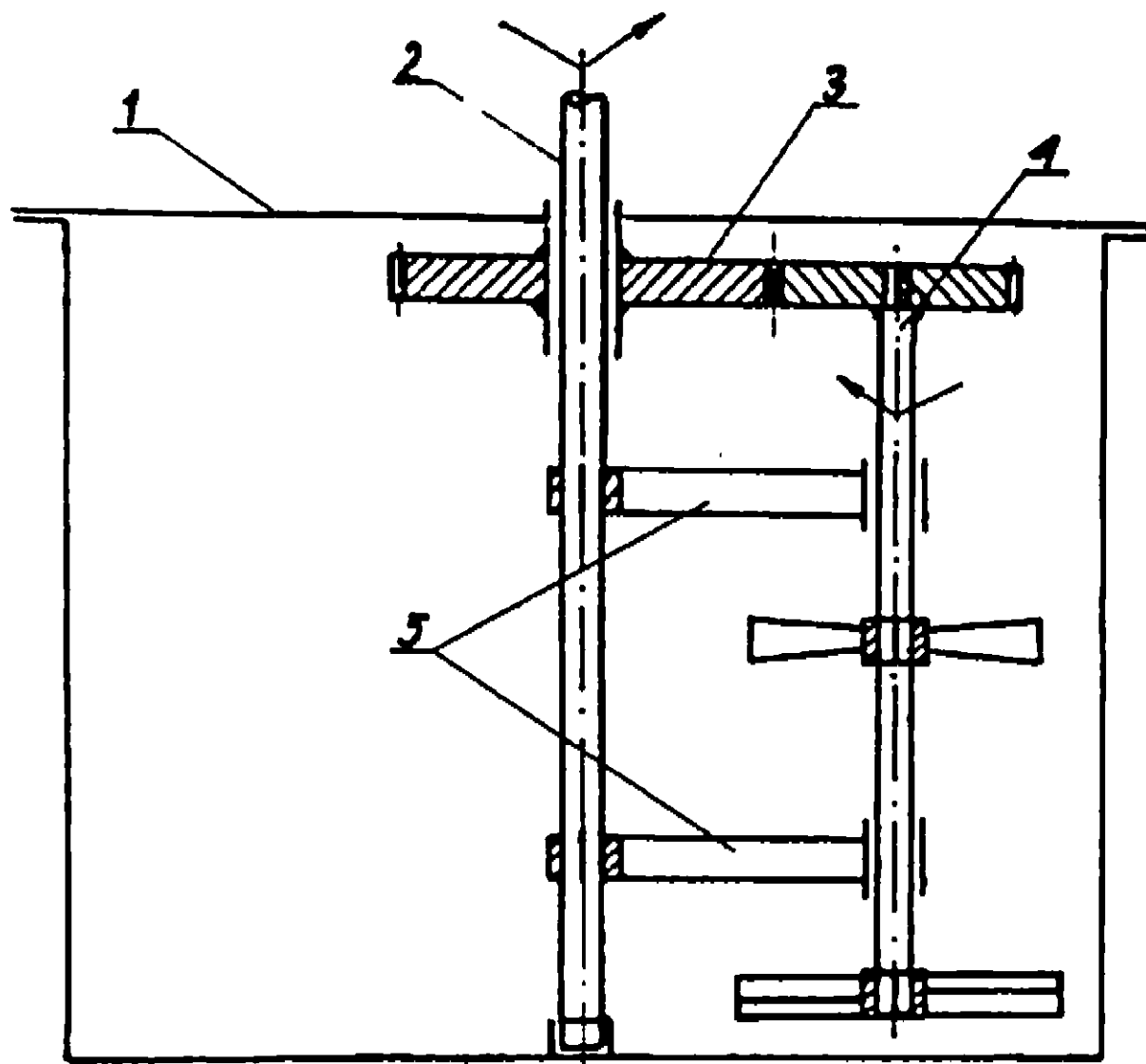


Rys. 2.22. Schemat mieszalnika łopatkowego, podwójnego

1 – oś mieszadła dolnego; 2 – oś napędzająca system przekładni stożkowych; 3 – korpus zbiornika; 4 – łopatki mieszadła górnego; 5 – łopatki mieszadła dolnego

Szczególną złożonością charakteryzuje się mieszadło o zwielokrotnionych łopach poruszających się w kierunkach przeciwnych np. mieszadło podwójne.

Przykładem złożonego mieszadła łopatkowego o bardzo dużej intensywności działania jest mieszadło planetarne.



Rys. 2.23. Schemat mieszadła planetarnego

1 – pokrywa zbiornika; 2 – oś mieszadła centralnego; 3 – przekładnia zębata; 4 – oś mieszadła satelitarne; 5 – ramiona łączące osi mieszadła

Mieszadła śmigłowe i śrubowe

Mieszadła łopatkowe mogą mieć łapy proste skośne lub śrubowe. A zatem mieszadła śmigłowe lub śrubowe są pewną odmianą mieszadeł łopatkowych. Tego typu mieszadła stosuje się zwykle do mieszania cieczy o stosunkowo dużej lepkości lub gęstości. W mieszadłach tego typu łopatki mogą mieć stały kąt ustawienia lub skok zwoju śrubowego, mogą też mieć zmienny (regulowany) kąt nachylenia łopatek, względnie

zmienny skok śruby i lopatek. Szczególnym przypadkiem mieszadła śrubowego jest mieszadło ślimakowe, które obok procesu mieszania może spełniać kilka innych funkcji, między innymi transportera, dozownika, selektywnego zamknięcia itp.

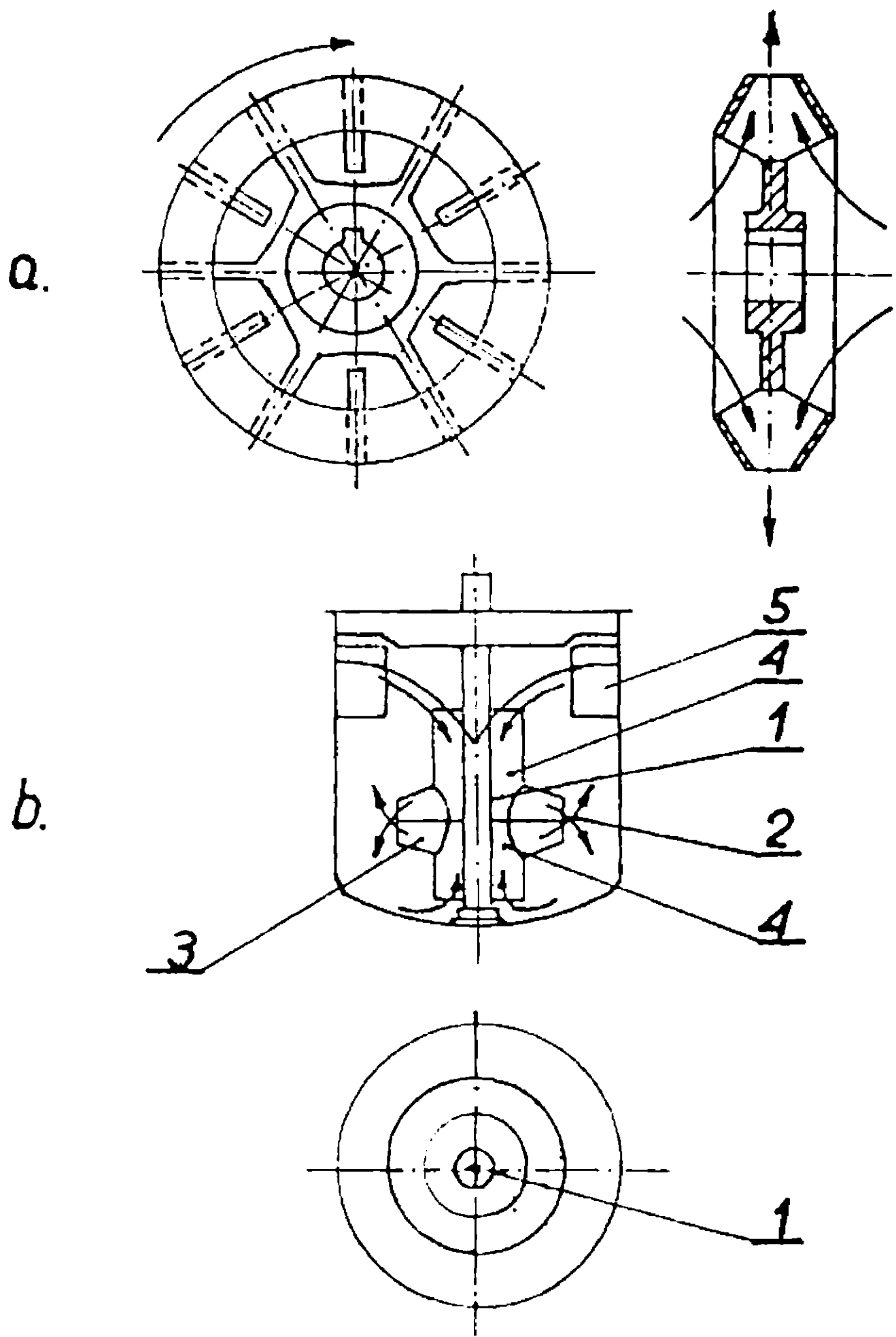
Zagniatarki są to urządzenia z grupy mieszalników mechanicznych służących do mieszania mas półpłynnych lub plastycznych (w rodzaju pasty). Używa się powszechnie zagniatarek w przemyśle piekarskim i cukierniczym do wytwarzania ciast lub komponowania składników mas czekoladowych. Zagniatarki, ze względu na konieczność zmieszania składników tworzących masę o bardzo wielkich lepkościach i pastowatej konsystencji, wyposażone są w bardzo różnorodne układy elementów roboczych. Bardzo często, poza mieszaniem masy plastycznej przez specjalnie ukształtowane łapy, stosuje się ruch obrotowy zbiornika mieszalnika.

Mieszadła turbinowe stanowią grupę mieszadeł działających na zasadzie wytwarzania złożonych wirów pod działaniem siły odśrodkowej. Szczególnym przypadkiem mieszadła turbinowego jest mieszadło Furowicza (rys. 2.24).

Mieszalniki strumieniowe i pneumatyczne

Mieszalniki strumieniowe i pneumatyczne działają na zasadzie wprowadzenia płynów w stan silnego i często bardzo skomplikowanego strumienia, który powoduje intensywne mieszanie tych płynów. Z tego punktu widzenia już mieszadła turbinowe podobnie spełniają swoje zadanie. Należą one jednak do grupy mieszalników mechanicznych. Jest tak dlatego, iż strumienie cieczy wytworzone w mieszadłach turbinowych wywołane są przez siłę odśrodkową działającą dzięki mechanicznemu (wirującemu) ruchowi elementu roboczego. W praktyce przemysłowej zdarzają się jednak sytuacje tego rodzaju, że istnieją z różnych powodów trudności zainstalowania mechanicznego elementu mieszającego wewnątrz reaktora. Wówczas siłami zewnętrznymi wprawiamy mieszany płyn w ruch strumieniowy wytworzony za pomocą pompy lub innymi środkami technicznymi. Istnieje zatem możliwość intensywnego mieszania cieczy w reaktorze przez cyrkulację wewnętrzną lub zewnętrzną strumieniem obiegowym cieczy. Bez udziału mechanicznie napędzanych elementów mieszających tą cieczą. Mieszalniki pneumatyczne są odmianą mieszalników strumieniowych i mają zastosowanie do mieszania płynów za pomocą strumienia gazów. Mieszanie strumieniem gazów dokonuje się zwykle przez wtłaczanie do zbiornika z cieczą od dołu strumienia gazów za pośrednictwem złożonych dysz rozpraszających czyli tzw. barboterów.





Rys. 2.24. Mieszadła turbinowe

a - schemat działania mieszadeł turbinowych; *b* - schemat mieszadła Furowicza; 1 - oś wirnika; 2 - wylot strumieni; 3 - dysza; 4 - cylinder strumieni (dolnego i górnego); 5 - łopatki sterujące

Wydostające się z barbotera pęcherzyki gazów unosząc się ku górze w słupie cieczy powodując jej mieszanie. Mieszalniki pneumatyczne stosuje się najczęściej w takich przypadkach, gdy przez wprowadzenie strumienia gazu do cieczy chcemy wykonać jeszcze inne (poza mieszaniem) zadanie. Zadanie to bywa często znacznie ważniejsze od samego mieszania. Przykładami mieszania pneumatycznego w przemyśle spożywczym mogą być:

- karbonatacja soków cukrowniczych czyli nasycanie soków dwutlenkiem węgla w procesie wytrącania koloidów absorbowanych na wytwarzającym się osadzie węglanu wapniowego,
- ogrzewanie bezpośrednio cieczy w reaktorach za pomocą pary wodnej, np. ogrzewanie hydrolizatów skrobi w konwertorze podczas hydrolizy skrobi,
- nasycanie tlenem lub powietrzem cieczy poddawanej procesom biosyntezy lub chemicznym procesom utleniania. Dobrym przykładem może tu być biosynteza drożdży w brzeczce napowietrzanej, gdzie obok konieczności dostarczenia tlenu strumień powietrza wtłaczanego do brzeczki spełnia właśnie rolę bardzo skutecznego mieszadła.

2.1.3. Rozdzielanie mieszanin

Rozdzielanie mieszanin jest pojęciem złożonym dającym się interpretować niejednoznacznie, zwłaszcza w odniesieniu do mieszanin wielofazowych. Niejednoznaczność pojęcia „rozdzielanie mieszanin” w odniesieniu do takich mieszanin wielofazowych (dwufazowych), jak:

- zawiesiny cząstek ciała stałego w cieczy,
- zawiesiny cząstek ciała stałego w gazie,
- zawiesiny kropelek cieczy w cieczy lub w gazie,

polega na tym, że można je rozumieć jako rozdzielanie fazy rozproszonej od fazy ciągłej, względnie jako rozdzielanie różnych cząstek fazy rozproszonej. Aby uniknąć nieporozumień proponuje się wprowadzenie następującego sprecyzowania pojęcia rozdzielania mieszanin:

- oddzielanie od siebie dwu faz w mieszaninach dwufazowych (w zawiesinach) będziemy traktowali jako zatężanie zawiesin. Jest to bowiem typowa zmiana proporcji ilościowych w mieszaninie cząstek ciała zawieszzonego w cieczy lub w gazie jako ciągłej fazie roz-



praszającej, na korzyść (zwiększenie stężenia) cząstek ciała zawieszzonego,

- natomiast pod pojęciem rozdzielania zawiesin będziemy rozumieli wyłącznie rozdzielanie zróżnicowanych cząstek fazy rozproszonej (zawiesin).

2.1.3.1. Zatężanie zawiesin

W rozumieniu oddzielania cząstek fazy rozproszonej od nadmiaru fazy rozpraszającej cieczy lub gazu zatężanie zawiesin można zrealizować następującymi dwiema metodami: sedymentacja, filtracja.

1. Sedymentacja. Jest to proces wydzielania cząstek fazy stałej z płynnej zawiesiny (cieczy i gazu) na zasadzie różnicy gęstości materiału zawieszzonego i gęstością cieczy rozpraszającej lub gazu.

Sedymentacja może być procesem swobodnym, polegającym na opadaniu cząstek zawiesiny na dno naczynia dzięki działaniu sił grawitacji. Proces ten ze względu na swą powolność ma ograniczone zastosowanie i jest wykorzystywany w przemyśle, raczej w ubocznych (pomocniczych) procesach technologicznych w postaci różnego rodzaju odstożników (dekantatorów) względnie komór odpylających. Znacznie częściej stosuje się w procesach przemysłowych sedymentację wymuszoną przez oddziaływanie siły odśrodkowej. Sedymentację wymuszoną można z dobrym skutkiem przeprowadzić posługując się siłą odśrodkową wytworzoną za pomocą pełnopłaszczyznowych wirówek sedymentacyjnych lub separatorów. Innym sposobem zrealizowania sedymentacji wymuszonej jest sedymentacja w cyklonach lub hydrocyklonach, zależnie od tego czy mamy do czynienia z zawiesiną cząstek ciała stałego w gazie czy w cieczy.

Wytwarzanie siły odśrodkowej w wirówkach różni się od jej wytwarzania w cyklonach miejscem przyłożenia siły wywołującej wirowanie.

W wirówkach wiruje bęben aparatu unoszący ze sobą w ruch wirowy masę zawiesiny gdy w cyklonach lub hydrocyklonach do odpowiednio ukształtowanego stałego korpusu cyklonu wtłacza się strumień zawiesiny i przez to wywołuje się jego wirowanie. W jednym i drugim urządzeniu cząstki zawiesiny o większej gęstości w porównaniu z gęstością płynnej fazy rozpraszającej pod wpływem siły odśrodkowej kierują się po promieniu na zewnątrz do ścian korpusu aparatu, podczas gdy

lżejsze cząsteczki cieczy lub gazu gromadzą się w pobliżu osi wirowania, dzięki czemu można je oddzielić od warstwy cząstek fazy stałej.

Intensyfikację procesu sedymentacji można osiągnąć przez zwiększenie wytwarzanej siły odśrodkowej. Dokonuje się tego przez zwiększenie liniowej prędkości wirowania czyli w wirówkach przez zwiększenie liczby obrotów bębna wirówki oraz przez zwiększenie średnicy bębna.

W cyklonach i hydrocyklonach liniową prędkość wirowania strumienia zawiesiny powiększa się przez zwiększenie ciśnienia nadawy lub przez zmniejszenie wymiarów, a zwłaszcza średnicy cyklonu.

Zależności te określają wzory:

a) dla wirówek

$$P = \frac{G r n^2}{900};$$

b) dla cyklonów

$$D = 1,43 \frac{V}{W};$$

c) dla hydrocyklonów

$$D_h = \frac{d^2 (\gamma - \gamma_c) i}{g \mu} \Delta P,$$

gdzie: D_h = siła odśrodkowa [N],

G = ciężar wirowanej cząstki [N],

r – promień bębna wirówki [m],

n – liczba obrotów na min.,

D – zewnętrzna średnica cyklonu [m],

V – objętościowa prędkość gazów [m^3/s],

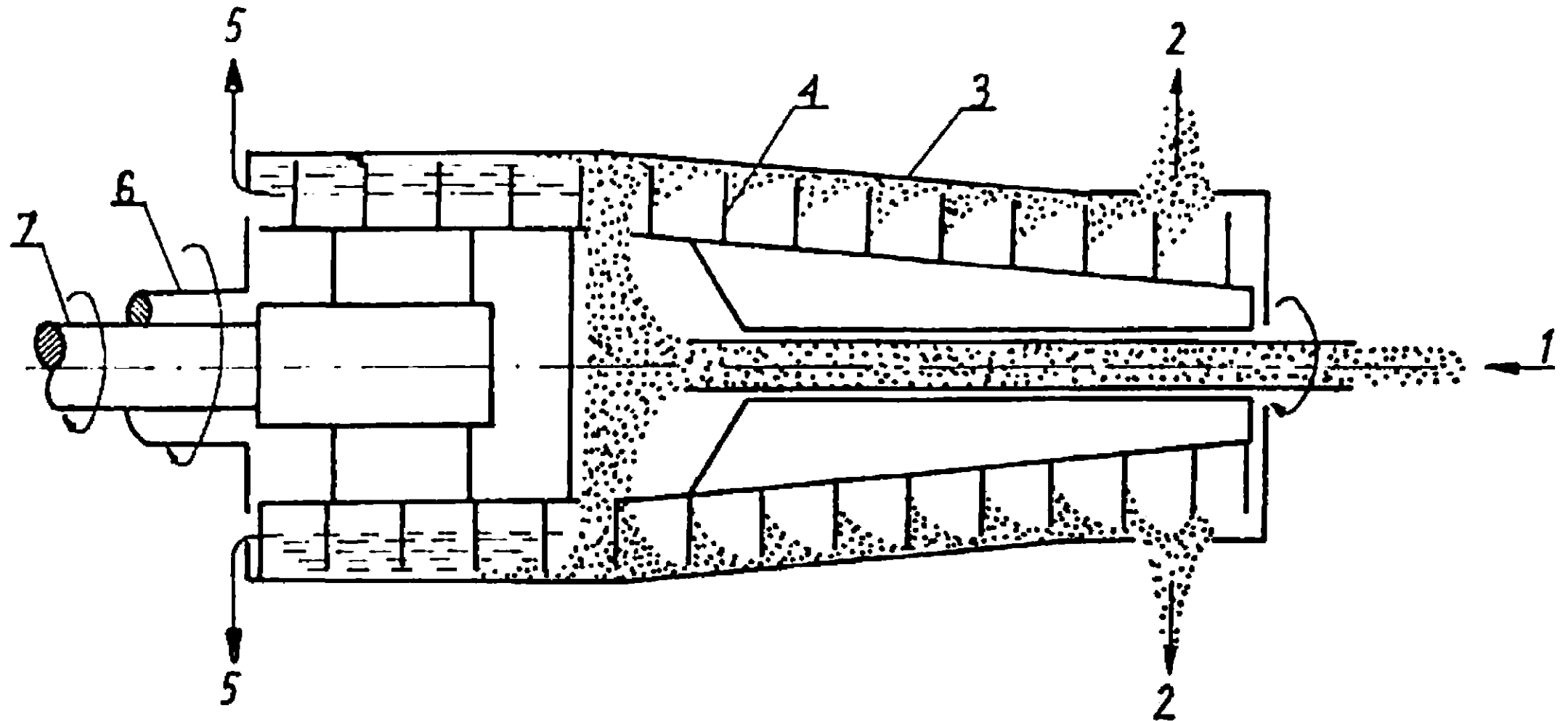
W – prędkość wlotowa gazów do cyklonu [m/s],

D_h – zewnętrzna średnica hydrocyklonów [m],

d – średnica usuwanej cząstki [m],

γ – gęstość cząstek zawiesiny [kN/m^3],





Rys. 2.25. Zasada działania wirówki sedymentacyjnej z ciągłym odprowadzaniem osadu

1 – wprowadzenie zawiesiny; 2 – wyprowadzenie osadu; 3 – wirujący bęben zewnętrzny; 4 – uzwojenie śrubowe ślimaka na bębnie wewnętrznym; 5 – wyprowadzenie cieczy; 6 – oś bębna zewnętrznego; 7 – oś bębna wewnętrznego

- γ_c – gęstość cieczy [kN/m^3],
- i – liczba okrążeń cieczy w hydrocyklonie na min.,
- P – różnica ciśnień na wejściu i wyjściu [kPa],
- g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
- μ – wsp. lepkości dyn. zawiesiny [$\text{kPa}\cdot\text{s}$].

Wirówki sedymentacyjne. Celem wywołania sedymentacji wymuszonej znalazły powszechne zastosowanie wirówki sedymentacyjne ze ślimakowym odprowadzeniem osadu oraz separatory talerzowe.

Zasadę działania wirówki sedymentacyjnej ze ślimakowym odprowadzeniem osadu przedstawia rys. 2.25.

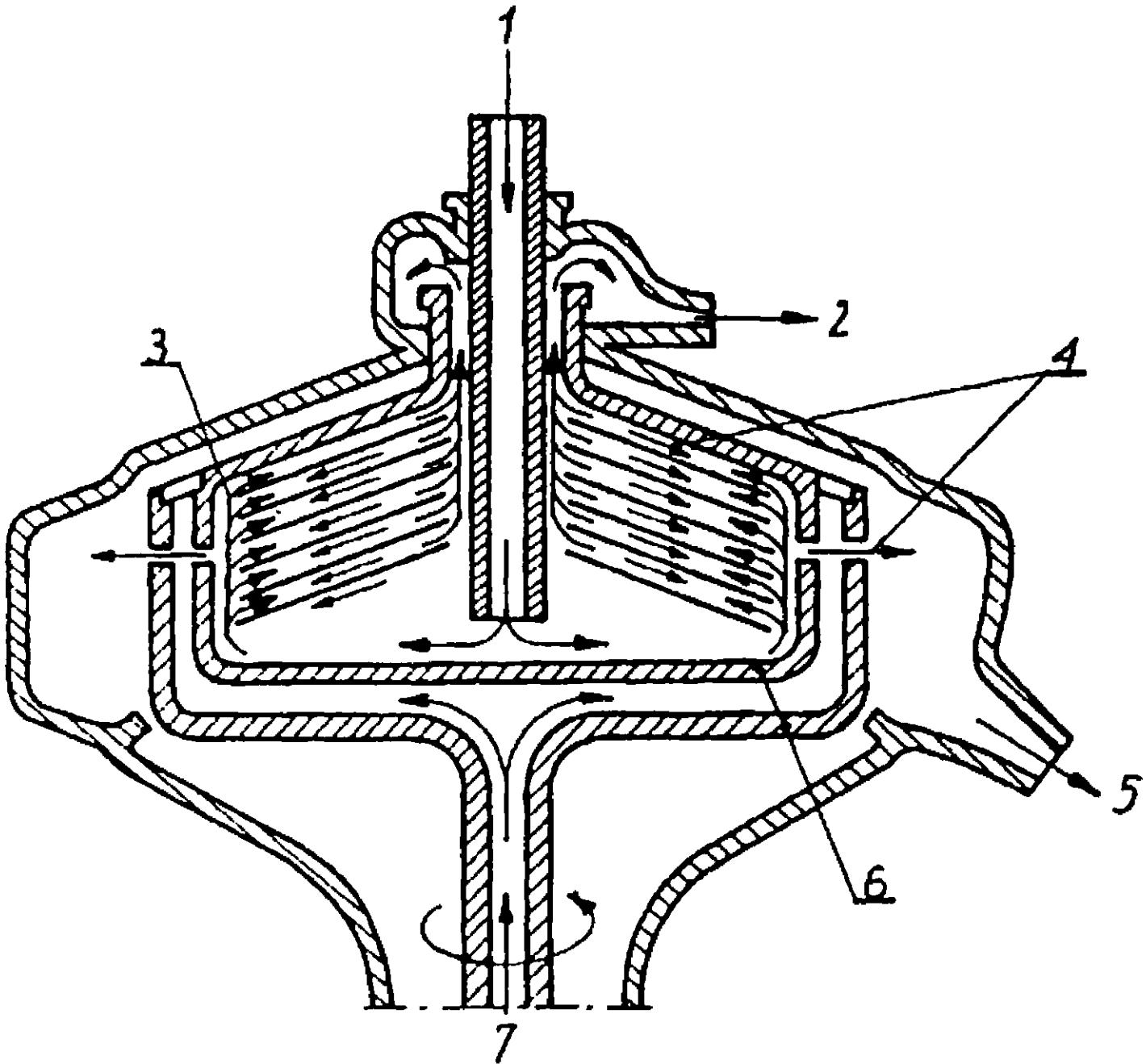
Wirówka sedymentacyjna ze ślimakowym odprowadzeniem osadu jest zbudowana z dwóch oddzielnie wirujących wokół jednej osi bębnów. Każdy z tych bębnów składa się z krótkiej części cylindrycznej i wydłużonej części stożkowej. Przy tym obracający się nieco szybciej bęben wewnętrzny na swym zewnętrznym obwodzie ma nawiniętą wstęgę ślimakową, która wymusza przesuwanie się osadu w przestrzeni międzybębnowej ku mniejszej średnicy stożka celem usunięcia go przez dysze osadowe. Klarowna ciecz natomiast warstwą wewnętrzną w przestrzeni międzybębnowej jest kierowana siłą odśrodkową ku większej średnicy stożka do części cylindrycznej i wypływa przez dysze cieczone do komór w obudowie. W wirówkach sedymentacyjnych różnych typów stosuje się zróżnicowane i płynnie regulowane obroty od 1100 do 3500 na minutę przy średnicach wirujących bębnów w części cylindrycznej odpowiednio od 600 do 300 mm, co pozwala osiągać siłę odśrodkową przekraczającą 2000 g.

Znacznie rzadziej stosuje się w przemyśle spożywczym wirówki sedymentacyjne o działaniu periodycznym, w których oddzielone od siebie warstwy osadu i cieczy są rozdzielane od siebie po okresie wirowania przez odpowiednio zainstalowane wybieraki.

Innym, bardzo ciekawym, urządzeniem do wywoływania sedymentacji wymuszonej są separatory talerzowe. Przykład działania takiego separatora pokazuje rys. 2.26.

Wirówki sedymentacyjne i separatory znalazły powszechne zastosowanie do zateżniania zawiesin (klarowania roztworów) w przemyślach ziemniaczanym i drożdżowym, piwowarskim, owocowo-warzywnym itd. Poza tym specjalne separatory są powszechnie wykorzystane w przemyśle mleczarskim do wydzielania tłuszczu z mleka.





Rys. 2.26. Zasada działania separatora

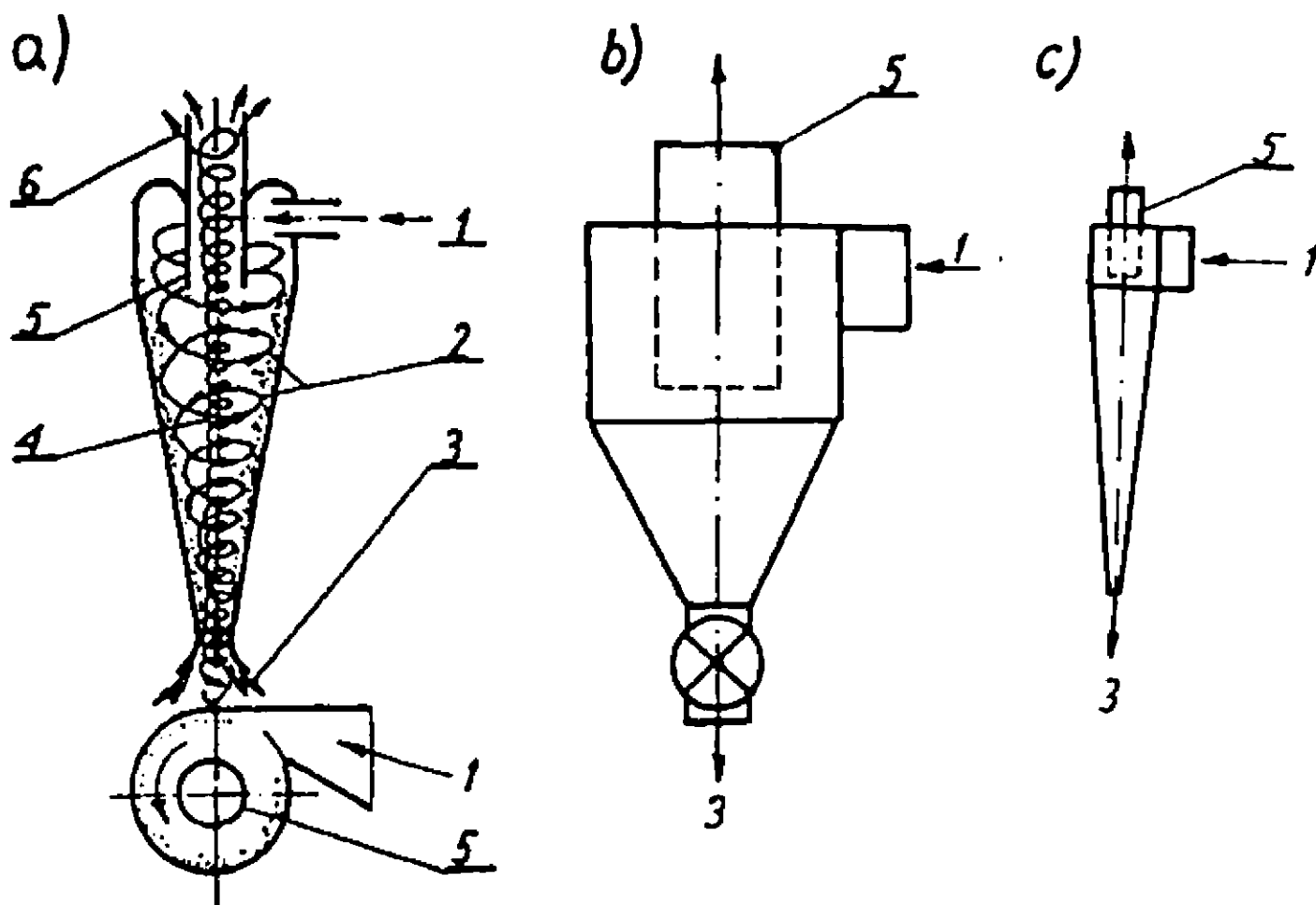
1 – wejście zwiesiny; 2 – wyjście frakcji rzadszej (cieczy klarownej); 3 – kierunek ruchu cieczy; 4 – kierunek ruchu osadu; 5 – wypływ koncentratu osadu; 6 – korpus bębna; 7 – wprowadzenie wody płuczającej przez oś napędzaną

Ultrawirówki. Ultrawirówki są specjalną odmianą wirówek sedymentacyjnych, służących do wytwarzania szczególnie wielkich przyspieszeń i siły odśrodkowej. Dzięki zastosowaniu bardzo dużych prędkości obrotów, powyżej 30 000 na minutę uzyskuje się bardzo wielkie siły odśrodkowe. W związku z tym, dla zachowania bezpieczeństwa pracy i zrównoważenia wytrzymałości ułożyskowania z przeciążeniami, ultrawirówki dające siły odśrodkowe powyżej 3000 g, konstruowane są z elementami wirującymi o stosunkowo małych średnicach maksymalnych rzędu kilkudziesięciu mm. Dzięki ogromnym przyspieszeniom ultrawirówki pozwalają na wydzielanie z zawiesin nie tylko

cząstek przy bardzo małych różnicach gęstości, ale nawet rozdzielanie mieszaniny substancji różniących się zasadniczo masami cząsteczkowymi w roztworach klarownych.

Cyklony i hydrocyklony. Cyklony są to urządzenia do prowadzenia procesu sedymentacji zawiesin ciała stałego w gazach pod działaniem siły odśrodkowej wytworzonej przez wirowanie strumienia zawiesin gazowych (pyłów). Hydrocyklony są rodzajem cyklonów przystosowanych konstrukcyjnie i warunkami pracy do sedymentacji cząstek zawiesin ciała stałego w cieczach.

Zasadę działania cyklonów i hydrocyklonów przedstawiają schematy na rys. 2.27.



Rys. 2.27. Schemat budowy i działania cyklonów i hydrocyklonów

a – układ strumienia w cyklonie; *b* – budowa cyklonu; *c* – budowa hydrocyklonu
1 – wejście nadawy; *2* – wir zewnętrzny zstępujący; *3* – wypływ koncentratu; *4* – wir wewnętrzny wstępujący; *5* – przelew; *6* – wypływ płynu klarownego z przelewu

Cyklony i hydrocyklony dla spełnienia swoich zadań muszą być dostosowane konstrukcyjnie oraz warunkami pracy do rodzaju zawiesin poddanych sedymentacji. Główną różnicę między cyklonami i hydrocyklonami stanowią:

- wielkość aparatu,
- proporcje części cylindrycznej i stożkowej,
- sposób wprowadzenia zagęszczonej zawiesiny,
- różnica ciśnień nadawy oraz wyprowadzanego płynu.

Tak więc ze względu na stosunkowo dużą różnicę gęstości i wielkości cząstek fazy stałej zawiesiny (pyłu) i powietrza (gazu) w cyklonach nie jest potrzebna zbyt wielka siła odśrodkowa dla dokonania skutecznej sedymentacji. Stąd więc cyklony są aparatami stosunkowo dużymi, o średnicy rzędu kilkuset mm. Ponadto posiadają proporcje wysokości części cylindrycznej do części stożkowej najczęściej jak 1:1. Cyklony dla zapewnienia skutecznego odpylania gazów muszą mieć selektywne zamknięcie wylotu dolnego, zwykle za pomocą turnikietu, który wyprowadza sypki materiał natomiast całkowicie zatrzymuje strumień gazu. W cyklonach ze względu na wymagane małe siły odśrodkowe, nadawa zawiesiny (pyłu) wprowadzana jest pod niewielkim ciśnieniem, niezbędnym jedynie po to aby z nadmiarem pokonać opory przepływu.

W odróżnieniu od cyklonów, hydrocyklony służą do wydzielania cząstek fazy stałej zawieszonych w cieczy (najczęściej w wodzie), a zatem różnica gęstości cząstek fazy stałej i cieczy jest stosunkowo mała, a czasem bardzo mała. Stąd więc występuje tu zapotrzebowanie na bardzo duże siły odśrodkowe, które uzyskuje się przez konstruowanie hydrocyklonów o bardzo małych wymiarach i o bardzo długiej części stożkowej w porównaniu z krótką częścią cylindryczną (4:1). Wymiary najczęściej stosowanych hydrocyklonów są rzędu: średnica 10-30 mm, wysokość około 150-250 mm. W hydrocyklonach oba wyloty, a więc górny (przelew cieczy klarownej) i dolny (dysza wyprowadzająca gęstwą osadu) są zawsze otwarte.

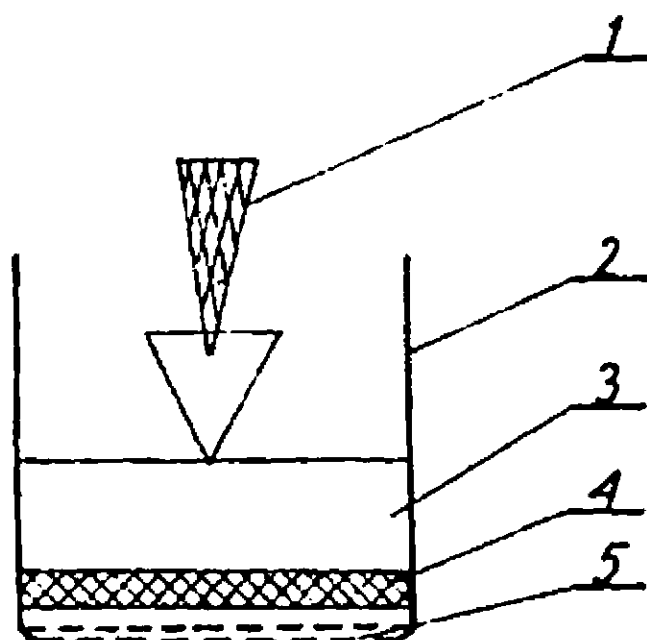
W hydrocyklonach celem wywołania bardzo szybkiego wiru stosuje się wprowadzanie nadawy pod stosunkowo dużym ciśnieniem (0.3-1 MPa) zależnie od rodzaju zawiesiny.

Wydajność procesu sedymentacji za pomocą cyklonów i hydrocyklonów powiększa się wyłącznie przez równoległe łączenie wielu aparatów w zespoły. Jest to szczególnie konieczne w przypadku hydrocyklonów, które w praktyce prawie zawsze pracują w obudowanych zespołach w postaci tzw. multihydrocyklonów zawierających od kilku do kilkudziesięciu równoległe pracujących pojedynczych aparatów. Zależnie od potrzeb hydrocyklony mogą też pracować w zespołach

szeregowych i w układach wielostopniowych. Zawsze jednak ich wymiary muszą być dostosowane do rodzaju zawiesiny poddawanej sedymentacji.

2. Filtracja. Jest to proces przepływu płynów (cieczy lub gazu) przez warstwę porowatą. W czasie tego przepływu następuje wydzielanie cząstek zawiesiny przez osadzanie ich na powierzchni lub we wnętrzu warstwy porowatej. Przepływ ten może być wymuszony przez różnicę ciśnień po obu stronach przegrody filtracyjnej i warstwy porowatej osadu lub też przepływ strumienia płynu wywołany jest siłą odśrodkową bez różnicy ciśnień.

W przypadku, gdy proces filtracji wymuszony jest różnicą ciśnień, mamy do czynienia z filtracją dokonywaną za pomocą filtrów ciśnieniowych lub próżniowych. Filtracja pod wpływem siły odśrodkowej odbywa się w wirówkach filtracyjnych, których element wirujący (bęben) posiada obwodowo ułożone sito, (rys. 2.28).



Rys. 2.28. Elementy układu filtracyjnego

1 – silnik napędowy filtracji; 2 – zasobnik (obudowa); 3 – płyn filtrowany; 4 – warstwa filtracyjna; 5 – przegroda filtracyjna (sito)

Prędkość filtracji określona jest następującą zależnością:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{k F \Delta P}{\mu L},$$

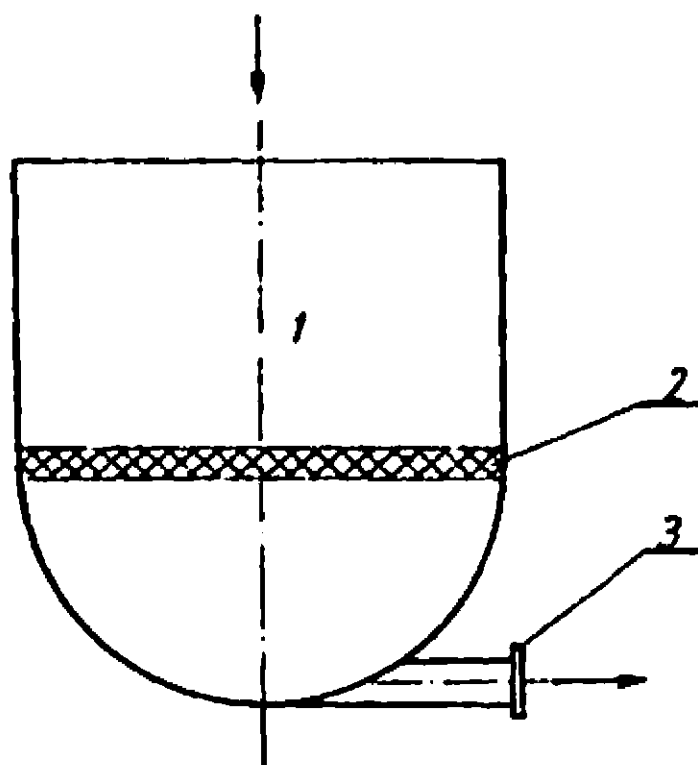
gdzie: V – objętość filtratu [m^3],
 τ – czas filtracji [s],
 $K = nd^4\pi/128$ – przepuszczalność,
 n – liczba kapilar na m^2 ,
 d – średnica kapilar [m^2],
 F – powierzchnia filtracji [m^2],
 ΔP – spadek ciśnienia cieczy [kPa] (opór filtracyjny),
 μ – lepkość dynamiczna cieczy [kPa·s],
 L – grubość warstwy filtracyjnej [m].



Przykłady filtrów ciśnieniowo-próżniowych o działaniu periodycznym.

Nucza jest najprostszym filtrem o pracy okresowej. Może ona pracować jako filtr ciśnieniowy, w którym przepływ następuje pod działaniem słupa cieczy nad przegrodą filtracyjną. W przypadku podłączenia pompy próżniowej na wypływie filtratu uzyskujemy filtr próżniowy. Typowymi przedstawicielami tego rodzaju filtru są w małej skali różnego rodzaju sączi laboratoryjne, (rys. 2.29).





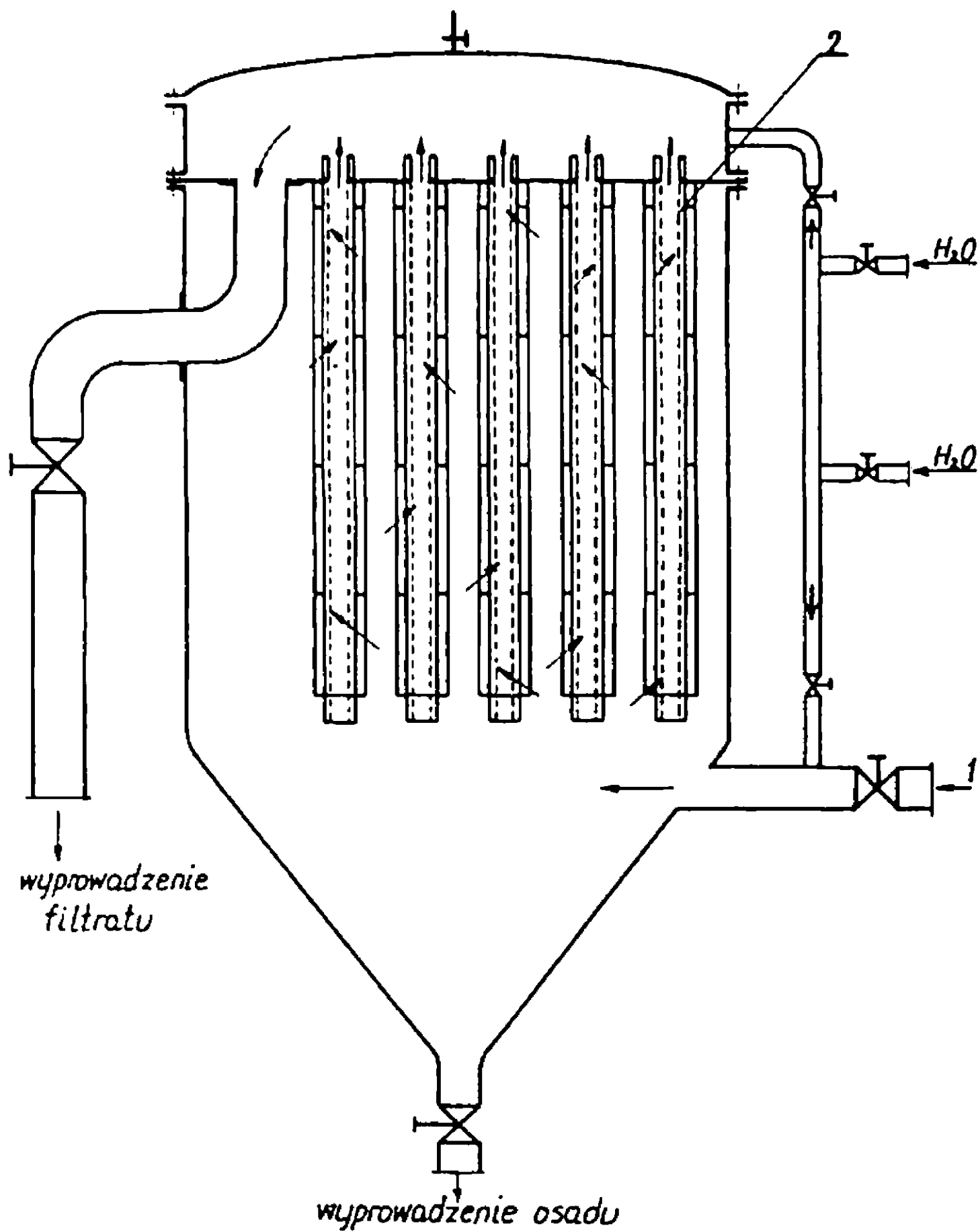
Rys. 2.29. Nuczka filtracyjna

1 – zbiornik; 2 – przegroda filtracyjna;
 3 – króciec odbioru filtratu

Filtr świecowy Schumachera. Przegrodą filtracyjną w filtrach świecowych są ceramiczne ściany boczne świec (rur z zamkniętym otworem dolnym) porowatych zamontowanych w górnej przegrodzie zbiornika. Filtry świecowe służą do filtracji zawiesin z małą ilością drobnoziarnistego osadu, (rys. 2.30).

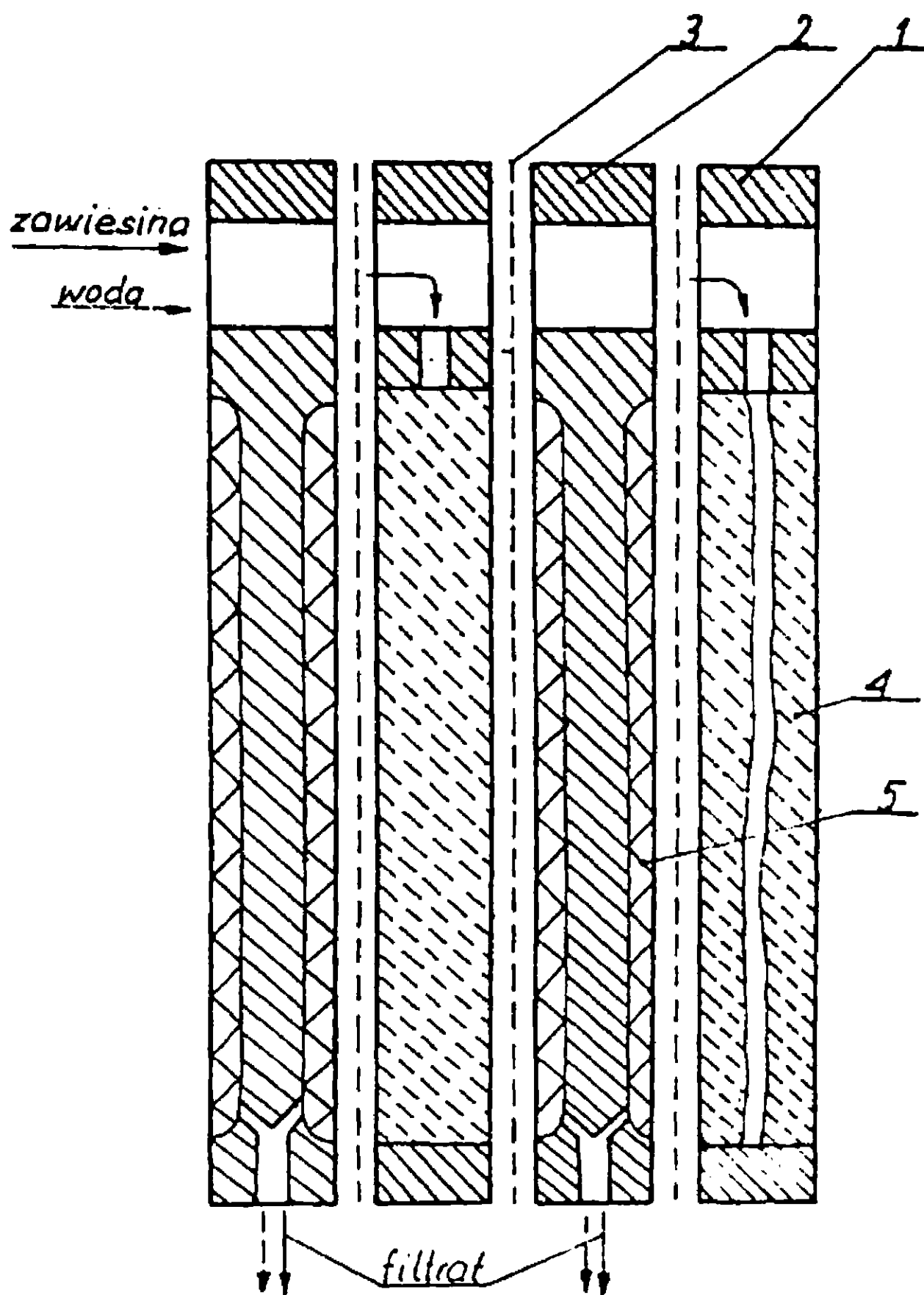
Prasa filtracyjna ramowa. Jest to aparat złożony z wielu naprzemianległych i ściskanych płyt i ram, oddzielonych od siebie tkaniną filtracyjną. Zasadę działania prasy filtracyjnej przedstawia rys. 2.31.

Filtr workowy Kelly'ego (rys. 2.32). Element filtracyjny filtra Kelly'ego składa się z ramy wykonanej w postaci mocno spłaszczonej rury (7), wewnątrz której znajduje się siatka druciana (8), cała rama obciągnięta jest tkaniną filtracyjną (9), w górnej części podtrzymywana przez kołpaczek (10). Na zewnętrznych powierzchniach tkaniny (worków) odkłada się warstewka filtracyjna osadu (11).



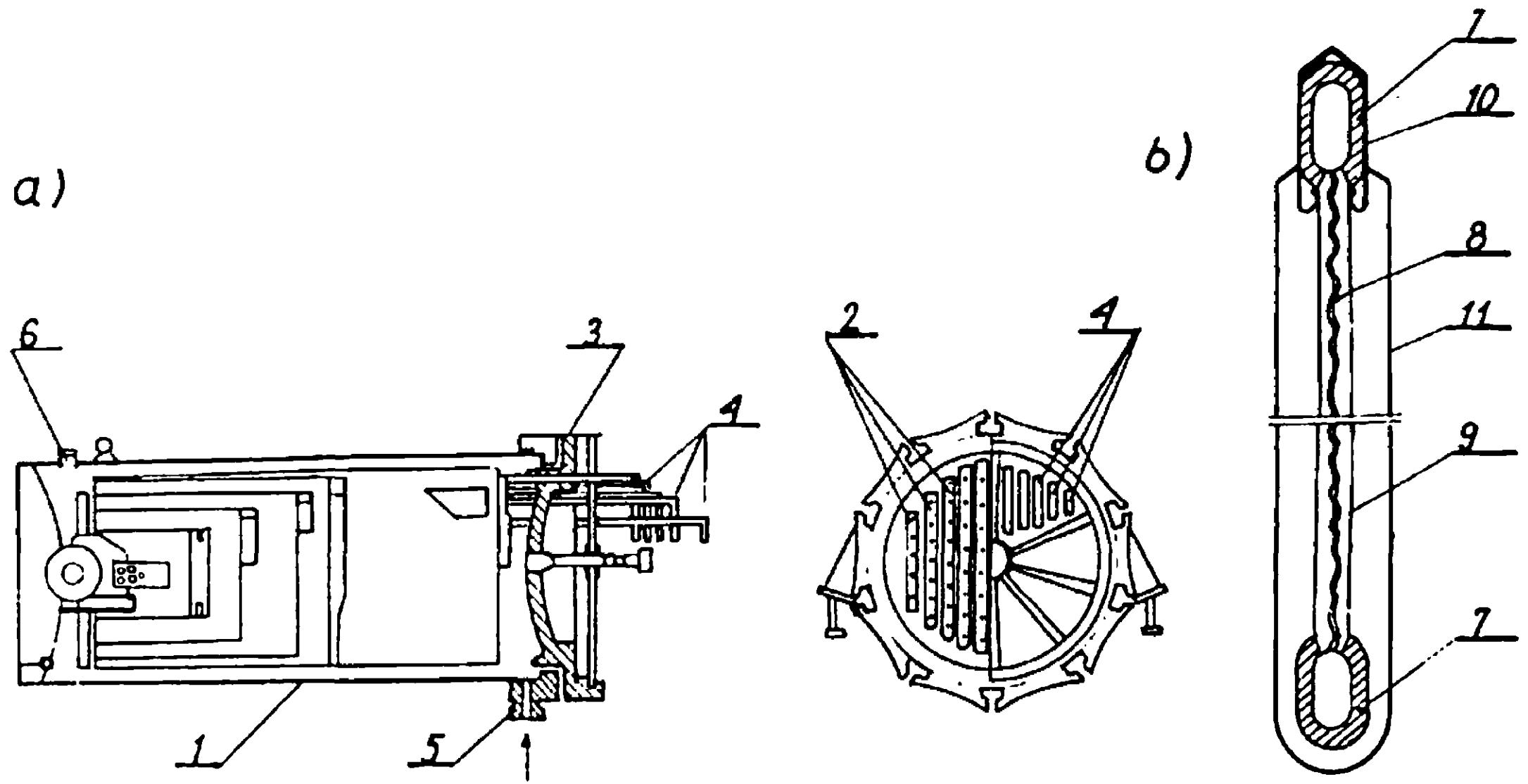
Rys. 2.30. Filtr świecowy Schumachera

1 – wtlaczanie zawiesiny; 2 – filtracyjne świece ceramiczne



Rys. 2.31. Zasada działania płytowej prasy filtracyjnej

- 1 – rama prasy; 2 – płyta prasy; 3 – tkanina filtracyjna; 4 – warstwa osadu;
5 – rowkowana powierzchnia płyty



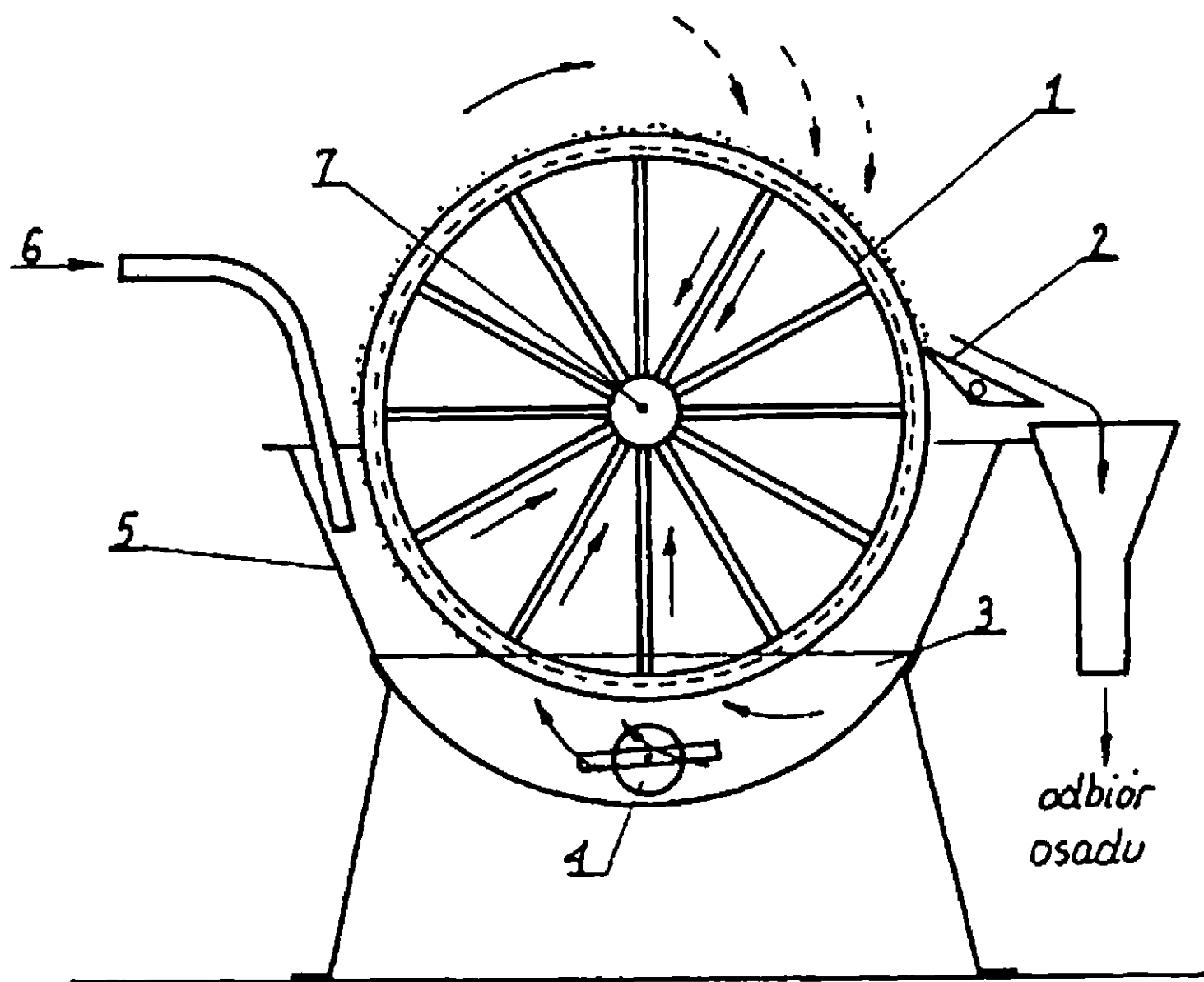
Rys. 2.32. Filtr workowy Kelly'ego

a – zestawienie filtru; *b* – element filtracyjny

1 – obudowa; 2 – elementy filtracyjne; 3 – pokrywa; 4 – odprowadzenie przesączu; 5 – krociec zasilający; 6 – odprowadzenie powietrza; 7 – rama; 8 – siatka; 9 – tkanina; 10 – kolpak; 11 – warstwa osadu

Przykłady filtrów o działaniu ciągłym.

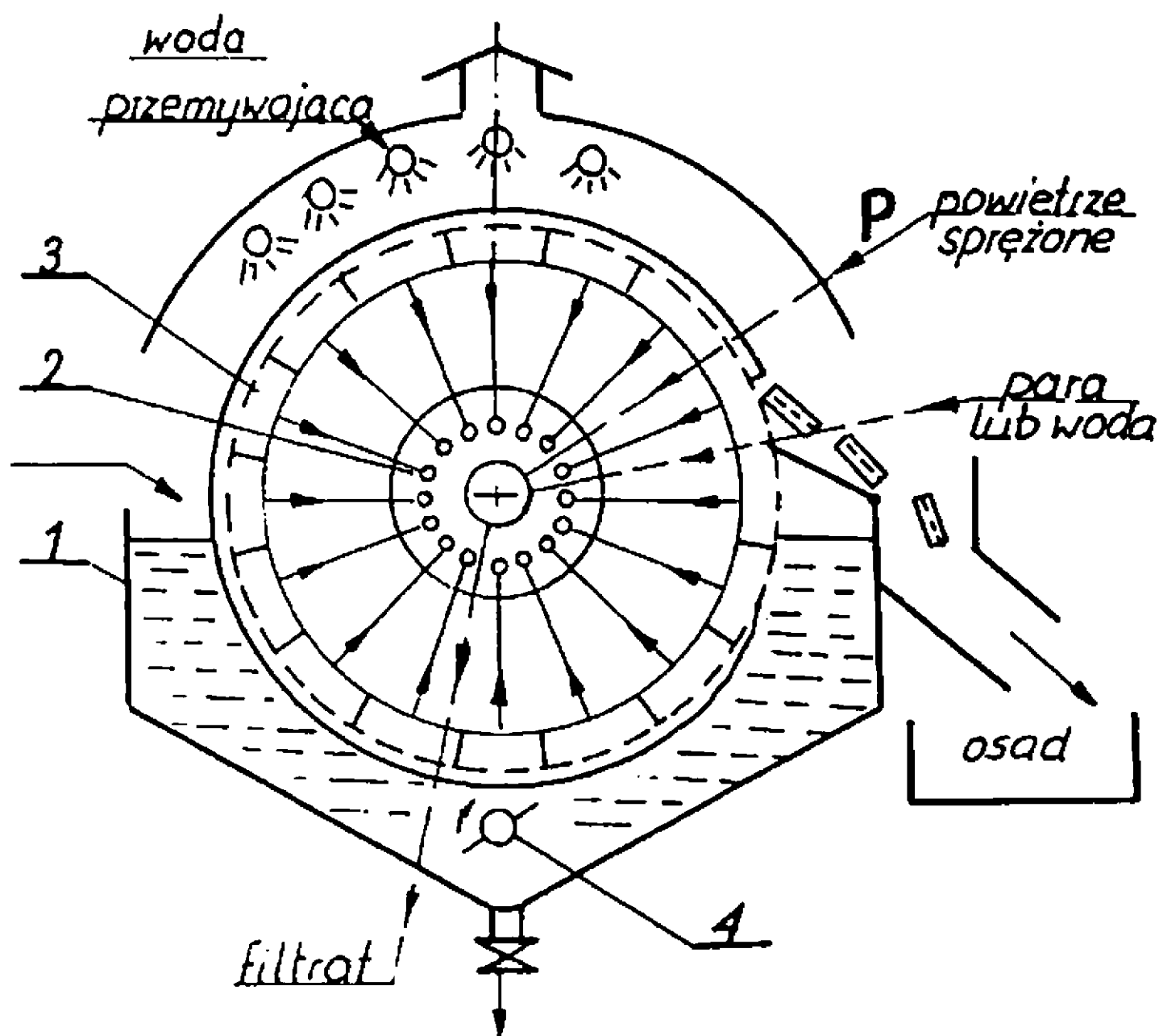
Filtr bębnowy bezkomorowy posiada bęben z sitowym obwodem pokrytym tkaniną filtracyjną. Elementy konstrukcyjne łączące obwód bębna z napędzaną osią rurową są wykonane z rurek pozwalających na przepływ i odprowadzenie filtratu z warstwy filtracyjnej do rurowej osi połączonej z pompą próżniową. Różnica ciśnień w układzie filtracji (próżnia) jest utrzymywana dzięki ukształtowaniu warstw osadu o stałej grubości na całym obwodzie filtracyjnym bębna, a odbiór ciągły osadu odbywa się przez zdejmowanie skrobakiem jego wierzchniej (zewnątrznej) warstewki (około 2 mm). Bęben filtru bezkomorowego zanurzony jest w zawieszynie filtrowanej tylko płytko dolną krawędzią, zasysając zawieszinę na istniejącą już warstwę filtracyjną. Filtry te znalazły powszechne zastosowanie do (zagęszczania) odwadniania zawiesin skrobiowych i drożdżowych (rys. 2.33).



Rys. 2.33. Schemat filtru bębnowego bezkomorowego

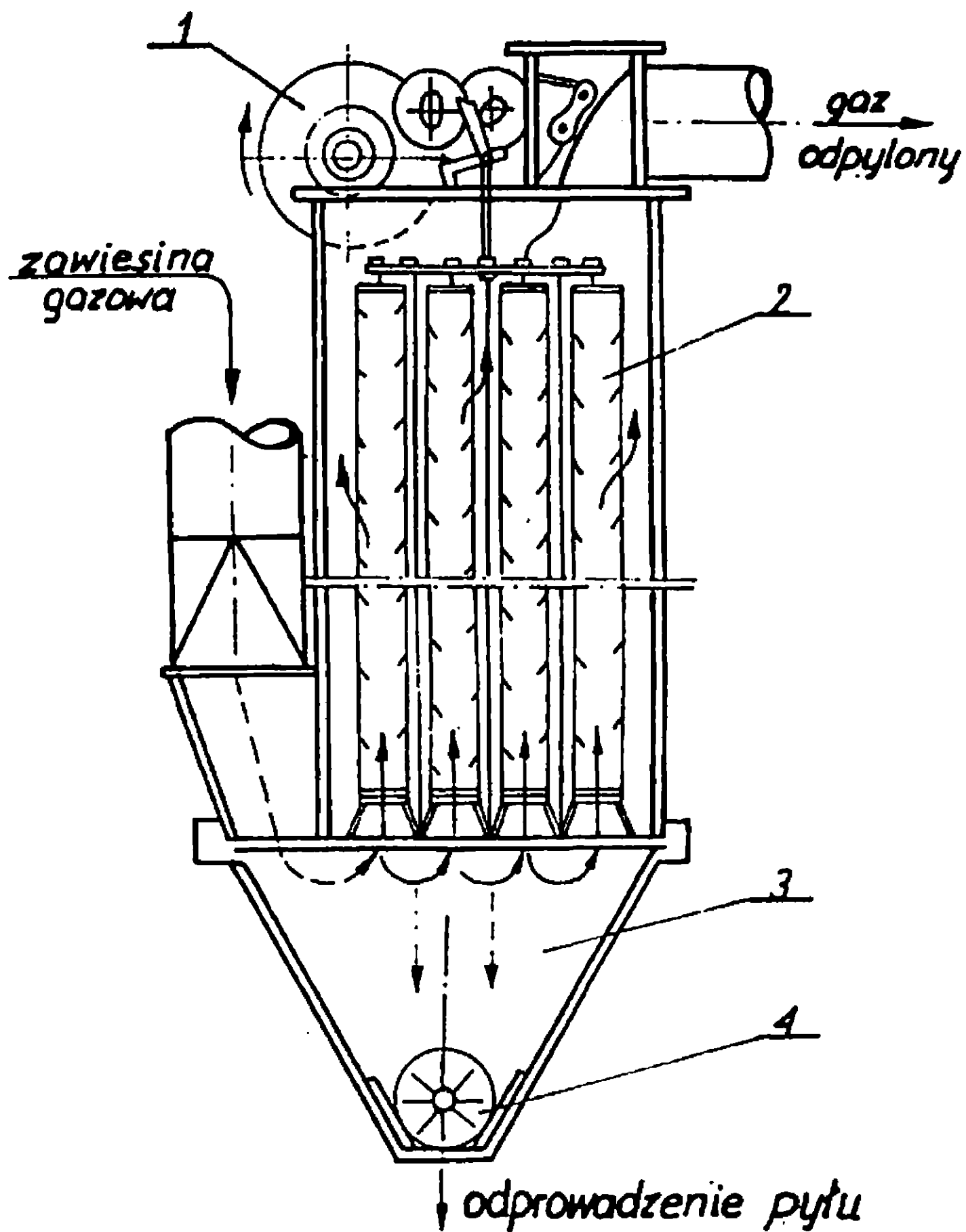
1 – bęben z obwodem sitowym; 2 – skrobak; 3 – poziom zawiesziny; 4 – mieszadło;
5 – zasobnik filtru; 6 – wprowadzenie zawiesziny; 7 – odprowadzenie filtratu osiową rurową

Bębnowy filtr komorowy typu Oliver jest zbudowany z obrotowego bębna o obwodzie perforowanym obciągniętego tkaniną filtracyjną. Na tkaninie odkłada się warstwa osadu. Bęben podzielony jest na szesnaście komór, które pracują w dziewięciu strefach i połączone są przewodami z głowicą. Do obracającej się głowicy dociśnięty jest elastycznie nieruchomy komutator, który podczas obrotów bębna i głowicy łączy komory filtru z poszczególnymi strefami jego pracy, a więc z próżnią, atmosferą, sprężonym powietrzem i wodą płuczącą. Przewody próżniowe komutatora połączone są z odbieralnikiem przesączu i zbiornikiem popłuczyn. Bęben filtru zanurzony jest w korycie wypełnionym zawiesziną o stałym poziomie. Bęben otrzymuje napęd za pośrednictwem przekładni. Osad zbiera się w warstwie przemywanej natryskiem i zdejmowanej w całości skrobakiem (rys. 2.34).



Rys. 2.34. Schemat filtru bębnowego komorowego

1 – zasobnik; 2 – głowica; 3 – jedna z komór; 4 – mieszadło



Rys. 2.35. Odpylacz rękawowy

1 – mechanizm wstrząsający; 2 – rękawy (tkanina filtracyjna); 3 – zasobnik pyłu;
4 – turnikiet

Filtry talerzowe i tarczowe stanowią przykłady filtrów obrotowych o działaniu ciągłym. Różnią się one od filtrów bębnowych głównie tym, że powierzchnia filtracyjna usytuowana jest w nich na powierzchni bocznej elementów obrotowych a nie na obwodzie, jak to ma miejsce w filtrach bębnowych.

Filtry wstrząsane rękawowe są urządzeniami o działaniu ciągłym służącymi do filtracji zawiesin gazowych. Przykładem budowy i działania wstrząsanego filtra rękawowego jest odpylacz rękawowy (rys. 2.35).

Filtracja pod działaniem siły odśrodkowej prowadzona jest za pomocą wirówek filtracyjnych o działaniu periodycznym lub ciągłym. Są to aparaty, w których bęben wirujący posiada sitowy obwód, często pokryty tkaniną filtracyjną.

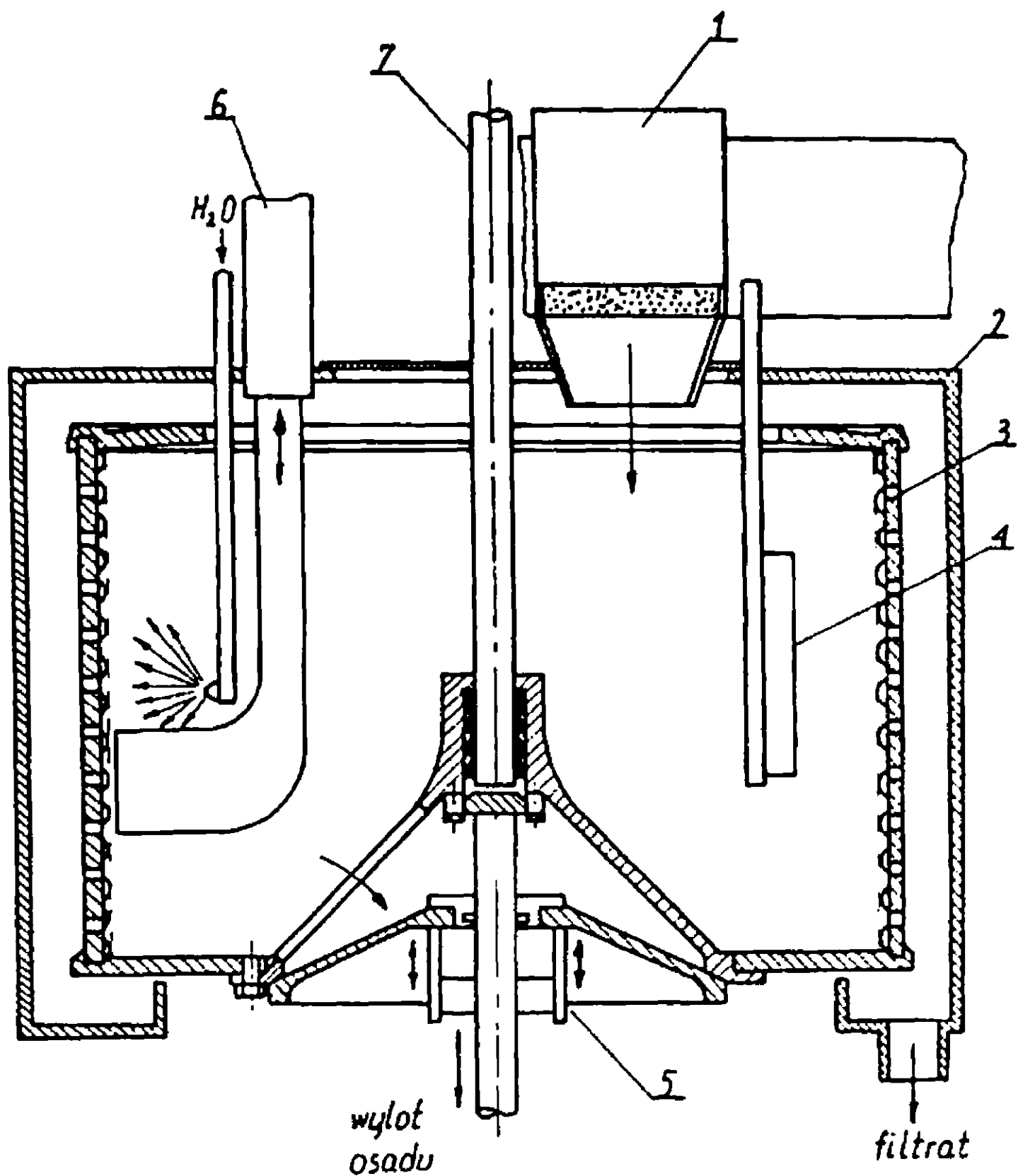
Wirówki filtracyjne o działaniu periodycznym pracują w trzech zasadniczych fazach:

- w pierwszej fazie przy zwolnionych obrotach następuje załadowanie zawiesiny do bębna wirówki i uformowanie warstwy filtracyjnej,
- w drugiej fazie następuje filtracyjne oddzielenie fazy rozproszonej zawiesiny od ciekłej fazy ciągłej,
- w trzeciej fazie zwykle przy zmniejszonych obrotach bębna następuje usunięcie osadu i przygotowanie wirówki do kolejnej fazy początkowej.

Bardzo często do tak zarysowanej zasadniczej pracy wirówki filtracyjnej wprowadza się dodatkowo operacje mające na celu np. oczyszczanie osadu jak przemywanie lub osuszanie warstw osadu.

Przykładem periodycznej wirówki filtracyjnej jest **autoamtyczna wirówka do glukozy (rys. 2.36).**

Wirówki filtracyjne o działaniu ciągłym różnią się tym od wirówek periodycznych, że wyposażone są w urządzenia zdolne do ciągłego odprowadzenia osadu podczas filtracji. Dokonuje się tego z wykorzystaniem siły odśrodkowej dzięki stożkowej konstrukcji bębna. Stożkowa powierzchnia filtracyjna bębna wirówki zapewnia filtrację czyli przepływ cieczy przez warstwę osadu dzięki działaniu prostopadłej części składowej siły odśrodkowej, natomiast równoległa do powierzchni sita część składowa tej siły umożliwia ciągle odprowadzanie warstwy osadu.



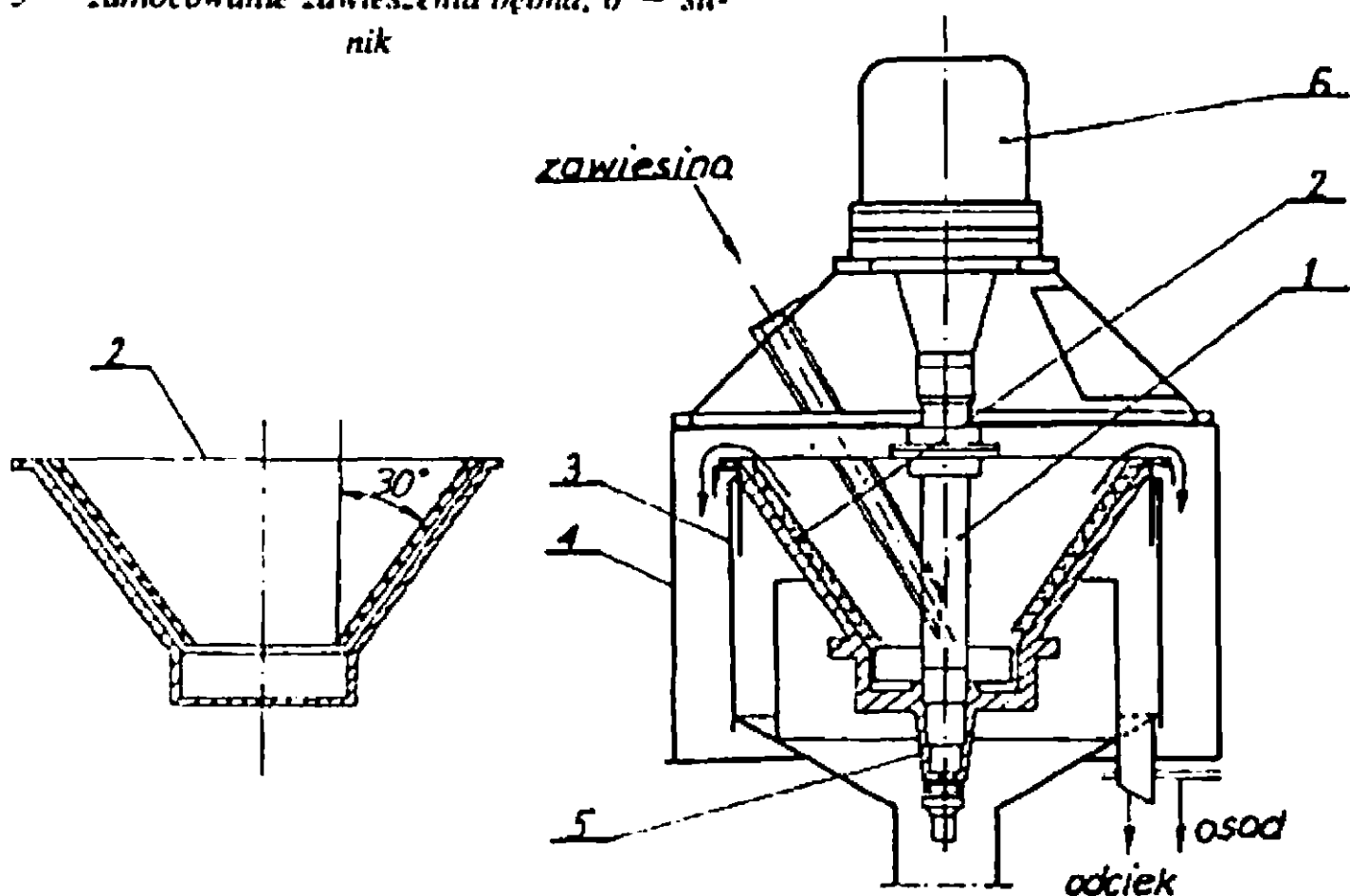
Rys. 2.36. Wirówka filtracyjna o działaniu periodycznym

1 – lej załadowczy; 2 – stala obudowa; 3 – sitowy obwód bębna; 4 – czujnik grubości warstwy osadu; 5 – przesuwne zamknięcie wysypu osadu; 6 – przesuwny skropek;
7 – napędzana oś wirówki

Przykładem wirówki filtracyjnej o działaniu ciągłym jest wirówka cukrownicza podwieszona (rys. 2.37).

Rys. 2.37. Wirówka filtracyjna o działaniu ciągłym

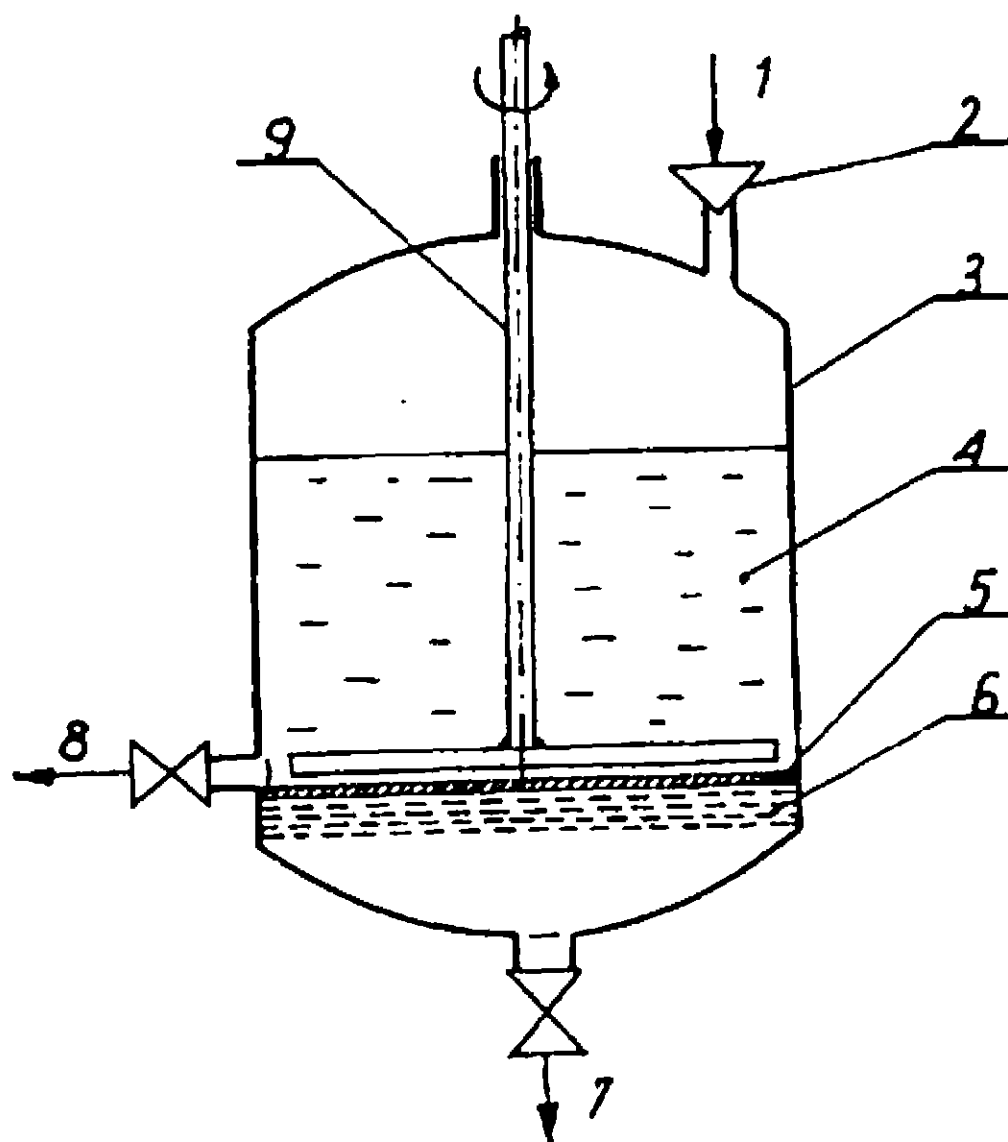
1 – oś napędu bębna; 2 – stożkowy bęben sitowy; 3 – zasobnik cieczy; 4 – obudowa; 5 – zamocowanie zawieszenia bębna; 6 – silnik



Ultrafiltracja i odwrócona osmoza. Ultrafiltracja jest szczególnym przypadkiem procesu filtracji z tą szczególną cechą, że służy do rozdzielania nie zawiesin, lecz mieszaniny substancji rozpuszczonych, a różniących się wielkością cząsteczek. Rozdzielanie molekularne mieszaniny następuje tu w wyniku wymuszonego przepływu cieczy przez błony półprzepuszczalne (specjalne membrany) stanowiące przegrodę filtracyjną. Odpowiednio dobrane membrany przepuszczają substancje małocząsteczkowe, natomiast substancje wielkocząsteczkowe zatrzymują się na powierzchni membrany i są odprowadzane w postaci koncentratu. Ultrafiltry mogą działać zarówno w postaci dowolnej konstrukcji filtru o działaniu periodycznym względnie znajdują zastosowanie jako urządzenia rurowe lub kapilarne o działaniu ciągłym. W obu przypadkach istotą działania ultrafiltru jest odprowadzenie warstwy roztworu (koncentratu) substancji wielkocząsteczkowych z powierzchni membrany lub ciągłe niszczenie takiej

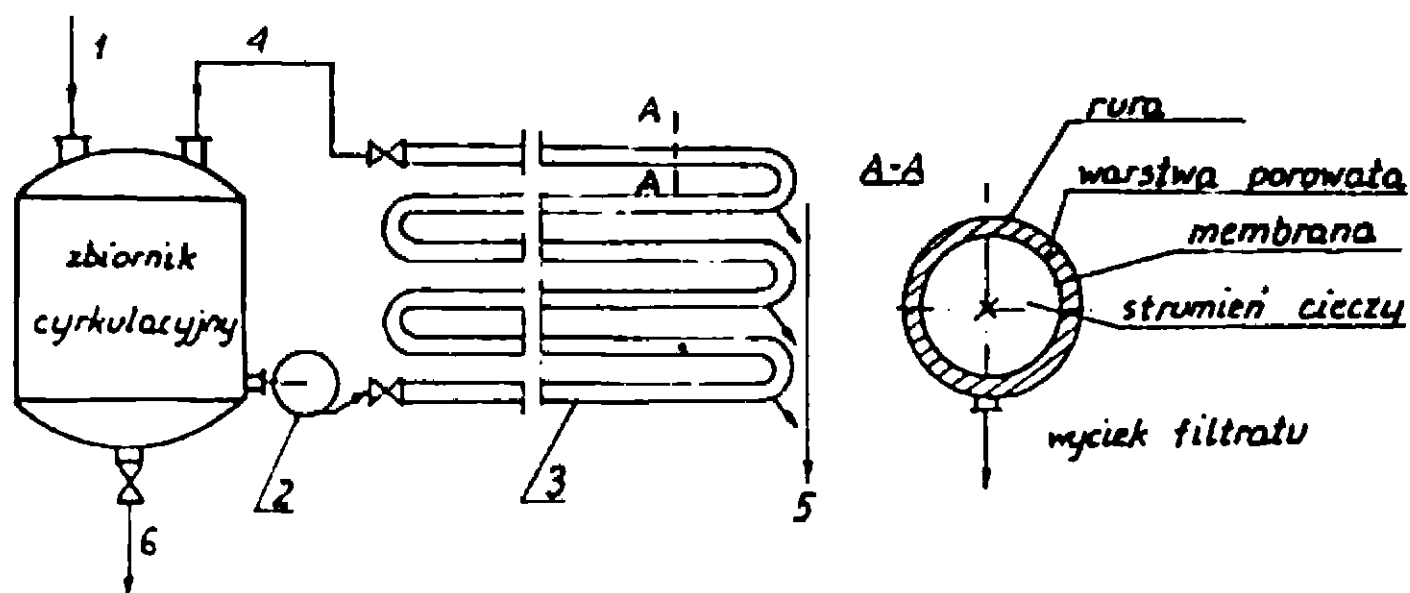
warstwy dzięki intensywnemu mieszaniu. Szczególnym przypadkiem procesu ultrafiltracji jest proces odwróconej osmozy – wówczas membrana przepuszcza do filtratu tylko cząsteczki rozpuszczalnika. Ultrafiltry pracują przy niewielkiej różnicy ciśnień rzędu kilku dziesiątych części MPa (0,2-1 MPa), natomiast ultrafiltracja zastosowana jako odwrócona osmoza do zagęszczania substancji rozpuszczalnych w wodzie (tzw. membranowe usuwanie wody) wymaga ciśnień bardzo dużych (rzędu kilkunastu MPa), (rys. 2.38 i 2.39).

Odwrócona osmoza dokładniej omówiona jest w p. 5.2.1.



Rys. 2.38. Schemat naczynia ultrafiltracyjnej

1 – wtlaczanie cieczy; 2 – zawór sterujący; 3 – zbiornik;
4 – ciecz; 5 – membrana; 6 – przegroda filtracyjna; 7 – odbiór filtratu; 8 – odbiór koncentratu; 9 – mieszadło



Rys. 2.39. Schemat ultrafiltracji rurowej o działaniu ciągłym

1 - dozowanie cieczy; 2 - pompa cyrkulacyjna; 3 - moduły rurowe; 4 - zawrót cieczy w obiegu; 5 - odbiór filtratu; 6 - odbiór koncentratu
A-A przekrój modułu rurowego

2.1.3.2. Rozdzielanie (klasyfikacja) zawiesin

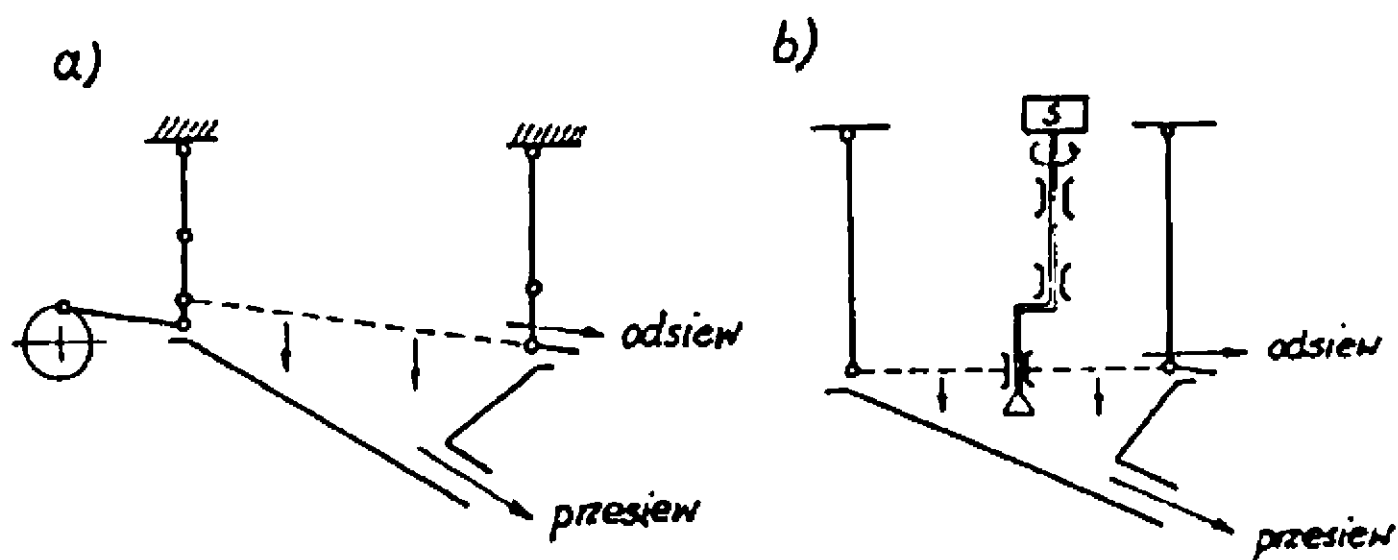
Rozdzielanie zawiesin zgodnie z wcześniejszym zastrzeżeniem będzie rozpatrywane jako proces oddzielenia od siebie zróżnicowanych cząstek fazy rozproszonej. Zależnie od rodzaju tego zróżnicowania cząstek zawiesiny stosuje się odpowiednie metody ich rozdzielania. Cząstki fazy rozproszonej w zawiesinach mogą różnić się między sobą wymiarami, kształtem lub gęstością. Często spotykamy się z zawiesinami zróżnicowanymi wielostopniowo, tzn. cząstki zawiesiny mieszanej różnią się między sobą jednocześnie wymiarami, kształtem i gęstością. Rozdzielanie zawiesin w środowiskach gazowych i ciekłych, których cząstki różnią się między sobą wymiarami, najłatwiej dokonuje się w procesie przesiewania. Rozdzielanie zawiesin, których cząstki nie różnią się wymiarami lub różnią się pod tym względem nieznacznie, natomiast różnią się gęstością, rozdziela się metodą klasyfikacji hydraulicznej lub pneumatycznej. Rozdzielanie zawiesin, których cząstki różnią się w zasadniczy sposób kształtem a inne różnice są mało istotne, dokonuje się za pomocą tryjerów. Metoda ta ma przykładowo powszechne zastosowanie do rozdzielania mieszanek ziaren różnych zbóż. Metodę tę stosuje się również do oddzielania kielków (zarodków) od pozostałych części ziaren (np. w przemyśle czekoladowym).

1. Przesiewanie. Procesy przesiewania służące do rozdzielania zawieszin, których cząstki różnią się wymiarami, można rozpatrywać w pierwszym przybliżeniu przez analogię do procesów filtracji. Jedyną różnicą między filtracją a przesiewaniem jest to, że przesiewanie odbywa się przy użyciu przesiewaczy zaopatrzonych w sita bez udziału warstwy filtracyjnej i przy ciągłym niszczeniu warstwy osadu. Dzięki niedopuszczaniu do wytworzenia warstwy filtracyjnej (warstwy osadu) w procesie przesiewania istnieje możliwość przenikania przez sitową przegrodę nie tylko klarownej fazy rozpraszającej (cieczy lub gazu) ale również cząstek zawiesziny o wymiarach mniejszych od wielkości oczek sita.

Zapobieganie tworzeniu się warstwy filtracyjnej lub jej niszczenie w procesie przesiewania dokonuje się przez wywoływanie ruchu względnego masy zawiesziny. W niektórych konstrukcjach przesiewaczy likwidacja warstwy osadu wspomagana jest instalowaniem specjalnych przecieraków szczotkowych. Zależnie od sposobu zrealizowania ruchu względnego zawiesziny w stosunku do sita, istnieje szereg różnych typów przesiewaczy, których elementem roboczym są:

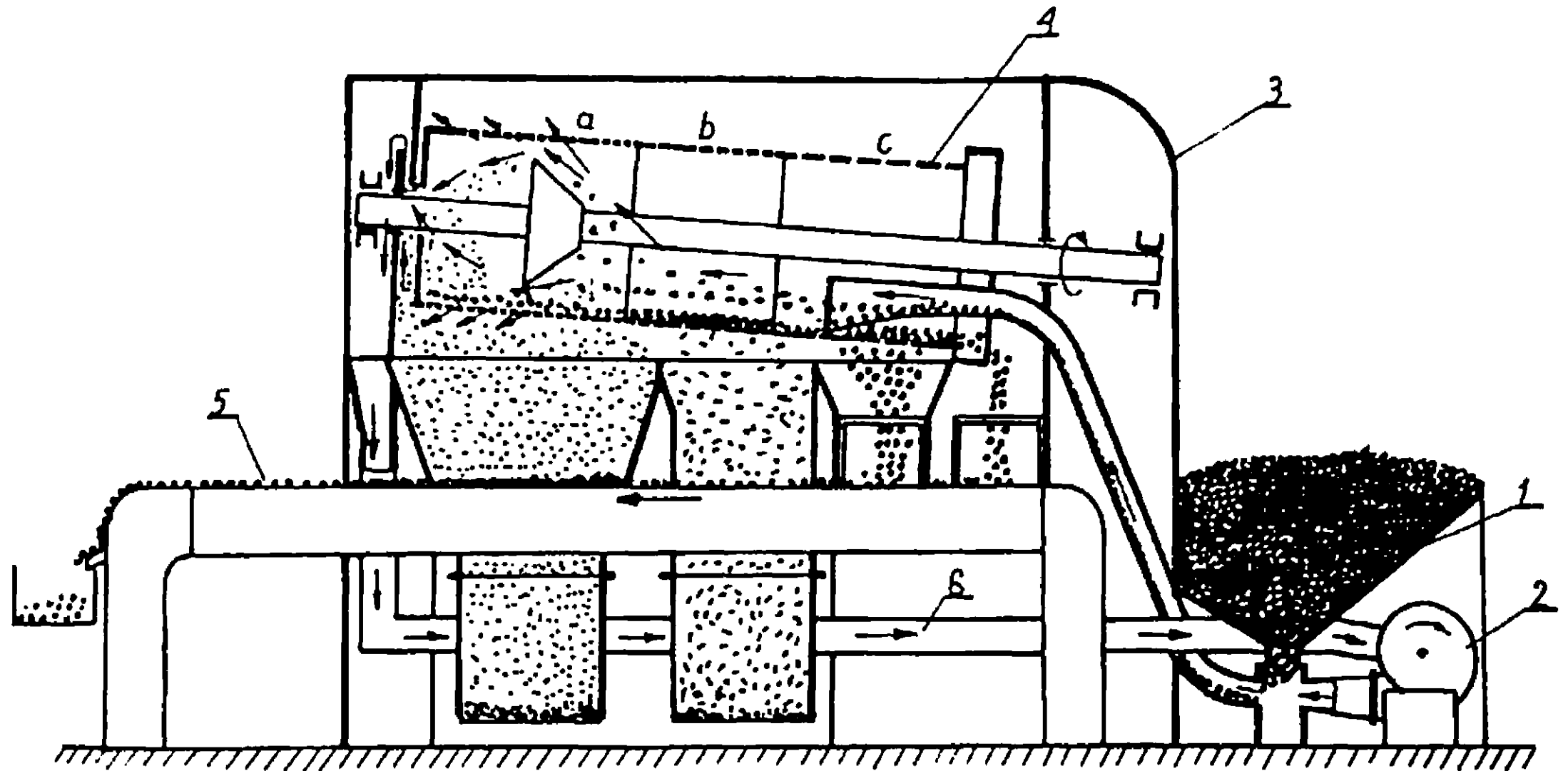
- sito płaskie (jedno- i wielostopniowe),
- sita bębnowe (jedno- i wielosekcyjne),
- cyklosita,
- sita wirowe (wirujące sita stożkowe lub rotosita).

Sita płaskie w przesiewaczach napędzane są dwoma rodzajami ruchów tj. ruchem postępowo-zwrotnym lub ruchem obrotowo-postępowym. Ilustrują to następujące schematy (rys. 2.40).



Rys. 2.40. Schemat działania przesiewaczy płaskich

a – przesiewacz o ruchu postępowo-zwrotnym; b – przesiewacz o ruchu obrotowo-postępowym



Rys. 2.41. Przesiewacz (sortownik) bębnowy

1 – lej zasypowy; 2 – wentylator; 3 – obudowa; 4 – bęben sitowy (a, b, c – strefy o rosnących wielkościach oczek); 5 – transport taśmowy najgrubszej frakcji; 6 – powrót powietrza do dmuchawy

Oba pokazane typy przesiewaczy o sitach płaskich mogą pracować pojedynczo lub w zestawach wielostopniowych. W przypadku przesiewaczy z sitami płaskimi wielostopniowymi sita ustawione są jedno nad drugim w ten sposób, że najwyżej położone jest sito o największych oczkach, po nim zaś sita kolejno o oczkach coraz mniejszych.

W procesie przesiewania wielostopniowego następuje klasyfikacja zawiesiny na szereg frakcji dzięki oddzielnemu odbieraniu odsiewu z poszczególnych sit i przenikaniu przesiewu przez poszczególne sita, aż do zejścia najdrobniejszego przesiewu z sita położonego najniżej.

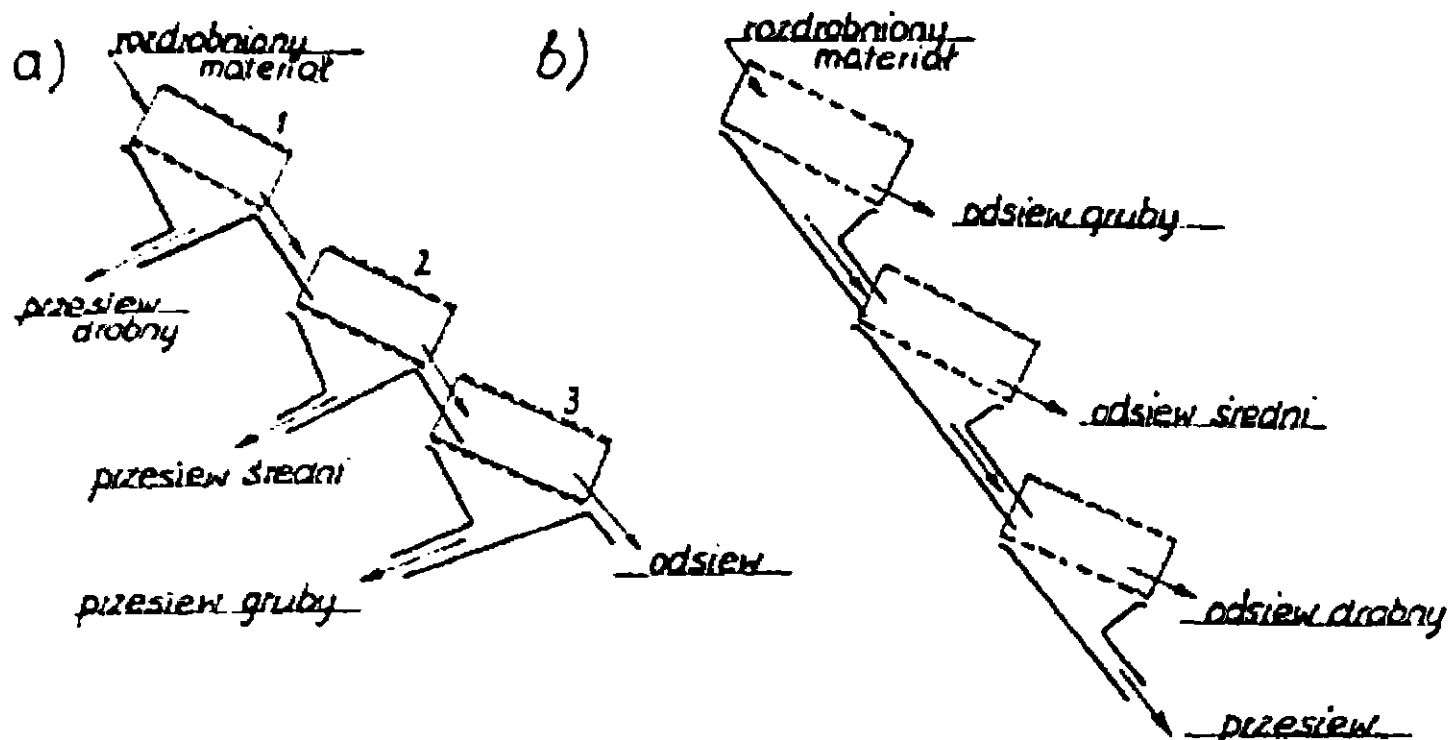
Sita bębnowe w przesiewaczach jedno- i wielostopniowych napędzane są ruchem obrotowym. Schemat budowy i pracy sit bębnowych przedstawia schemat na rys. 2.41.

Sita bębnowe mogą mieć obwód sitowy o jednakowej wielkości oczek lub o wielkości zróżnicowanej. W przypadku bębna sitowego o zróżnicowanej wielkości oczek ich układ w sekcjach jest zawsze taki, że w miejscu załadowania zawiesiny znajduje się sito o najdrobniejszych oczkach, za którym kolejno położone są sita o rosnących wielkościach oczek.

Sita cylindryczne i graniaste w przesiewaczach bębnowych są zawsze pochylone wewnątrz obracającego się bębna. Te same zadania można spełnić przez zastosowanie bębnowo stożkowych z osią poziomą. Kąt pochylenia bębna lub stożka powierzchni sitowej wynosi zwykle 5° . Istnieją też pewne prawidłowości w zakresie budowy i pracy sit bębnowych mianowicie: liczba obrotów bębna waha się na ogół od $12/D$ do $20/D$, przy czym D jest to średnica bębna w metrach. Celem zwiększenia wydajności przesiewaczy z sitami bębnowymi zestawia się te aparaty w układy szeregowo dwojakiemu rodzaju, zależnie od rodzaju zawiesiny.

Dla zawiesin o przewadze udziału cząstek małych, łączy się sita bębnowe o kolejno rosnących oczkach. Przedstawia to schemat na rys. 2.42.a.

W przypadku zawiesin o przewadze cząstek dużych, bębny sitowe zestawia się w szereg, w którym pierwszy bęben posiada największe oczka, podczas gdy kolejne bębny sitowe posiadają sita o oczkach malejących. Przedstawia to schemat na rys. 2.42.b. Zaletą takiego układu jest to, że główna masa dużych cząstek już na początku schodzi z sita jako odsiew i nie obciąża kolejnych sit.

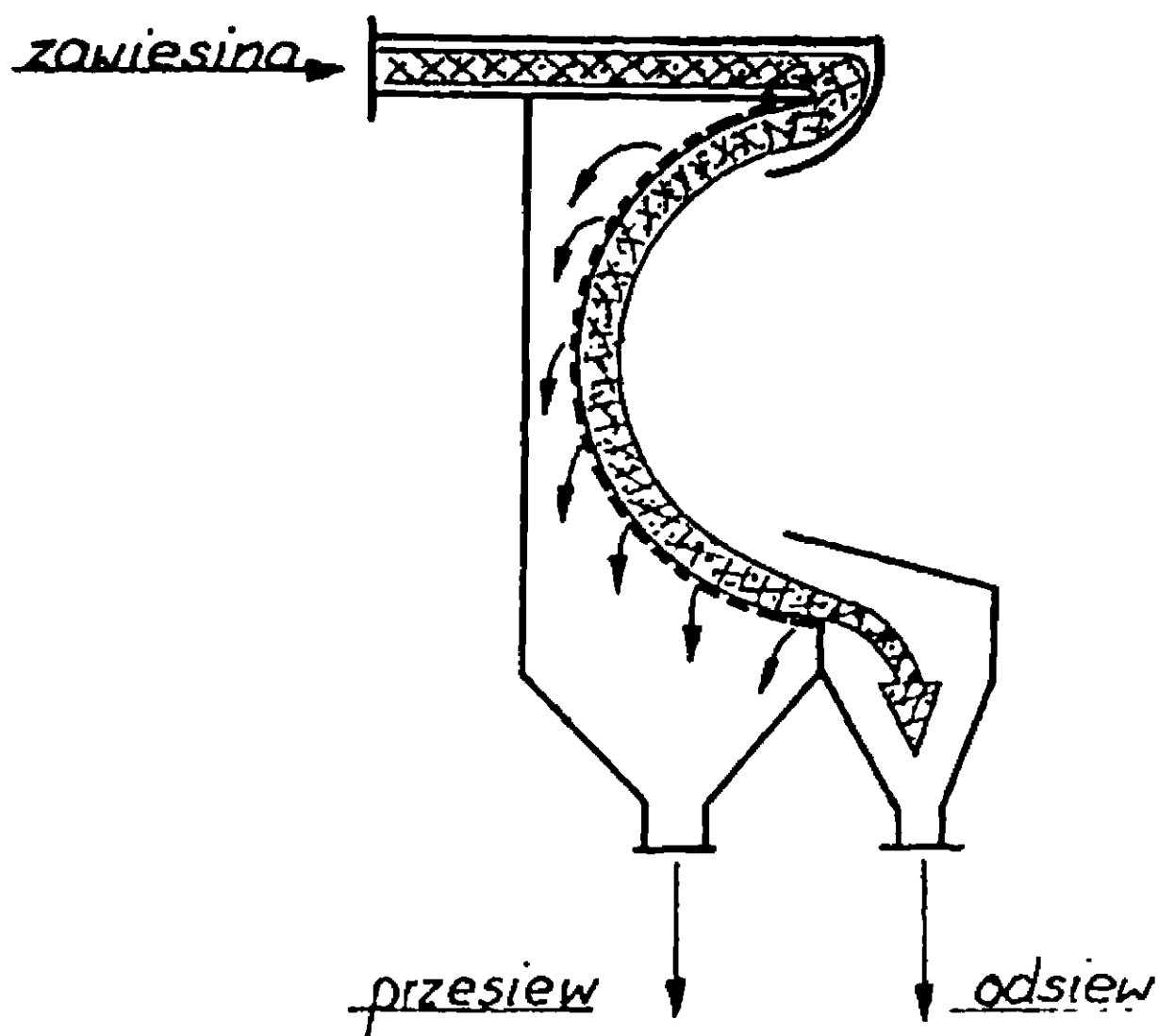


Rys. 2.42. Schemat baterii przesiewaczy bębnowych

- a – zestaw sit o rosnącej wielkości oczek
- b – zestaw o malejącej wielkości oczek

Cyklosita – są to przesiewacze z sitem cylindrycznym lub stożkowym o konstrukcji stałej. Ruch zawiesziny względem powierzchni sita dla niszczenia warstwy osadu uzyskuje się w cyklositach dzięki wprowadzeniu do wnętrza cylindra sitowego silnego strumienia zawiesziny stycznie w stosunku do obwodu sita. Uzyskuje się w ten sposób szybki przepływ wirowy zawiesziny po wewnętrznej powierzchni sita i przenikanie przesiewu przez oczka sita dzięki oddziaływaniu siły odśrodkowej. Tego rodzaju przesiewacze stosuje się jako bardzo efektywne urządzenie do przesiewania zawiesin w środowiskach ciekłych.

W cyklositach przesiewanie następuje podczas wielokrotnego obiegu strumienia zawiesziny po powierzchni obwodu sitowego. Istnieje jednak możliwość przesiewania na tej samej zasadzie, tj. z udziałem siły odśrodkowej lecz powierzchnia sitowa nie stanowi pełnego obwodu a jedynie część. Sita o takiej konstrukcji mają szerokie zastosowanie do przesiewania zawiesin ciekłych i noszą nazwę sit łukowych, (rys. 2.43).



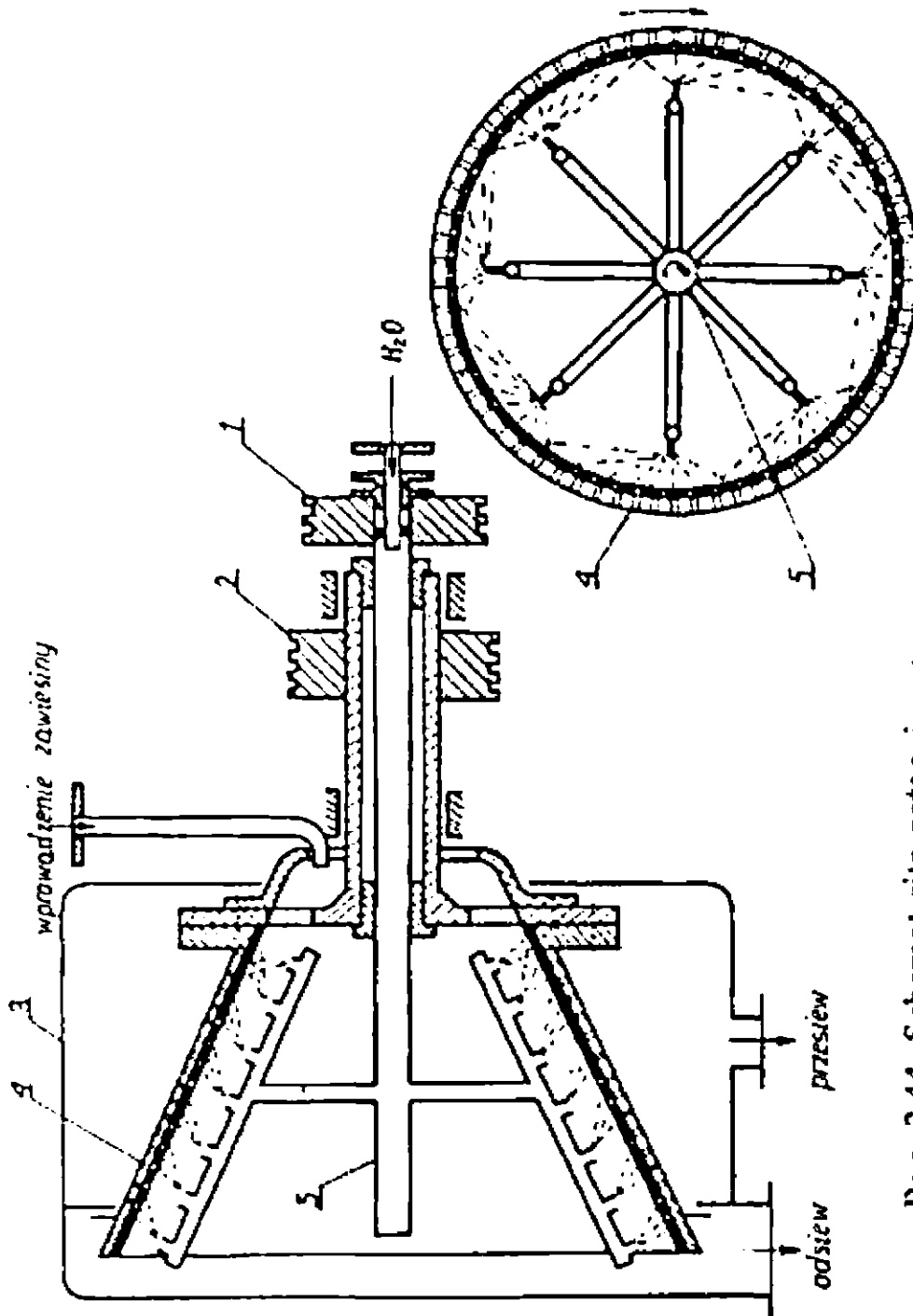
Rys. 2.43. Schemat sita łukowego

Sita rotacyjne – są to urządzenia, w których przepływ strumienia zawiesiny po powierzchni sitowej oraz przenikanie przesiewu przez oczka sita są wywołane siłą odśrodkową powstającą dzięki wprowadzeniu wirujących elementów sitowych, najczęściej bębnowi stożkowych z obwodem sitowym.

Przykładem takiego urządzenia jest wmywacz strumieniowy do wydzielania skrobi z miazgi ziemniaczanej pokazany na rys. 2.44. Jest to sito wirujące z sitowym bębniem stożkowym. Sita rotacyjne są urządzeniami bardzo podobnymi w budowie i działaniu do wirówek filtracyjnych o działaniu ciągłym. Różnica między tymi urządzeniami polega na poziomym usytuowaniu bębna wirującego w sitach rotacyjnych, podczas gdy w ciągłych wirówkach filtracyjnych przeważa pionowe ustawienie.

Niezależnie od tego kąt rozwarcia stożka w sitach rotacyjnych jest znacznie większy od analogicznego kąta w wirówkach filtracyjnych.

Różnice te powodują, że w wirówkach filtracyjnych o działaniu ciągłym tworzy się warstwa filtracyjna osadu i wolno przesuwa się w kierunku większej średnicy stożka (ku górze). Natomiast w sitach rotacyjnych dzięki dużej wartości równoległej części składowej siły odśrodkowej zawiesina przesuwa się po powierzchni sita zanim zdąży się uformować zwarta warstwa osadu. Dodatkowo przesiewanie w sitach rotacyjnych, podobnie jak w cyklositach, jest wspomagane natryskiem wodnym.

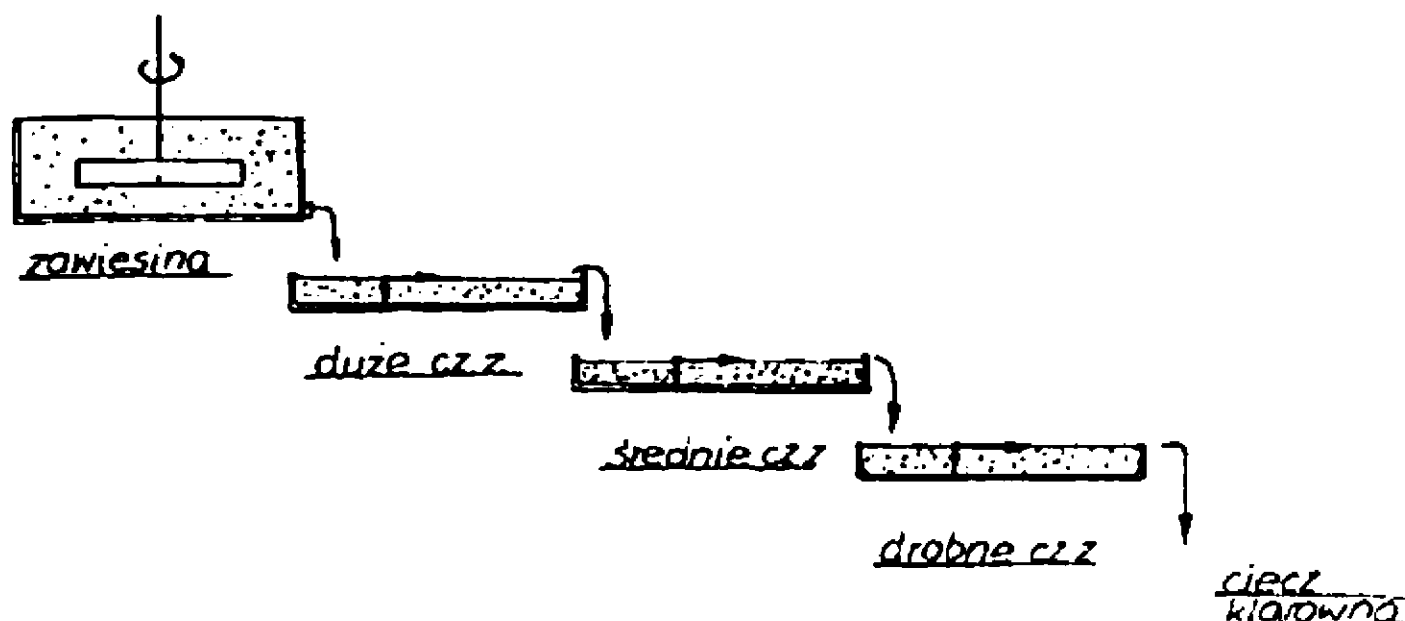


Rys. 2.44. Schemat sita rotacyjnego

1 – napęd osi natryśnicy; 2 – napęd bębna sitowego; 3 – wprowadzenie zawiesziny; 4 – obwód sitowy bębna; 5 – natryśnica

2. Klasyfikacja hydrauliczna lub pneumatyczna. Klasyfikacja hydrauliczna względnie pneumatyczna jest to szczególny przypadek procesu sedymentacji grawitacyjnej, zachodzącej w strumieniu przepływającej zawiesziny.

Proces ten stosuje się do klasyfikacji czyli rozdzielania zawiesin na frakcje zawierające cząstki różniące się gęstością lub gęstością i wymiarami jednocześnie. Schemat procesu klasyfikacji hydraulicznej przedstawia rys. 2.45.



Rys. 2.45. Schemat klasyfikacji hydraulicznej

Przykładami zastosowania procesów klasyfikacji hydraulicznej mogą być strumieniowe łapacze kamieni (oddzielanie kamieni od buraków lub ziemniaków) lub urządzenia do oczyszczania i klasyfikacji żwirów, dawniej rafinacja zawiesin skrobi. Podobnie jak klasyfikację hydrauliczną w ciekłych zawiesinach można przeprowadzić klasyfikację pneumatyczną w zawiesinach gazowych, oczywiście z zachowaniem zróżnicowanych parametrów wynikających ze specyfiki tych zawiesin.

2.2. Procesy wymiany ciepła i masy

2.2.1. Ogrzewanie i chłodzenie materiałów

Wymiana ciepła między ciałami może odbywać się przez przewodzenie czyli kondukcję, unoszenie czyli konwekcję i promieniowanie czyli radiację. Z przewodzeniem ciepła mamy do czynienia wówczas, gdy ciała przekazują sobie ciepło stykając się ze sobą i nie występuje ruch tych ciał w kierunku ruchu ciepła. Wymiana ciepła przez konwekcję odbywa się wówczas, gdy ruch ciepła jest zgodny z ruchem ciał w całości

lub ich części. Wymiana ciepła przez promieniowanie odbywa się za pośrednictwem fal elektromagnetycznych emitowanych przez wszystkie ciała w temperaturze powyżej zera bezwzględnego. Natężenie tego promieniowania jest proporcjonalne do potęgi temperatury i powierzchni ciał.

W praktyce wymiana ciepła jest zjawiskiem złożonym i najczęściej przejawia się występowaniem wszystkich wymienionych sposobów i nazywa się sumarycznie przejmowaniem lub przenikaniem ciepła. Rozróżniamy ustaloną i nie ustaloną wymianę ciepła. Przy ustalonej wymianie ciepła temperatura (T) rozpatrywanej substancji jest tylko funkcją położenia punktu w jakim jest mierzona. Zbiór punktów o jednakowej temperaturze tworzą powierzchnie izotermiczne.

Ilość ciepła, która jest przekazywana przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu nazywamy strumieniem cieplnym i określamy wzorem

$$q = \frac{Q}{F \tau},$$

gdzie: q – gęstość strumienia ciepła [W/m^2],
 F – powierzchnia przekazywania ciepła [m^2],
 τ – czas przekazywania ciepła [s],
 Q – całkowita ilość ciepła [J].

2.2.1.1. Przewodzenie ciepła

Ilość przewodzonego ciepła przez powierzchnię (F) prostopadłą do kierunku strumienia cieplnego przedstawia równanie Fouriera

$$dQ = -\lambda F \frac{dT}{dx} d\tau,$$

gdzie: λ – współczynnik przewodzenia ciepła [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$],
 dT/dx – gradient temperatury [K/m],
 τ – czas [s].

Gradient temperatury i strumień cieplny są wektorami. Wektor gradientu temperatury ma kierunek prostopadły do powierzchni izotermicznych o zwrocie w kierunku wzrastających temperatur. Podczas wymiany ciepła kierunek wektora strumienia cieplnego (q) jest



odwrotny do kierunku gradientu temperatury (dT/dx). Współczynnik przewodzenia ciał stałych (λ_s) jest w przybliżeniu liniową funkcją temperatury

$$\lambda_s = \lambda_o (1 + at),$$

gdzie: λ_o – przewodnictwo cieplne w temperaturze 0°C ,
 a – współczynnik charakteryzujący rodzaj ciała stałego,
 t – temperatura [$^\circ\text{C}$].

W zależności od wartości liczbowej współczynnika przewodnictwa cieplnego (λ_s) wyróżniamy trzy grupy ciał stałych:

- 1) materiały izolacyjne; $0,0 \div 0,12 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,
- 2) materiały budowlane; $0,5 \div 3,5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,
- 3) metal; $2,5 \div 460 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Stały współczynnik (a) dla większości metali jest mniejszy od zera, co oznacza, że ze wzrostem temperatury przewodnictwo metali nieznacznie maleje. Wyjątek stanowi pod tym względem aluminium i jego stopy, których przewodnictwo rośnie wraz z temperaturą. Dla większości niemetalu współczynnik (a) ma wartość większą od zera.

Przewodnictwo cieplne cieczy (λ_o) niemetalicznych zawiera się w granicach $0,09 - 0,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ i ze wzrostem temperatury nieznacznie maleje, za wyjątkiem wody i gliceryny.

Przewodnictwo cieplne gazów (λ_g) zawiera się w granicach $0,006 - 0,6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ i w granicach umiarkowanych ciśnień, stosowanych w przemyśle spożywczym nie zależy od ciśnienia.

Wnikanie ciepła jest to wymiana ciepła między ścianką stałą a omywającym ją czynnikiem płynnym (ciecz lub gaz). Ilość ciepła wnikająca od ścianki do płynnego czynnika określa się wzorem

$$Q = \alpha F \tau (t_2 - t_1) \quad [\text{J}],$$

gdzie: α – współczynnik wnikania ciepła [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$],
 t_2 – temperatura ścianki,
 t_1 – temperatura płynu [$^\circ\text{C}$, K].

2.2.1.2. Przenikanie ciepła

Jest to wymiana ciepła między dwoma czynnikami płynnymi, oddzielonymi od siebie przegrodą stałą (ścianką).



Ilość ciepła przenikającego na drodze konwekcji i przewodzenia w czasie (τ) przez ściankę o powierzchni (F) od czynnika o temperaturze (t_1) do czynnika o temperaturze (t_2) wynosi

$$Q = k F \tau (t_1 - t_2) \quad [J],$$

przy czym: $t_1 > t_2$.

Współczynnik (k) nazywa się współczynnikiem przenikania ciepła i ma wymiar: $W/(m^2 \cdot K)$. Odwrotność współczynnika (k) nazywa się oporem cieplnym. Wartości liczbowe współczynników wnikania (α) i przenikania ciepła (k) zależą od bardzo wielu czynników dynamicznych, fizykochemicznych i geometrycznych.

Dzięki zastosowaniu analizy wymiarowej istnieje możliwość wyliczenia tych wartości z funkcji kryterialnych, np.

$$Nu = (Re, Pr, Gr, Kg),$$

gdzie liczba Nusselta (Nu) jest nazywana kryterium podobieństwa cieplnego (termodynamicznego), liczba Reynoldsa (Re) i liczba Grashofa są to kryteria hydrodynamiczne, liczba Prandtla (Pr) jest kryterium podobieństwa fizykochemicznego i wreszcie liczba Kg jest czynnikiem wymiarowym, określającym stosunek średnicy przewodu do jego długości.

Dla celów praktycznych korzystamy z gotowych tabelarycznych wartości liczbowych współczynników wnikania i przenikania ciepła dla ściśle określonych warunków wymiany ciepła.

2.2.1.3. Promieniowanie ciepła

Jest to proces przenoszenia ciepła polegający na emisji i absorpcji energii promienistej jaką jedno ciało przekazuje drugiemu przez warstwy przepuszczalne lub próżnię. Promieniowanie cieplne pod względem fizycznym jest częścią promieniowania elektromagnetycznego w zakresie podczerwieni. Przyczyną promieniowania podczerwonego jest wzbudzenie termiczne atomów i cząstek ciała emitującego.

Spośród fal elektromagnetycznych przenoszących energię cieplną znaczenie mają promienie widzialne o długości fal $0,4 - 0,8 \mu m$, a zwłaszcza promienie podczerwone w zakresie długości fal $0,8 - 40 \mu m$.

2.2.1.4. Wymienniki ciepła

Wymiennikami ciepła nazywa się aparaty służące do ogrzewania lub chłodzenia ciał stałych i płynów przy użyciu płynów o temperaturze odpowiednio wyższej lub niższej. Wymienniki ciepła pod względem sposobu działania, przeznaczenia i konstrukcji dzielimy na:

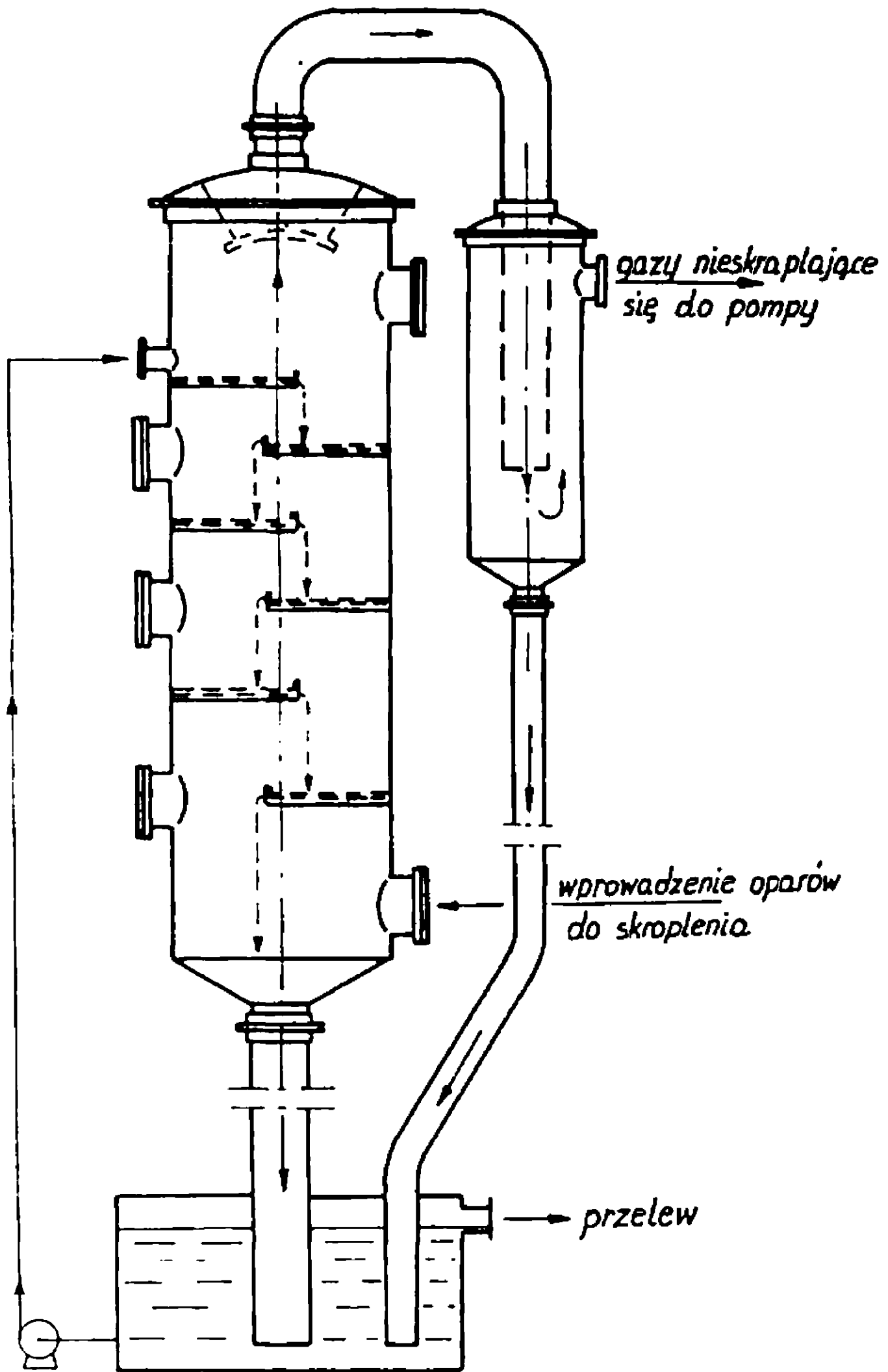
- wymienniki bezprzeponowe,
- wymienniki przeponowe,
- wymienniki regeneracyjne.

Zależnie od przeznaczenia wymienniki ciepła czyli ogrzewacze lub chłodnicze dzielimy na: kaloryfery, grzejniki, nagrzewnice, ekonomizery, chłodnice, skraplacze itd. Różnego rodzaju ogrzewacze służą do podwyższenia temperatury materiałów celem przyspieszenia w nich reakcji chemicznych, zmiany stanu skupienia lub wywołania wymiany masy w postaci odparowania, sublimacji lub ekstrakcji i dyfuzji. Chłodnice służą do odbierania i odprowadzania ciepła od materiałów podlegających obróbce termicznej celem obniżenia temperatury środowiska, zmiany stanu skupienia ciał (skraplacze i zamrażalniki), zahamowanie lub zmniejszenie intensywności procesów chemicznych i biologicznych (chłodnicze utrwalanie żywności).

Ekonomizery są to wymienniki ciepła pozwalające odzyskiwać ciepło (regenerować ciepło) z płynów odpadowych i wykorzystać je ponownie w procesach technologicznych. Stosowanie poszczególnych wymienników ciepła jest uzależnione również od zastosowanego czynnika przenoszenia ciepła. Jako czynnik ogrzewający najczęściej stosuje się w wymiennikach: parę wodną (ze względu na wielkie ciepło parowania wody), gazy spalinowe, wodę, powietrze i elektryczność. W chłodnicach do odprowadzania ciepła stosuje się najczęściej: powietrze, solanki, dwutlenek węgla, azot, różnego rodzaju ciecze kriogeniczne itd. Wymienniki ciepła z zastosowaniem pary wodnej mają powierzchnie ogrzewalne w postaci płaszczy ogrzewających, węzownic i układów rurkowych. Parę wodną stosuje się również do ogrzewania bezprzeponowego. Bezprzeponowe wymienniki ciepła stosowane są zarówno do ogrzewania, jak i do ochładzania płynów.

a) bezprzeponowa wymiana ciepła jest to proces polegający na wprowadzeniu czynnika ogrzewającego lub chłodzącego do płynu poddawanego obróbce cieplnej. Typowymi bezprzeponowymi wymien-





Rys. 2.46. Skraplacz kaskadowy jako bezprzeponowy wymiennik ciepła

nikami ciepła są zbiorniki lub kolumny wyposażone w bełkotkę (barboter) stosowaną przy ogrzewaniu oraz skraplacz barometryczny z natryskiem wody chłodzącej. W wymiennikach takich gorąca para wodna jest doprowadzana do cieczy ogrzewanej w postaci pęcherzyków, skrapla się w niej oddając całe ciało parowania oraz ciepło wynikające z różnicy temperatur. Skropliny mieszają się z płynem ogrzewanym i temperatura cieczy ogrzewanej wrasta.

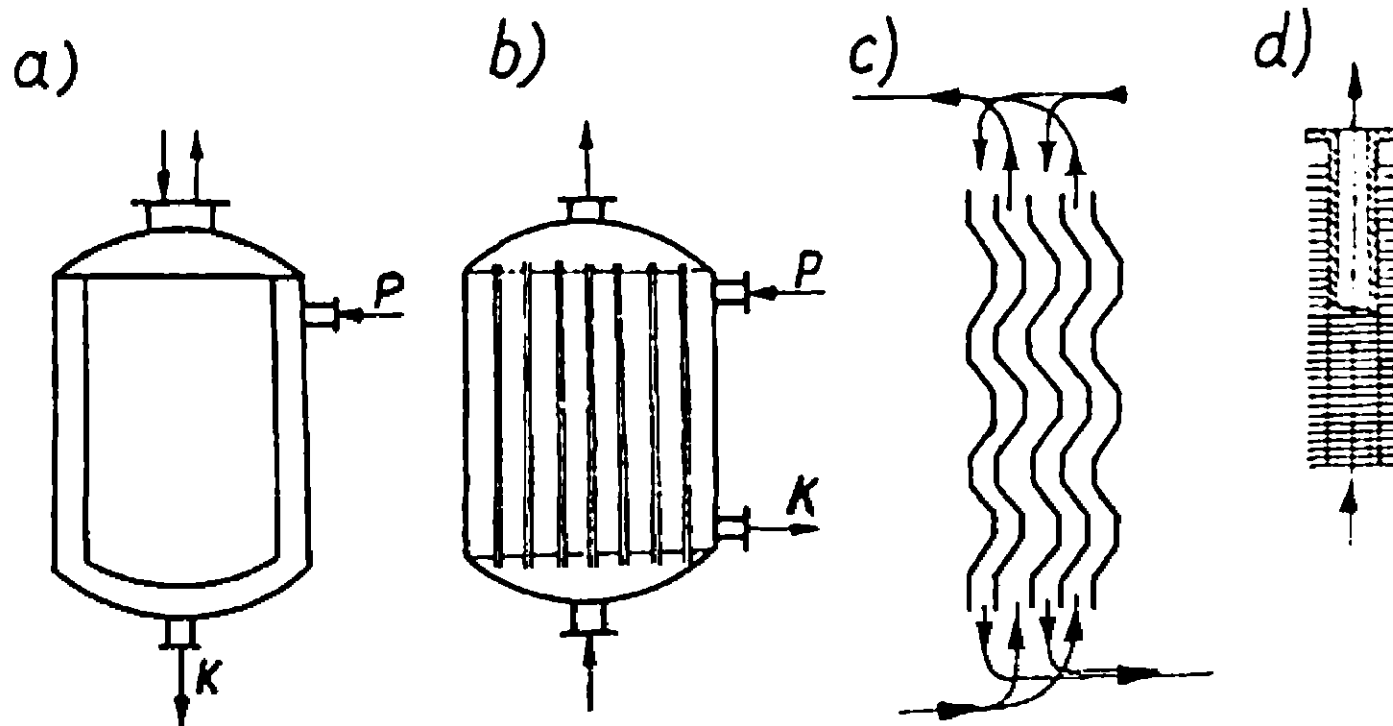
Bezprzeponowe podgrzewacze charakteryzują się dużą prostotą budowy i obsługi oraz bardzo dużą sprawnością cieplną.

Pokazany na rys. 2.46. przykład nie wyczerpuje dużej różnorodności bezprzeponowych wymienników ciepła. Poza kaskadowymi wymiennikami ciepła oraz bełkotkami szerokie zastosowanie znalazły:

- wymienniki ciepła z wypełnieniem,
- ogrzewanie lub chłodzenie ciał stałych gazami,
- ogrzewanie cieczy rozpylonych za pomocą gorących gazów,
- ogrzewanie gazów za pomocą innych gorących gazów.

b) przeponowe wymienniki ciepła. Wśród wielu stosowanych przeponowych wymienników ciepła można wydzielić kilka typowych grup spotykanych ogrzewaczy w przemyśle spożywczym:

- wymienniki ciepła z płaszczem grzeijnym,
- węzownicowe wymienniki ciepła,
- rurkowe wymienniki ciepła,
- wymienniki z żebrowanymi powierzchniami grzeijnymi,
- płytowe wymienniki ciepła.



Rys. 2.47. Przeponowe wymienniki ciepła

a – kocioł z płaszczem grzeijnym; b – rurkowy wymiennik ciepła; c – płytowy wymiennik (zasada działania); d – element grzejnika żeberkowego

2.2.1.5. Obróbka termiczna materiałów

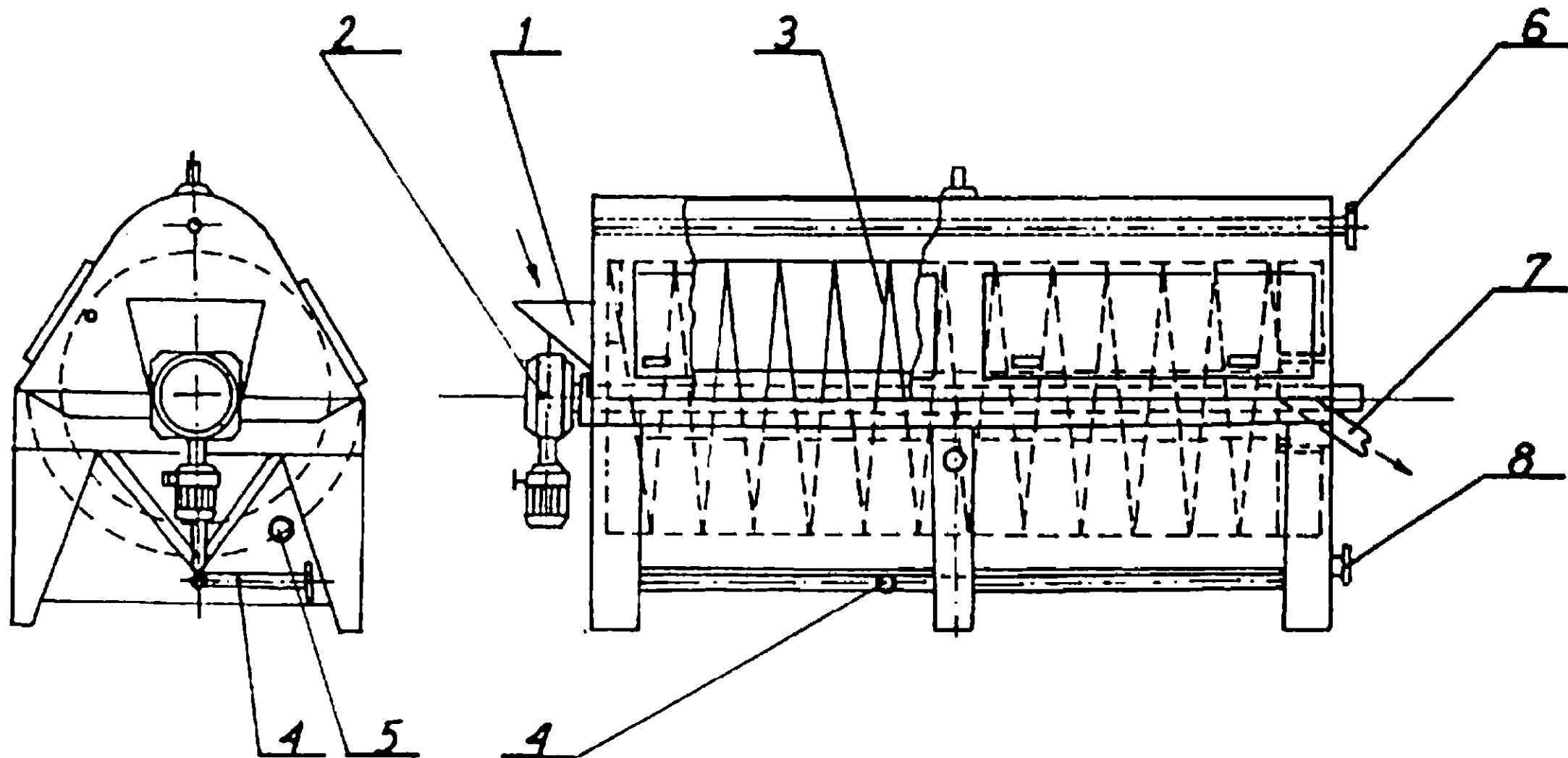
1. blanszowanie, jest to łagodne oddziaływanie termiczne na surowce lub półprodukty spożywcze, prowadzone w celu wstępnego zabezpieczenia tych materiałów przed niekorzystnymi zmianami. Polega ono na krótkotrwałym (zwykle powierzchniowym) ogrzewaniu materiałów do temperatury poniżej 90°C. Ogrzewanie to w praktyce jest realizowane przez bezpośrednie lub rzadziej przeponowe skontaktowanie materiału z gorącą parą wodną lub gorącą wodą na okres od kilku sekund do kilku minut.

W wyniku procesu blanszowania następuje powierzchniowa inaktywacja enzymów, wyparcie powietrza, zmiękczenie lub skurczenie powierzchniowe tkanki, zniszczenie wegetatywnych form drobnoustrojów. Blanszowanie zwykle poprzedza różnorodne procesy przetwórstwa żywności. Poza oddziaływaniem termicznym blanszowanie może być skojarzone z oddziaływaniem chemicznym, działanie SO₂, CO₂, itp.

Blanszowanie może być zrealizowane w sposób periodyczny lub w urządzeniu o działaniu ciągłym. Na rys. 2.48 przedstawiony jest przykład blanszownika ślimakowego o działaniu ciągłym do blanszowania krajanki ziemniaczanej w procesie produkcji suszów ziemniaczanych.

2. pasteryzacja; jest procesem obróbki termicznej materiałów, które podobnie jak blanszowanie prowadzi się dla wstępnego zabezpieczenia surowców lub produktów spożywczych przed zepsuciem. Od blanszowania różni się zwykle bardziej drastycznymi warunkami oddziaływania cieplnego na materiały. Przez pasteryzację chcemy dokonać pełnej inaktywacji enzymów i zabicia drobnoustrojów. Prowadzi się ją najczęściej przy konserwowaniu produktów przez kilkuminutowe ogrzewanie próbek do temperatury 100°C w naczyniach otwartych lub hermetycznie zamkniętych. Materiały płynne są zwykle pasteryzowane w pasteryzatorach przepływowych o działaniu ciągłym. Pasteryzacja bywa czasami powtarzana parokrotnie dla zabicia uaktywnionych form przetrwalnikowych.

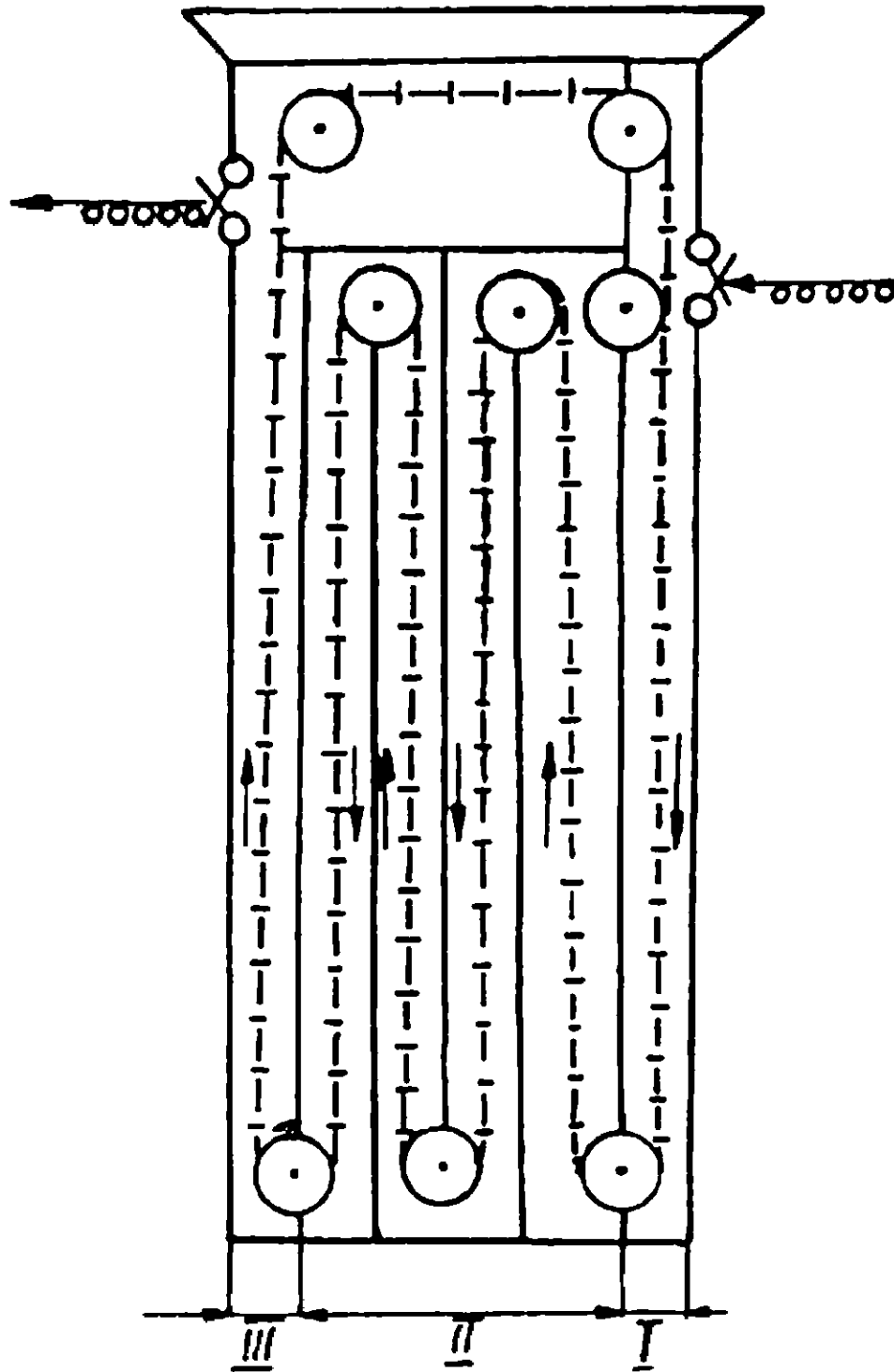
3. sterylizacja; jest to proces bardzo intensywnego oddziaływania termicznego na materiały. Przy czym procesowi sterylizacji poddaje się nie tylko utrwalane (konserwowane) produkty spożywcze, ale również aparaturę i narzędzia w przemyśle spożywczym oraz w innych dziedzinach, np. w medycynie.



Rys.2.48. Schemat blanszownika ślimakowego

1 – lej zasilający; 2 – napęd ślimaka; 3 – ślimak; 4 – doprowadzenie pary; 5 – doprowadzenie wody; 6 – przewód parowy oczyszczający;
7 – wylot materiału blansz; 8 – odprowadzenie wody

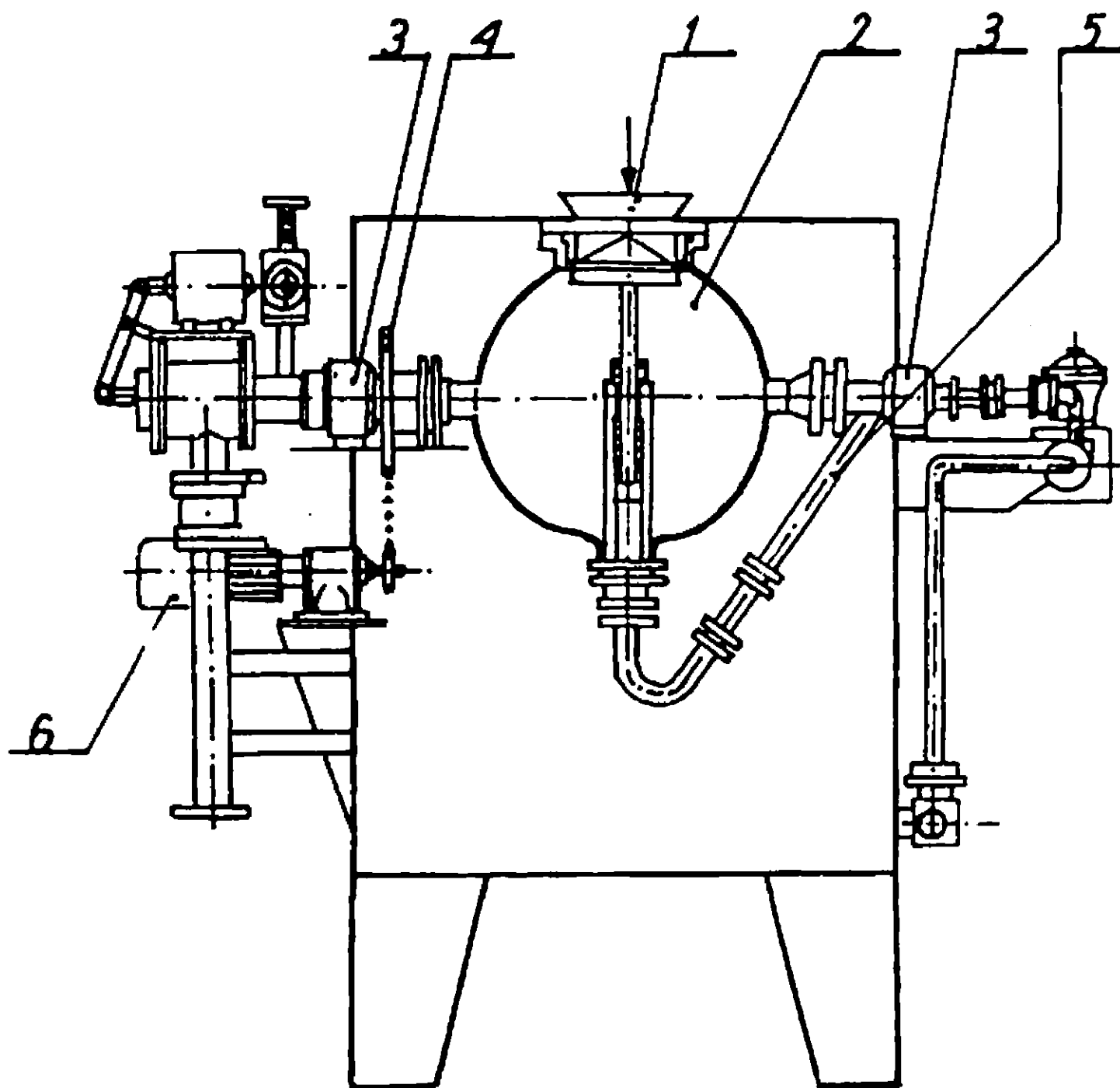
Sterylizacja polega na trwałym zniszczeniu drobnoustrojów, w tym również form przetrwalnikowych, przez długotrwałe ogrzewanie (często wielokrotne) do temperatur znacznie przekraczających 100°C . Sterylizację prowadzi się przegrzaną parą wodną lub innymi płynami w sterylizatorach o charakterze autoklawów o działaniu periodycznym lub ciągłym. Na rysunku 2.49. przedstawiony jest schemat działania sterylizatora (autoklawu) kolumnowego o działaniu ciągłym.



Rys. 2.49. Schemat sterylizatora kolumnowego o działaniu ciągłym

- I* – wieża wstępnego ogrzewania,
- II* – wieża sterylizacyjna,
- III* – wieża chłodzenia

4. rozparzanie jest to bezpośrednie oddziaływanie parą wodną o wysokiej temperaturze, znacznie przekraczającej 100°C na owoce lub warzywa celem rozmiękczenia ich tkanki w całości lub w warstewce powierzchniowej. Typowymi przykładami wykorzystania tego procesu jest tzw. parowanie ziemniaków przed poddaniem otrzymanej miazgi procesom fermentacyjnym lub przetwarzaniu ich na spożywczy susz ziemniaczany. Innym przykładem wykorzystania procesu zaparzania, tym razem powierzchniowego jest parowe obieranie ziemniaków i innych warzyw, polegające na rozmięczeniu gorącą parą naskórka warzyw i mechaniczne usunięcie (szczotkami) rozmiękczonej warstewki.



Rys. 2.50. Rozparzacz o działaniu periodycznym

- 1 – wprowadzenie materiału; 2 – autoklaw przechylny; 3 – zawieszenie ułożyskowane;
4 – sterowanie napędem obrotnicy; 5 – doprowadzenie pary; 6 – programowany napęd obrotnicy

Rozparzanie może być zrealizowane w aparatach o działaniu periodycznym lub ciągłym. Rozparzacz periodyczny zbudowany jest tak jak zwykle autoklawy, tzn. w postaci pojemnika wyposażonego w belkotkę do wprowadzania pary oraz armaturę pomiarową. Rozparzacz o działaniu ciągłym dzieli się na szybowe, ślimakowe i obrotowe. Urządzenia te zapewniają ciągły i regulowany przepływ materiału przez komorę wypełnioną parą o podwyższonym ciśnieniu i temperaturze ponad 100°C. (rys. 2.50)

2.2.1.6. Chłodzenie i urządzenia chłodnicze

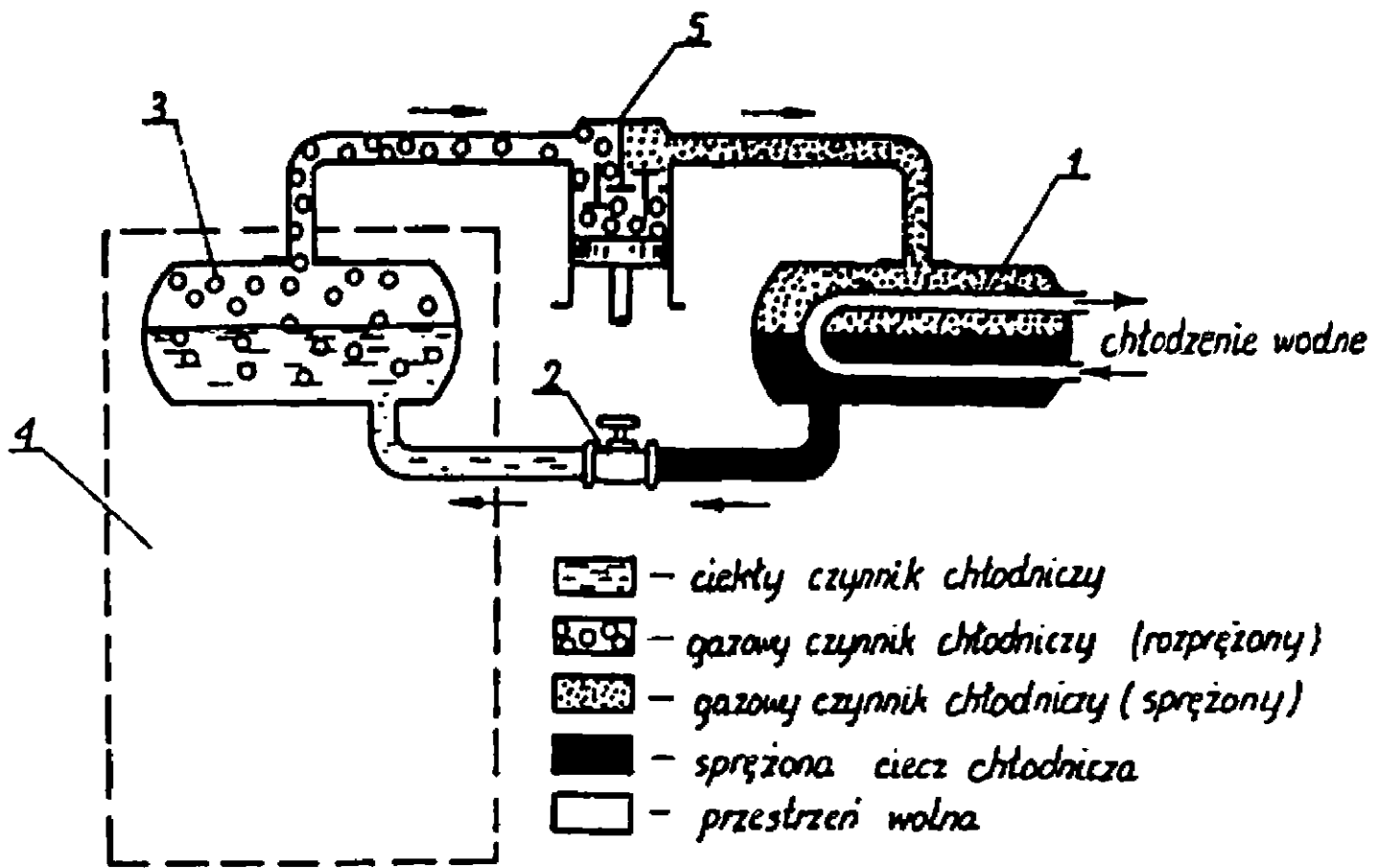
Zadaniem techniki i technologii chłodniczej jest obniżanie temperatury materiałów do poziomu niższego od temperatury otoczenia. Chłodzenie polega na odprowadzaniu ciepła od materiałów, co powoduje obniżanie się ich temperatury, zmianę stanu skupienia materiałów chłodzonych względnie kompensację przyrostu temperatury wywołanego zachodzącymi w nich procesami. W praktyce najczęściej stosuje się chłodzenie materiałów dla zwolnienia lub zahamowania procesów chemicznych lub biochemicznych.

Chłodnicze przechowywanie lub utrwalanie żywności odbywa się w trzech zakresach temperatur:

- chłodnictwo plusowe (od 0 do +10°C),
- chłodnictwo minusowe (od 0 do -20°C),
- chłodnictwo zamrażalnicze (< -20°C).

Przechowywanie chłodnicze materiałów lub ich chłodnicze utrwalanie względnie przetwarzanie odbywa się w chłodniach. Przez chłodnie rozumie się zespół urządzeń wyposażonych w pomieszczenia lub komory otoczone izolacją termiczną oraz w agregaty zapewniające skuteczne odprowadzanie ciepła na zewnątrz. Chłodnie przemysłowe mogą pracować jako chłodnie składowe, zamrażalnie lub mroźnie. Do celów chłodniczych przewoźnych lub przenośnych służą chłodziarki lub zamrażarki czyli szafy chłodnicze termostatowane, wyposażone w agregaty chłodnicze względnie materiały oziębiające. Materiałami oziębiającymi mogą być: lód wodny (czysty lub z solanką), suchy lód (zestawiony CO₂), ciekły i parujący azot.

Agregaty chłodnicze pracują jako chłodziarki absorpcyjne (już wycofane z użycia) oraz chłodziarki sprężarkowe (mechaniczne) jak na rysunku 2.51.



Rys. 2.51. Schemat chłodniczego agregatu sprężarkowego

1 – chłodnica; 2 – zawór rozprężny; 3 – parownik; 4 – komora chłodnicza;
5 – kompresor

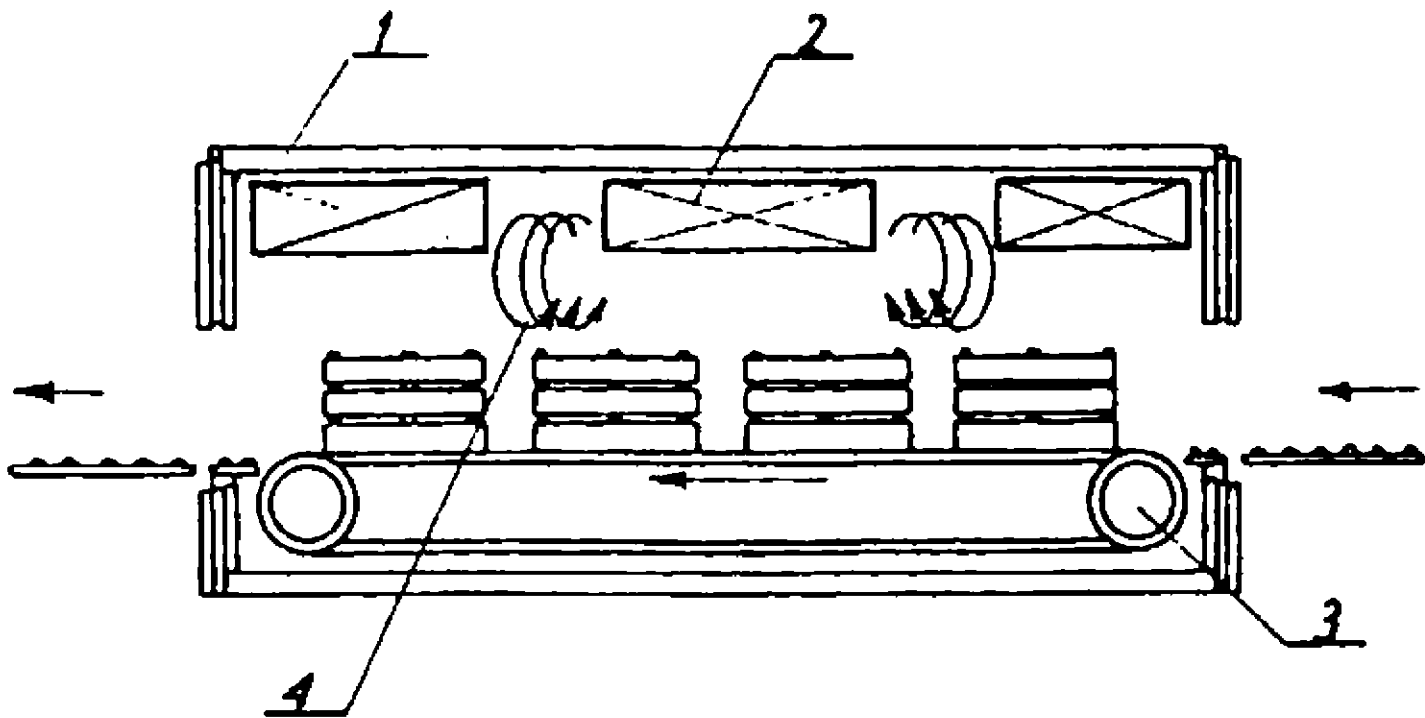
Opary czynnika chłodzącego (freon, amoniak) sprężone przez kompresor (5) skraplają się w chłodnicy (1), gdzie oddają ciepło wodzie chłodzącej lub powietrzu. Sprężona ciecz chłodnicza jest kierowana przez zawór rozprężny (2) do parownika (3), gdzie się rozpręża i odparowuje. W wyniku pobrania ciepła parowania przez parujący czynnik chłodniczy parownik oziębia się i pobiera ciepło z komory chłodniczej.

Chłodziarki absorpcyjne zwykle były stosowane w małych chłodniach i z powodu ich małej sprawności są one zdecydowanie wypierane przez chłodziarki sprężarkowe.

Zamrażanie. Zależnie od sposobu przeprowadzania procesu zamrażania wyróżnia się zamrażanie owiewowe (konwekcyjne), kontaktowe (rys. 2.52 i 2.53) oraz immersyjne. W urządzeniach owiewowych materiał jest zamrożony za pośrednictwem strumienia oziębionego powietrza. Zamrażalnie owiewowe składają się z izolowanych termicznie komór, w których zainstalowane są urządzenia do składowania i transportu materiałów zamrożonych, parownik jako źródło chłodu oraz wentylatory wymuszające cyrkulację powietrza.

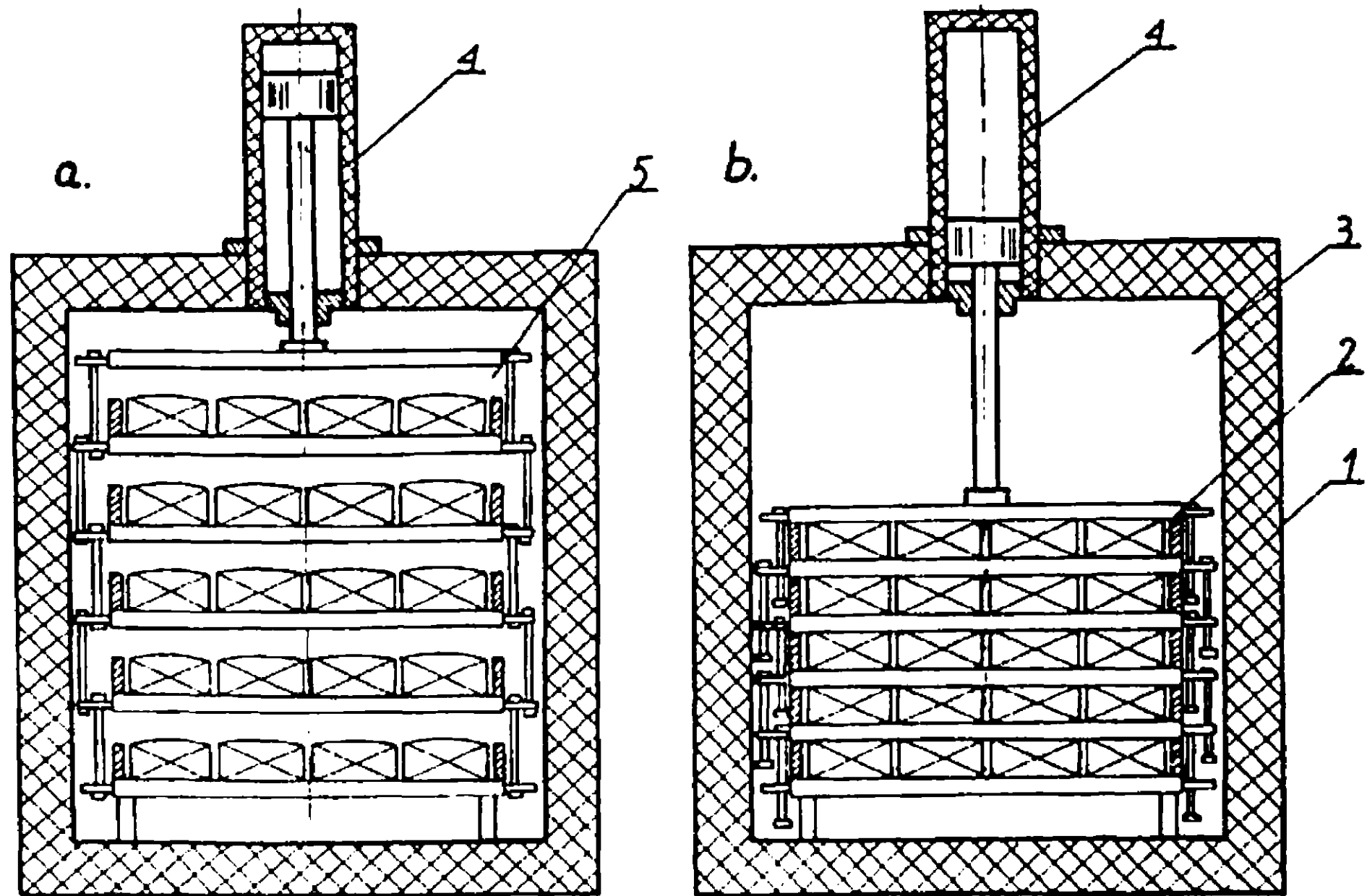
Bardzo ciekawym rozwiązaniem technicznym jest urządzenie do zamrażania fluidyzacyjnego. Zamrażarki fluidyzacyjne buduje się w postaci tunelu, w którym znajdują się agregaty chłodnicze oraz przenośniki siatkowe do przenoszenia sypkiego materiału (np. drobne owoce) wzdłuż tunelu. Wentylatory wdmuchują pod siatkę oziębione powietrze o takim natężeniu strumienia, że materiał jest unoszony i płynie nad siatką w warstwie fluidalnej wzdłuż całego tunelu.

Do specjalnych celów i w szczególnych przypadkach stosuje się zamrażanie kontaktowe. W zamrażarkach kontaktowych chłodzenie materiałów następuje głównie przez odprowadzenie ciepła na drodze przewodzenia przez powierzchnie kontaktujących się elementów (parowników) lub czynników chłodniczych z materiałem zamrażanym. W przypadku zamrażania materiałów ułożonych warstwą na powierzchni parowników agregatu chłodniczego mamy do czynienia z typowym zamrażaniem kontaktowym. Natomiast ze szczególnym przypadkiem zamrażania kontaktowego mamy do czynienia w zamrażarkach immersyjnych, w których materiał zamrażany jest kontaktowany bezpośrednio z cieczą mrozącą przez zanurzenie w niej materiału lub przez natychmiastowe natryskiwanie nią materiału zamrażanego. W większości przypadków taką technikę stosuje się podczas gwałtownego zamrażania materiałów w ciekłym azocie.



Rys. 2.52. Schemat zamrażania owiewowego

1 – izolacyjna obudowa tunelu; 2 – parowniki; 3 – transporter; 4 – strumień powietrza chłodzącego



Rys. 2 S3. Zamrażanie kontaktowe

a – stan załadowania; *b* – stan mrożenia

1 – izolacyjna obudowa komory; 2 – metalowe półki w fazie sprasowania mrożonki; 3 – wnętrze komory; 4 – cylinder silownika; 5 – półki w fazie rozprężania

2.2.2. Zateżnianie roztworów

Zateżnianie roztworów jest procesem zmiany proporcji pomiędzy zawartością rozpuszczalnika i substancji rozpuszczonej na korzyść zawartości substancji rozpuszczonej. Zateżnianie roztworów można zrealizować przez dodanie (rozpuszczenie) określonej substancji do roztworu lub wydzielenie części rozpuszczalnika z roztworu metodami termicznymi względnie membranowymi.

Do metod zateżniania termicznego (odprowadzenia rozpuszczalnika) należą:

- odparowanie rozpuszczalnika,
- wymrażanie wody (kriokoncentracja).

Ostatnio w technologii żywności upowszechnienie znajdują membranowe metody zateżniania roztworów, a zwłaszcza odwrócona osmoza i ultrafiltracja.

2.2.2.1. Zateżnianie przez odparowanie rozpuszczalnika

Zateżnianie roztworów przez odparowanie rozpuszczalnika możliwe jest dzięki przeprowadzeniu części rozpuszczalnika w temperaturze wrzenia cieczy w stan pary i odprowadzenie tej pary ze środowiska zateżnianego roztworu. Proces takiego odparowania odpowiedniej ilości rozpuszczalnika prowadzi do osiągnięcia stężenia roztworu równego stanowi nasycenia. Przy dalszym odparowaniu rozpuszczalnika z roztworu przesyconego powoduje wydzielenie substancji z roztworu zateżnianego w postaci fazy stałej, tj. krystalicznej lub bezpostaciowej. Dalsze zateżnienie roztworu w stanie przesylenia odbywa się w układzie dwufazowym. Zateżnianie roztworów przez odparowanie w stanie przesylenia, a często również w układzie dwufazowym odbywa się w warnikach.

Podczas projektowania i realizacji procesu zateżniania roztworu przez odparowanie rozpuszczalnika (wody) należy zawsze pamiętać o następujących podstawowych zależnościach:

- a) temperatura wrzenia roztworu zależy od ciśnienia i rośnie wraz z ciśnieniem,
- b) temperatura wrzenia roztworów zależy od stężenia i również wzrasta wraz z ich stężeniem,
- c) intensywność odparowywania rozpuszczalnika czyli szybkość zateżniania roztworu zależy od różnicy temperatur czynnika grzejącego



i temperatury wrzenia, od wielkości powierzchni grzejnej wyparki i powierzchni parowania.

Celem zwiększenia efektywności zateżania roztworów w wyparkach przez wykorzystanie dużej ilości ciepła unoszonego z oparami, w większości przypadków stosuje się wyparki wielodziałowe. Mimo, iż odparowywanie roztworów pod próżnią wymaga znacznie większego zużycia energii na jednostkę odparowanej wody (konieczność chłodzenia skraplanych oparów i koszt wytworzenia próżni) w przemyśle spożywczym bardzo często stosuje się wyparki i warniki próżniowe. Dzieje się tak ze względu na dużą wrażliwość większości składników roztworów spożywczych na wysokie temperatury. Obok uniknięcia przegrzewania termolabilnych roztworów w wyparkach próżniowych, niższa temperatura wrzenia roztworów pod próżnią umożliwia utrzymanie większej różnicy między temperaturą pary grzejnej a temperaturą wrzenia roztworu, co skutecznie polepsza efektywność zateżania.

Bilans wyparki. Podstawowe obliczenia charakteryzujące pracę wyparek dotyczą bilansu materiałowego i cieplnego. Celem dokonania takich bilansów musimy dysponować następującymi danymi:

- c – ciepło właściwe roztworu rozcieńczonego [kJ/(kg·K)],
- c_w – ciepło właściwe wody [kJ/(kg·K)],
- i – entalpia oparów [kJ/kg],
- i'' – entalpia pary grzejnej [kJ/kg],
- i' – entalpia skroplin [kJ/kg],
- x_o – stężenie początkowe roztworu rozcieńczonego [%],
- x_k – stężenie końcowe roztworu stężonego β%/,
- t_i – temp. wrzenia roztworu w wyparce [°C],
- t_o – temp. roztworu na wejściu do wyparki [°C],
- D^o – ilość pary grzejnej doprowadzonej do wyparki w jedn. czasu [kg/s],
- S – ilość roztworu rozcieńczonego zasilającego wyparkę w jedn. czasu [kg/s],
- W – ilość odparowywanego rozpuszczalnika (wody), w jedn. czasu [kg/s].

Przy założeniu, że substancja rozpuszczona w roztworze zateżanym jest nielotna i przy pominięciu strat przypadkowych, bilans materiałowy wyparki przedstawia się następująco:

$$\frac{S x_o}{100} = \frac{(S - W) x_k}{100},$$



stąd ilość odparowanego rozpuszczalnika (wody) w czasie zatężania wynosi

$$W = S \left(1 - \frac{x_o}{x_k} \right).$$

Bilans cieplny wyparki przedstawia się następująco:

$$S c t_o + D i'' = W i + (S c - W c_w) t_l + D i',$$

stąd zapotrzebowanie na parę grzejną do zatężania wynosi

$$D = \frac{W(i - c_w t_l) + S c (t_l - t_o)}{i'' - i'}.$$

Jeżeli roztwór do zatężania wprowadza się do wyparki w temperaturze wrzenia to wówczas

$$D = \frac{W(i - c_w t_l)}{i'' - i'}.$$

Ilość pary potrzebnej do odparowania 1 kg wody w wyparce jedno-działowej określone jest wzorem:

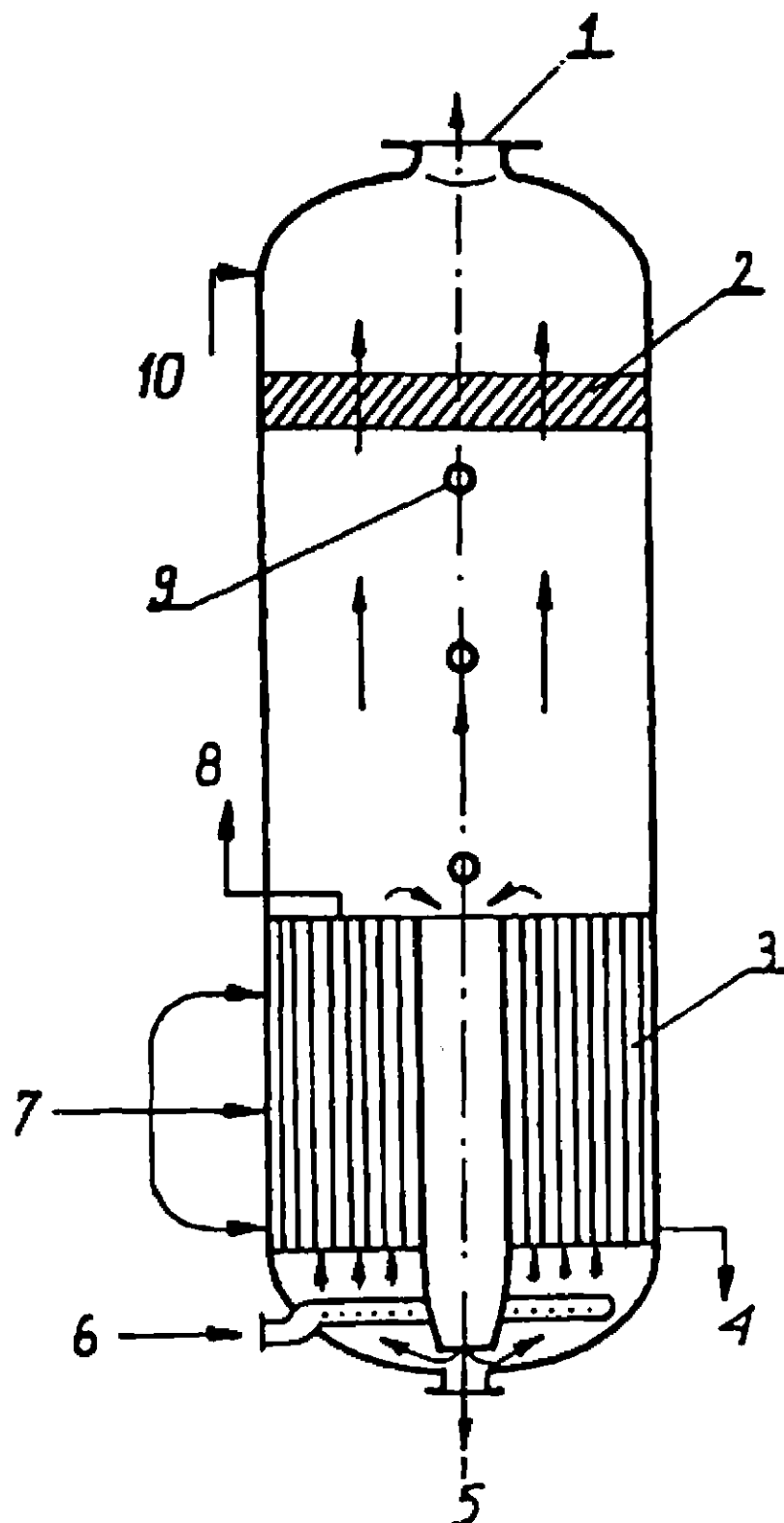
$$\frac{D}{W} = \frac{i - c_w t_l}{i'' - i'} \quad [\text{kg/kg}].$$

Powierzchnię wymiany ciepła w wyparce można wyliczyć z wzoru:

$$D(i'' - i') = k F \Delta t \tau,$$

gdzie: Δt – różnica temperatur pary grzejnej i roztworu wrzącego,
 τ – czas zatężania,

$$F = \frac{D (i'' - i')}{k \Delta t \tau} \quad [\text{m}^2]$$

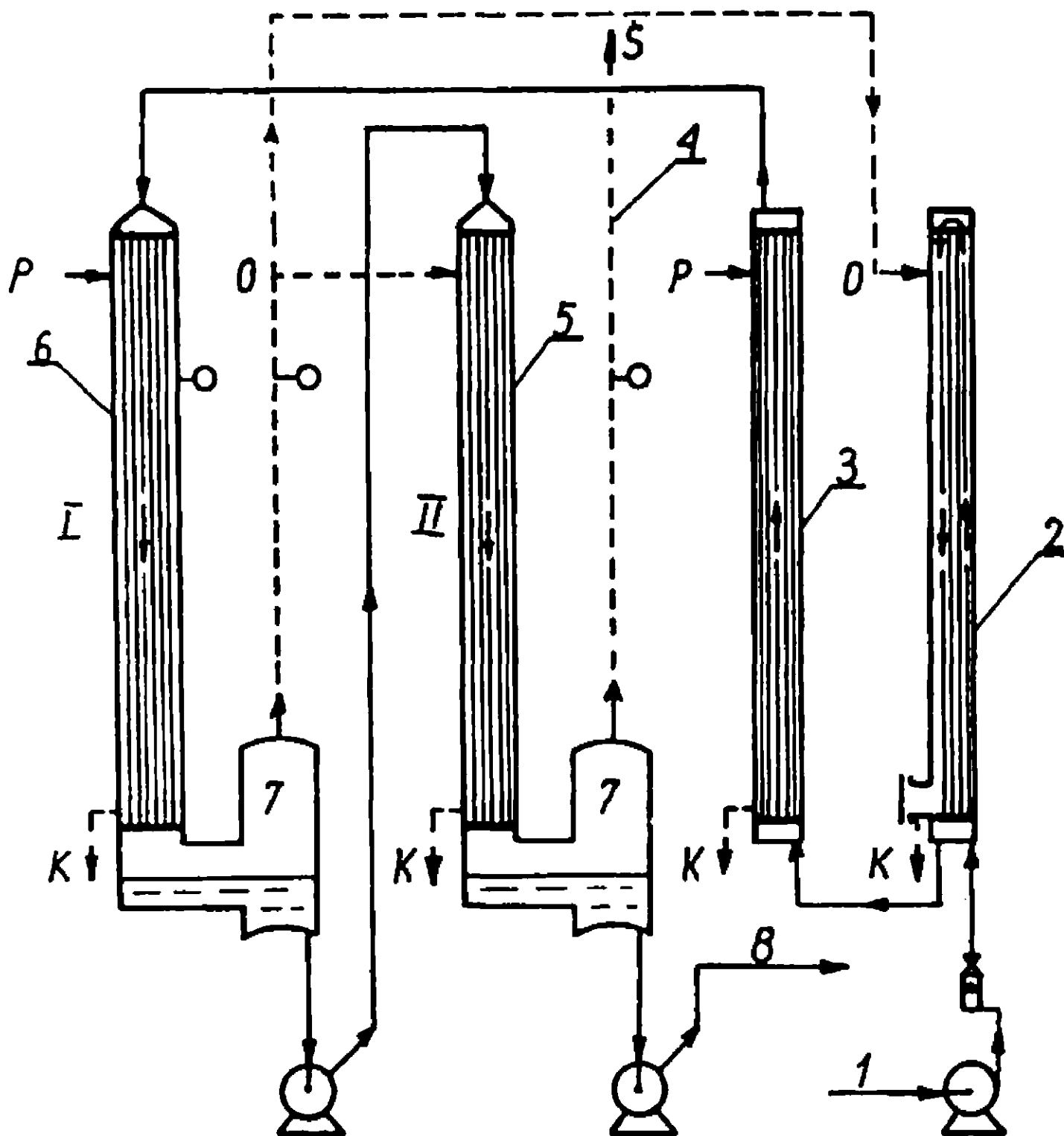


Rys. 2.54. Schemat wyparki typu Roberta

- 1 – wyprowadzenie oparów; 2 – łapacz kropel;
 3 – rurkowy element grzejny; 4 – wyprowadzenie
 skroplin; 5 – wyprowadzenie roztworu zatężonego;
 6 – wprowadzenie roztworu do zatężania;
 7 – wprowadzenie pary grzejnej; 8 – odgazowanie
 elementu grzejnego; 9 – wzierniki; 10 – wprowa-
 dzenie przeciwpianiaczy

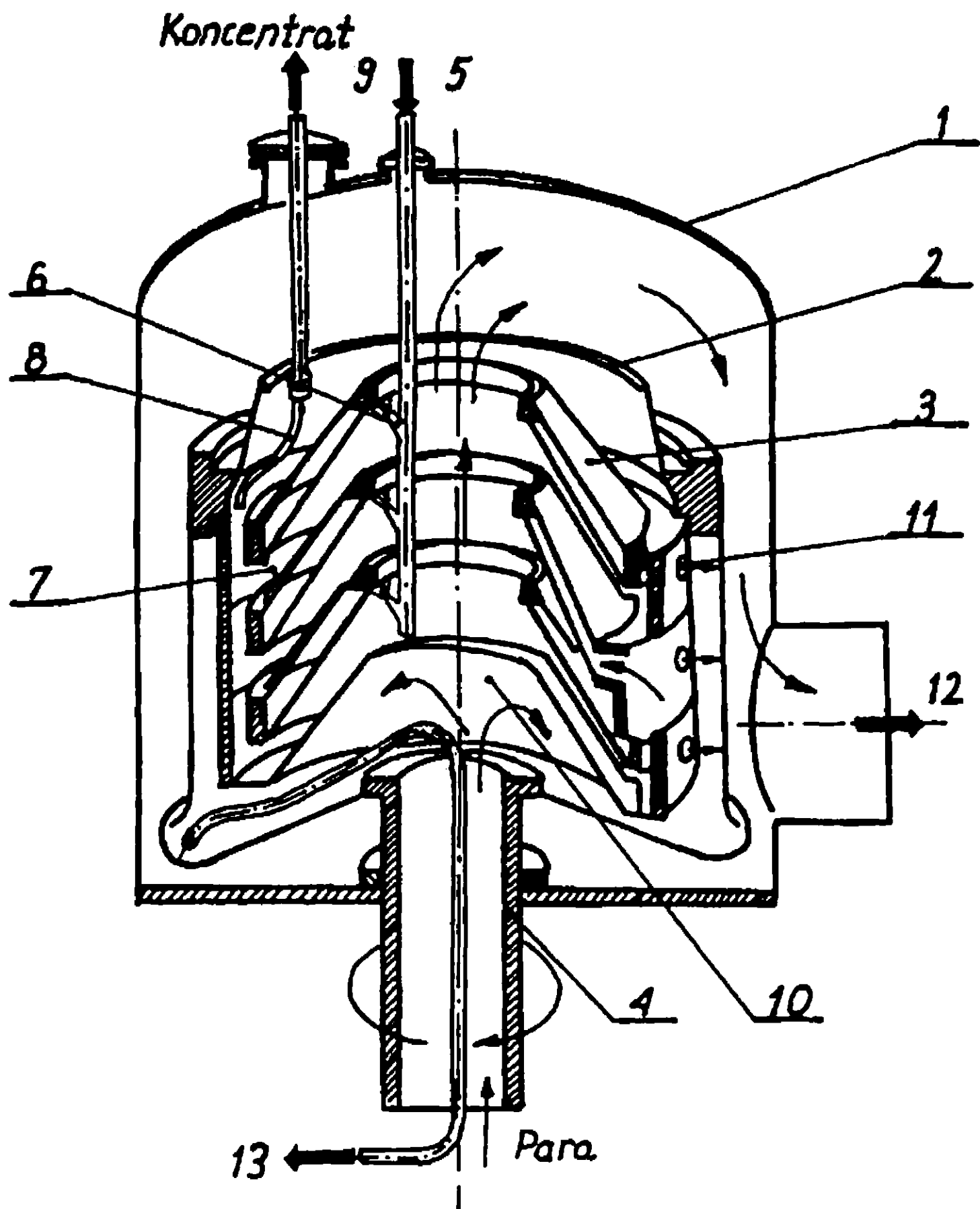
Opary tworzące się w wyparce niosą ze sobą entalpię i mają bardzo często wysoką temperaturę. Okoliczności te stwarzają możliwość wyko-

rzystania tego ciepła w procesie zateżnienia roztworów. W praktyce możliwość tę realizuje się w wyparkach wielodziałowych. Przykład wyparki typu Roberta (cukrowniczej) z rurkowym elementem grzeijnym przedstawiono na rys. 2.54.



Rys. 2.55. Układ dwudziałowej wyparki błonkowej (opadowej)

1 – wprowadzenie roztworu do zateżnienia; 2 – podgrzewacz dwubiegowy; 3 – podgrzewacz jednobiegowy; 4 – wyprowadzenie oparów do skraplacza; 5 – drugi dział wyparki; 6 – pierwszy dział wyparki; 7 – komory oparów



Rys. 2.56. Wyparka blonkowa obrotowa

1 – korpus; 2 – wirujący bęben; 3 – dwuścienne elementy grzejne; 4 – rurowa oś bębna; 5 – wejście roztworu; 6 – dysze; 7 – pierścieniowa przestrzeń koncentratu; 8 – króciec odbioru koncentratu; 10 – komora parowa; 11 – dysze wypływu skroplin; 12 – odprowadzenie oparów; 13 – odprowadzenie skroplin

Proces parowania rozpuszczalnika podczas zateżania roztworów w wyparkach z rurkowymi elementami grzejnymi odbywa się z powierzchni pęcherzyków wytwarzających się w całej objętości wrzącego roztworu. Wytwarzanie pęcherzyków pary w roztworze powoduje lokalną zmianę (zmniejszenie) średniej gęstości wrzącego roztworu i jest powodem naturalnej cyrkulacji roztworu zagęszczanego w wyparce.

Celem intensyfikacji procesu zateżania często stosuje się dodatkową, wymuszoną cyrkulację roztworu za pomocą mieszadeł lub pomp, co sprzyja odnawianiu powierzchni parowania. Postęp techniczno-technologiczny w procesie zateżania roztworów w wyparkach przejawia się w zastosowaniu wyparek błonkowych. W tej grupie wyparek spotykamy aparaty, w których odparowanie następuje z cienkiej warstwy (błonki) roztworu wrzącego. Wytwarzanie cienkiej warstwy w wyparkach może być dokonane techniką opadową lub odśrodkową. Rozróżniamy zatem wyparki błonkowe typu opadowego (rys. 2.55.) i typu odśrodkowego (rys. 2.56.).

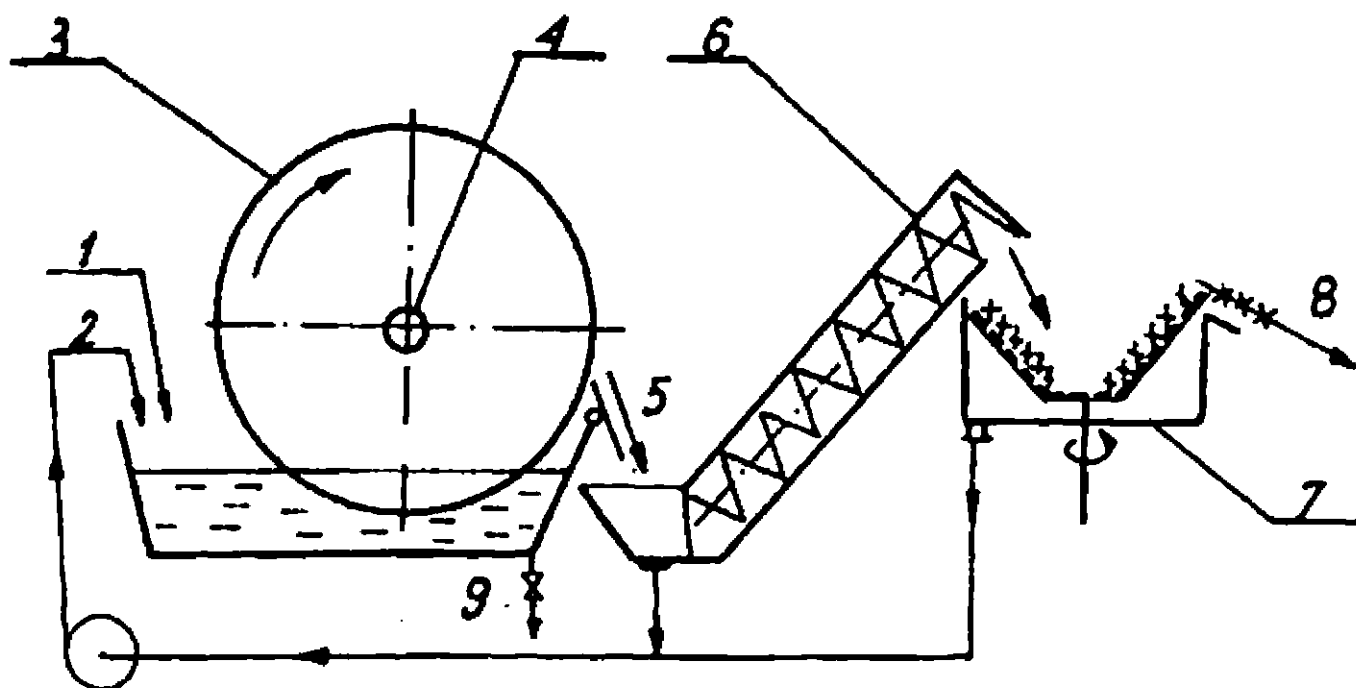
2.2.2.2. Kriokoncentracja

Kriokoncentracja jest to proces zateżania roztworów wodnych dokonywany przez wymrażanie wody, tj. zamianę jej części w stan stały (lód) i mechaniczne oddzielenie lodu od roztworu.

W procesie kriokoncentracji wykorzystuje się zależność temperatury zamrażania roztworów od ich stężenia. Obniżając temperaturę roztworu do poziomu poniżej 0°C osiągamy temperaturę krioskopową, w której następuje przemiana fazowa wody z postaci ciekłej w stałą (lód). Przy odpowiednio powolnym schładzaniu roztworu istnieje możliwość wytworzenia się czystych kryształków lodu, które dają się wydzielić mechanicznie pozostawiając roztwór zateżony. W praktyce mechanicznego wydzielenia kryształów lodu z roztworu podczas kriokoncentracji dokonuje się przez zastosowanie wirówek lub transporterów. Przykład procesu kriokoncentracji przedstawia schemat na rys. 2.57.

Zaletą procesu zateżania przez kriokoncentrację jest odprowadzanie wody z roztworów przy niskiej temperaturze i bez intensywnego parowania, co pozwala na zachowanie w roztworze cennych składników termolabilnych oraz lotnych z parą wodną. Główną wadą tej metody jest natomiast mała sprawność energetyczna i stosunkowo wysokie

koszty procesu zateżania. Jednocześnie ma ona ograniczone zastosowanie, ponieważ przez kriokoncentrację można zateżać roztwory wodne maksymalnie do stężenia około 30% s.s.



Rys. 2.57. Schemat kriokoncentracji roztworów wodnych

1 – zasilenie cieczą świeżą; 2 – zawrót cieczy; 3 – hęben mrozący; 4 – rurowa oś z przepływem czynnika chłodniczego; 5 – skrobak warstwy lodu; 6 – transporter lodu; 7 – wirówka filtracyjna; 8 – odprowadzenie lodu; 9 – okresowy odbiór koncentratu

2.2.2.3. Membranowe zateżanie roztworów

Membranowe zateżanie jest możliwe dzięki wykorzystaniu procesu odwróconej osmozy z użyciem specjalnych błon półprzepuszczalnych i wielkiego ciśnienia zapewniającego przenikanie cząsteczek wody przez mikropory tych błon. Odwrócona osmoza jest szczególnym przypadkiem ultrafiltracji przez membrany przepuszczające wyłącznie małe cząsteczki rozpuszczalnika a zatrzymujące wszystkie substancje o cząsteczkach większych. Technika ta z łatwością daje się zastosować do zateżania wodnych roztworów substancji wielkocząsteczkowych. Odwrócona osmoza jest metodą bardzo energooszczędną, zachowującą w stanie niezmienionym substancje lotne i termolabilne. Wymaga ona jednak stosowania często wymienialnych membran i specjalnych urządzeń. Metody ultrafiltracji i odwróconej osmozy opisane są w p. 2.1.3.1.2. traktującym o filtracji i w p. 5.2.1.

2.2.3. Suszenie materiałów

Suszeniem nazywamy usuwanie wody z materiałów wilgotnych w celu zwiększenia efektywności transportu, uzyskania odpowiednich warunków przetwórstwa, zwiększenia trwałości produktów w czasie ich przechowywania. Suszenie materiałów może być dokonane metodami mechanicznymi, termicznymi lub fizykochemicznymi.

Mechaniczne metody suszenia polegające na prasowaniu, wirowaniu lub filtracji materiałów wilgotnych są metodami najmniej energochłonnymi. Są to jednak metody, które można stosować jedynie do zmniejszenia zawartości wody w materiałach o bardzo wielkich wilgotnościach i odnoszą się do usuwania z materiałów wody nie związanej. Metody takie opisane zostały z okazji rozdzielania i zateżniania mieszanin. Daleko zaawansowane suszenie, prowadzące do osiągnięcia całkowitego usunięcia wilgoci, względnie osiągnięcia wilgotności równowagowej możliwe jest do uzyskania jedynie metodami termicznymi lub fizykochemicznymi.

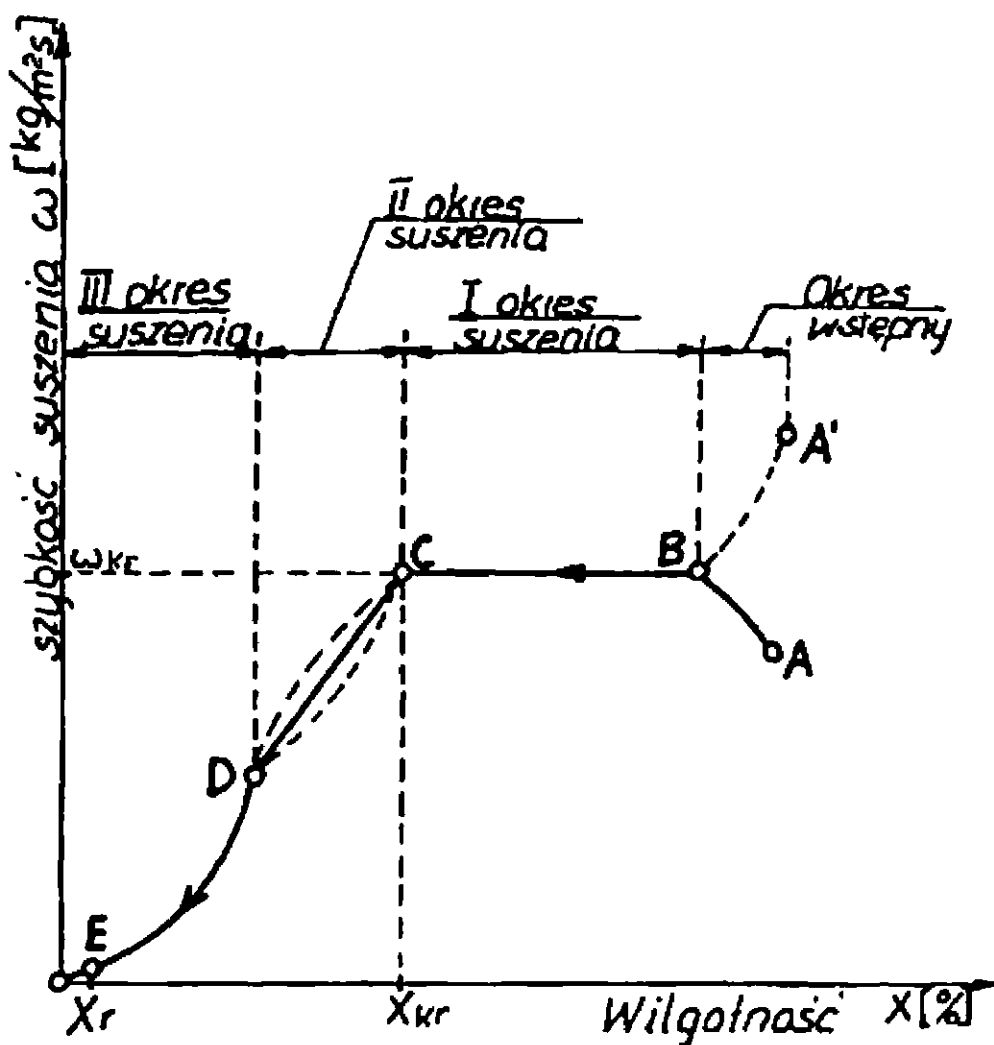
Kinetyka takiego suszenia jest uwarunkowana głównie aktywnością wodną materiałów czyli wartością liczbową stosunku prężności pary wodnej na powierzchni danego materiału do prężności pary nasyconej w tych samych warunkach. Wartość tego współczynnika z kolei zależy od sposobu wiązania wody w materiale i od struktury materiału. Przyjmuje się, że w materiałach woda może występować częściowo w stanie wolnym a częściowo jest związana chemicznie lub fizykochemicznie.

2.2.3.1. Suszenie termiczne

Suszenie termiczne może być zrealizowane przez odparowanie wody z powierzchni materiału ogrzewanego, względnie przez wymrażanie wody i sublimację metodą liofilizacji. Termiczne suszenie materiałów przez odparowanie wody związane jest ściśle ze sposobem doprowadzania ciepła do suszonych materiałów. Tak więc w przypadku ogrzewania materiałów przez przewodzenie mamy do czynienia z suszeniem kontaktowym, natomiast konwekcyjne metody suszenia dominują przy ogrzewaniu konwekcyjnym i radiacyjnym. Innym bardzo ważnym uwarunkowaniem sposobu suszenia i rodzaju zastosowanej suszarki jest stan skupienia i postać materiału suszonego. W związku z tym, że termiczne

suszenie zawsze dokonuje się przez odparowanie wody z powierzchni ciała, decydującym o intensywności tego procesu czynnikiem będzie zawsze możliwie maksymalne rozwinięcie powierzchni parowania. Dzieje się tak w przypadku dyspersyjnych technik suszenia zapewniających daleko posunięte rozdrobnienie materiału suszonego w gazach lub innych płynach suszących.

Kinetykę suszenia materiałów można zilustrować wykresem zależności zmian średniej wilgotności materiałów w czasie, względnie wykresem zmian szybkości suszenia w zależności od średniej wilgotności materiału (rys. 2.58).



Rys. 2.58. Krzywa szybkości suszenia

Krzywa szybkości suszenia pozwala na zilustrowanie przebiegu suszenia z podziałem na cztery różne okresy. Na początku mamy wstępny okres $A'A-B$, w którym następuje ustalenie się warunków, a w szczególności ustalenie się temperatury materiału. Dalsze suszenie



w warunkach ustalonych, tj. w pierwszym okresie suszenia (B—C) charakteryzuje się stałą prędkością suszenia, uwarunkowaną odparowaniem wody z jednolitej warstewki zewnętrznej. Okres ten kończy się wraz z osiągnięciem tzw. wilgotności krytycznej ($X_{kr.}$). W drugim okresie suszenia (C—D) mamy do czynienia z początkiem malejącej prędkości suszenia spowodowanej zanikaniem ciągłej warstwy wodnej na powierzchni materiału i pojawieniem się na powierzchni tzw. plam suchych. W tym okresie suszenia zaczyna oddziaływać na szybkość suszenia dyfuzyjny ruch wewnętrzny wilgoci, który może mieć różny charakter (linie przerywane) zależy od struktury materiału i aktywności wodnej. W trzecim okresie suszenia (D—E) mamy do czynienia z szybkim spadkiem prędkości suszenia (wydłużania czasu suszenia) ponieważ suszenie w tym zakresie, aż do osiągnięcia wilgotności równowagowej (X_r) limitowane jest dyfuzją wilgoci z wnętrza materiału do suchej powierzchni zgodnie z działaniem gradientu stężeniowego i temperaturowego. Dalsze suszenie materiałów po przekroczeniu punktu (E), czyli po osiągnięciu wilgotności równowagowej jest szczególnie powolne i może wiązać się z rozkładem materiału termolabilnego, gdyż następuje tu na ogół usuwanie szczątkowej wilgotności i wody związanej koloidalnie.

2.2.3.2. Dobór metody suszenia i typu suszarki

Uwarunkowania wyboru metody suszenia i rodzaju suszarki są bardzo różnorodne. Najważniejsze z nich to:

- stan fizyczny i postać (tekstura) materiału suszonego,
- właściwości i wymagania fizykochemiczne oraz biologiczne materiału,
- poziom wilgotności i aktywności wodnej materiału,
- warunki techniczno-ekonomiczne i wyposażenie zakładu.

Spełnienie tych warunków stwarza jedynie przesłankę wyboru metody i aparatury. Natomiast kryterium rozstrzygającym jest pozytywny wynik doświadczenia próbnego suszenia.

W praktyce przemysłowej wypracowano pewne uproszczone zasady wyboru, które przedstawiają się następująco:

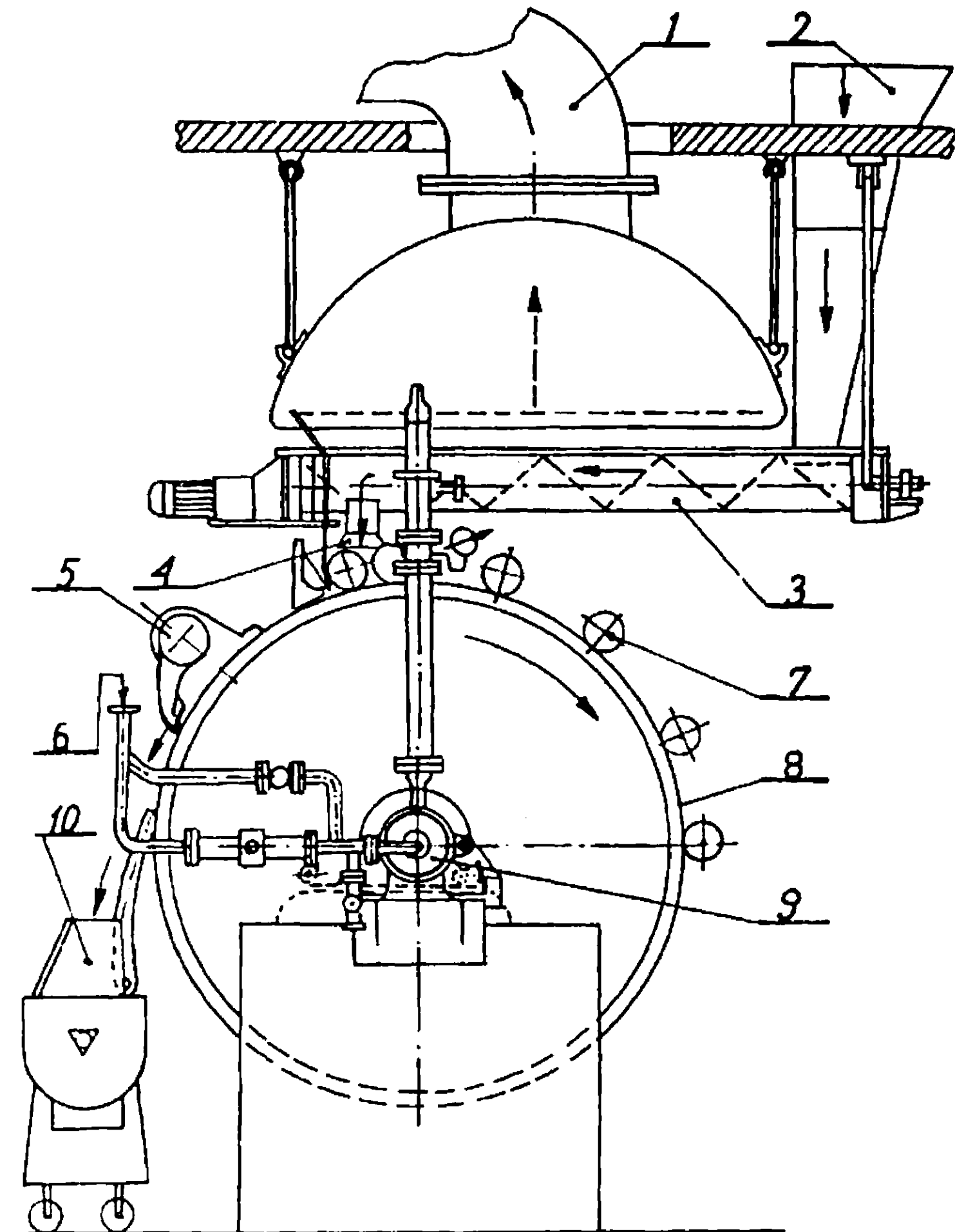
- materiały ciekłe o dużej lepkości lub półpłynne (pasty) są zwykle suszone kontaktowo w suszarkach^o walcowych,
- ciecze o niewielkiej lepkości a zwłaszcza termolabilne najlepiej suszyć w suszarkach rozpyłowych lub dyspersyjnie na nośniku sypkim,
- materiały stałe, które nie mogą być dowolnie rozdrabniane należy suszyć konwekcyjnie z owiewem gazami suszącymi, w suszarkach komorowych, tunelowych, bębnowych, względnie taśmowych. Jest to zwykle suszenie długotrwałe i może się odbywać w różnych zakresach temperatur oraz wilgotności,
- materiały wilgotne o sypkiej konsystencji najwygodniej suszyć w stanie dyspersyjnym w suszarkach bębnowych, pneumatycznych, fluidyzacyjnych lub fontannowych,
- materiały wilgotne o szczególnie cennych a jednocześnie termolabilnych składnikach, niezależnie od stanu fizycznego można skutecznie i zachowawczo wysuszyć w suszarkach sublimacyjnych metodą liofilizacji. Trzeba się tu jednak liczyć z bardzo dużymi kosztami suszenia i małą wydajnością procesu.

2.2.3.3. Przykłady termicznych metod suszenia i suszarek

1) suszenie kontaktowe w suszarkach walcowych (rys. 2.59) i bębnowych oparte na doprowadzeniu ciepła do materiału przez przewodzenie. Bębnową suszarkę kontaktową stosuje się w szczególnych przypadkach do suszenia sypkich materiałów bardzo silnie pyłących. Zastosowanie bowiem takiej suszarki pozwala uniknąć zbyt intensywnego unoszenia pyłu suszonego w strumieniu gazów suszących w suszarkach bębnowych konwekcyjnych,

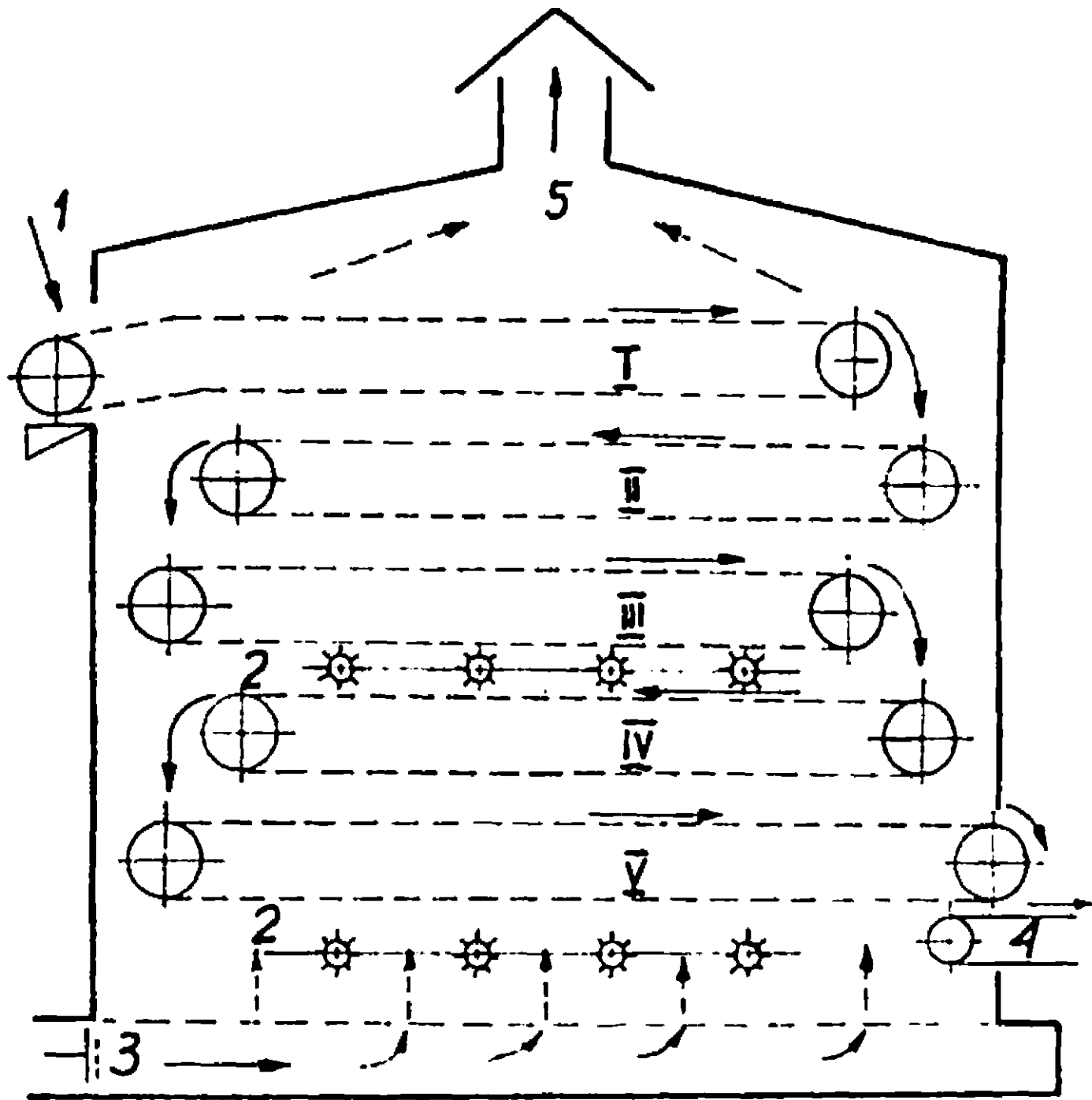
2) suszenie konwekcyjne mało rozdrobnionych materiałów w strumieniu gazów suszących prowadzi się w suszarkach taśmowych (rys. 2.60) i bębnowych,

3) suszenie dyspersyjne jest przykładem suszenia konwekcyjnego przy bardzo dużym rozwinięciu powierzchni materiału w strumieniu gazów suszących.



Rys. 2.59. Suszarka jednowalcowa

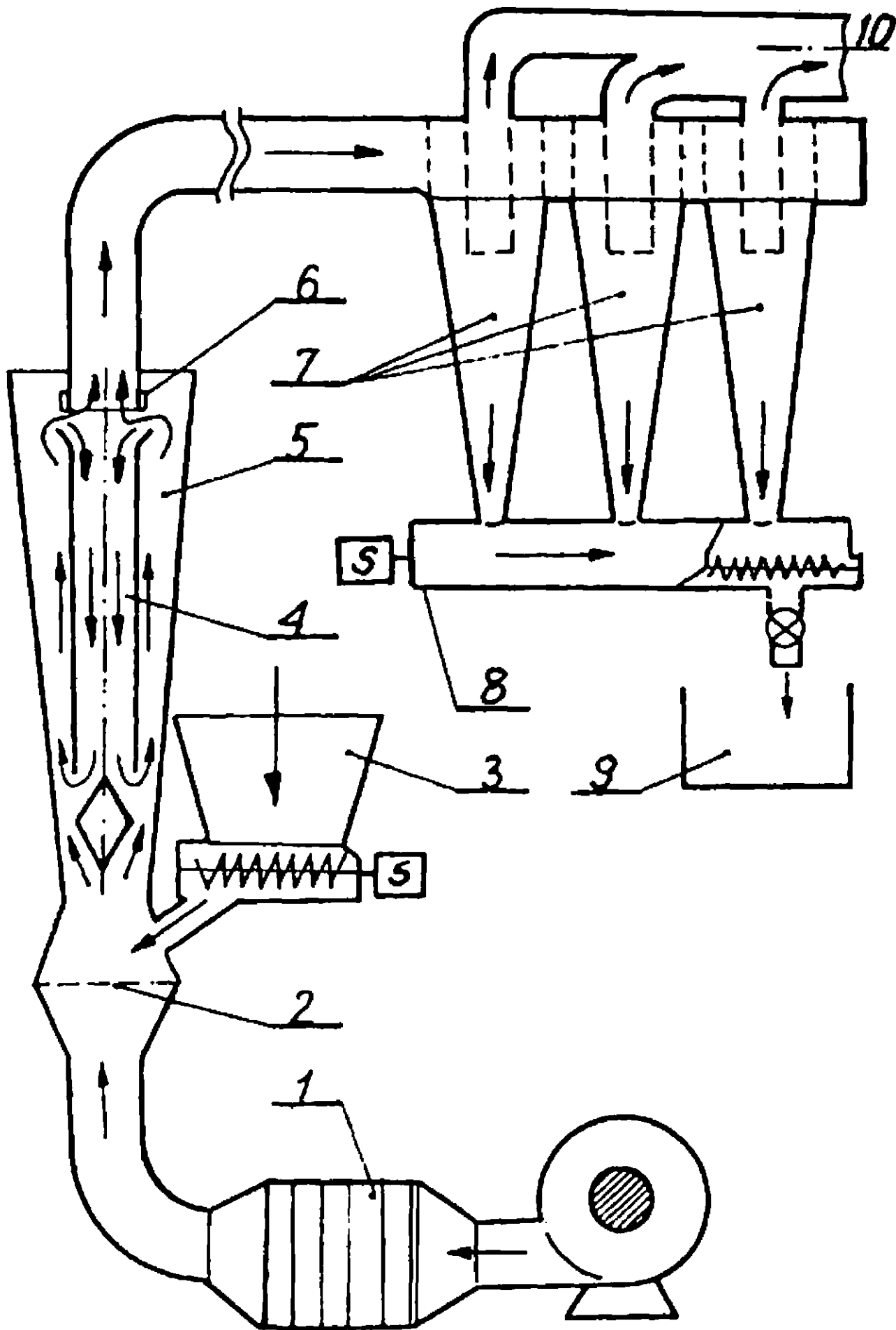
1 – odprowadzenie oparów; 2 – lej zasilający; 3 – dozownik ślimakowy; 4 – formowanie warstwy; 5 – skrobak suchej folii; 6 – wejście pary do wnętrza walca; 7 – rolki; 8 – walec suszący; 9 – rurowa oś walca; 10 – odbiór i łamanie suchej folii w ślimaku



Rys. 2.60. Schemat suszarki taśmowej

1 – wprowadzenie materiału wilgotnego; 2 – grzejniki powietrza; 3 – wprowadzenie powietrza; 4 – odprowadzenie suszu; 5 – odprowadzenie oparów

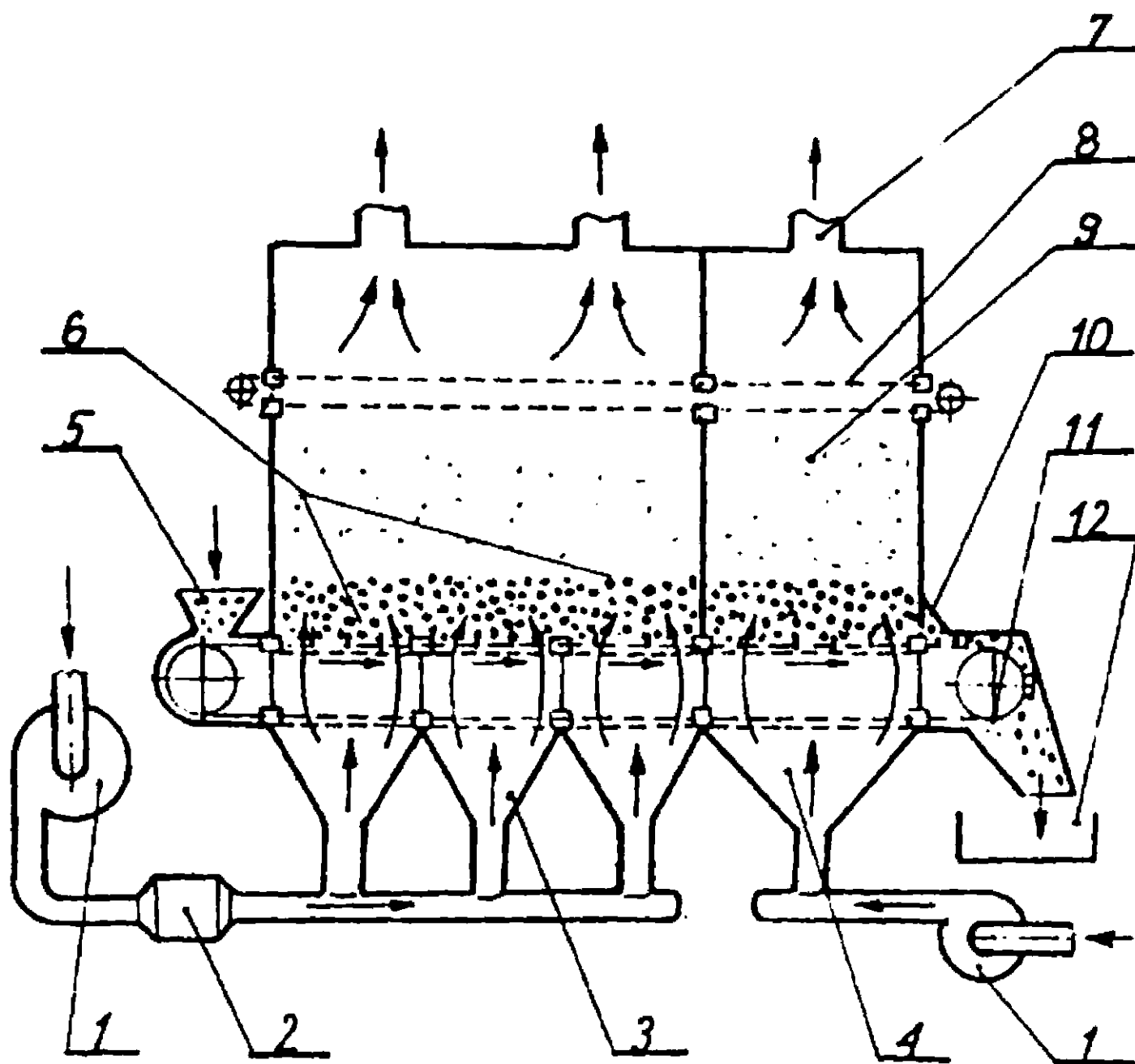
Grupa suszarek dyspersyjnych, wśród których są: suszarka bębnowa, pneumatyczna, fontanna (rys. 2.61) oraz kaskadowa nadają się do suszenia sypkich materiałów o zróżnicowanych wielkościach cząstek. Z tym, że suszarka pneumatyczna charakteryzuje się bardzo krótkim czasem suszenia, limitowanym krótkim przelotem materiału w strumieniu transportu pneumatycznego. Z tego powodu suszy ona sprawnie materiał w zakresie stosunkowo dużych wilgotności czyli w pierwszym okresie suszenia.



Rys. 2.61. Schemat suszarki pneumatycznofontannowej

1 – nagrzewnica z dmuchawą; 2 – sito; 3 – załadowanie materiału wilgotnego; 4 – rura cyrkulacyjna; 5 – komora susząca; 6 – pierścień regulacyjny; 7 – cyklony; 8 – kolektor ślimakowy; 9 – odbiór suszu; 10 – odprowadzenie oparów

Suszarka fluidyzacyjna właściwie nadaje się wyłącznie do suszenia materiałów sypkich o ujednoczonych wielkościach cząstek, umożliwiającą wytworzenie wiszącej warstwy fluidalnej (rys. 2.62).



Rys. 2.62. Schemat suszarki fluidyzacyjnej o działaniu ciągłym

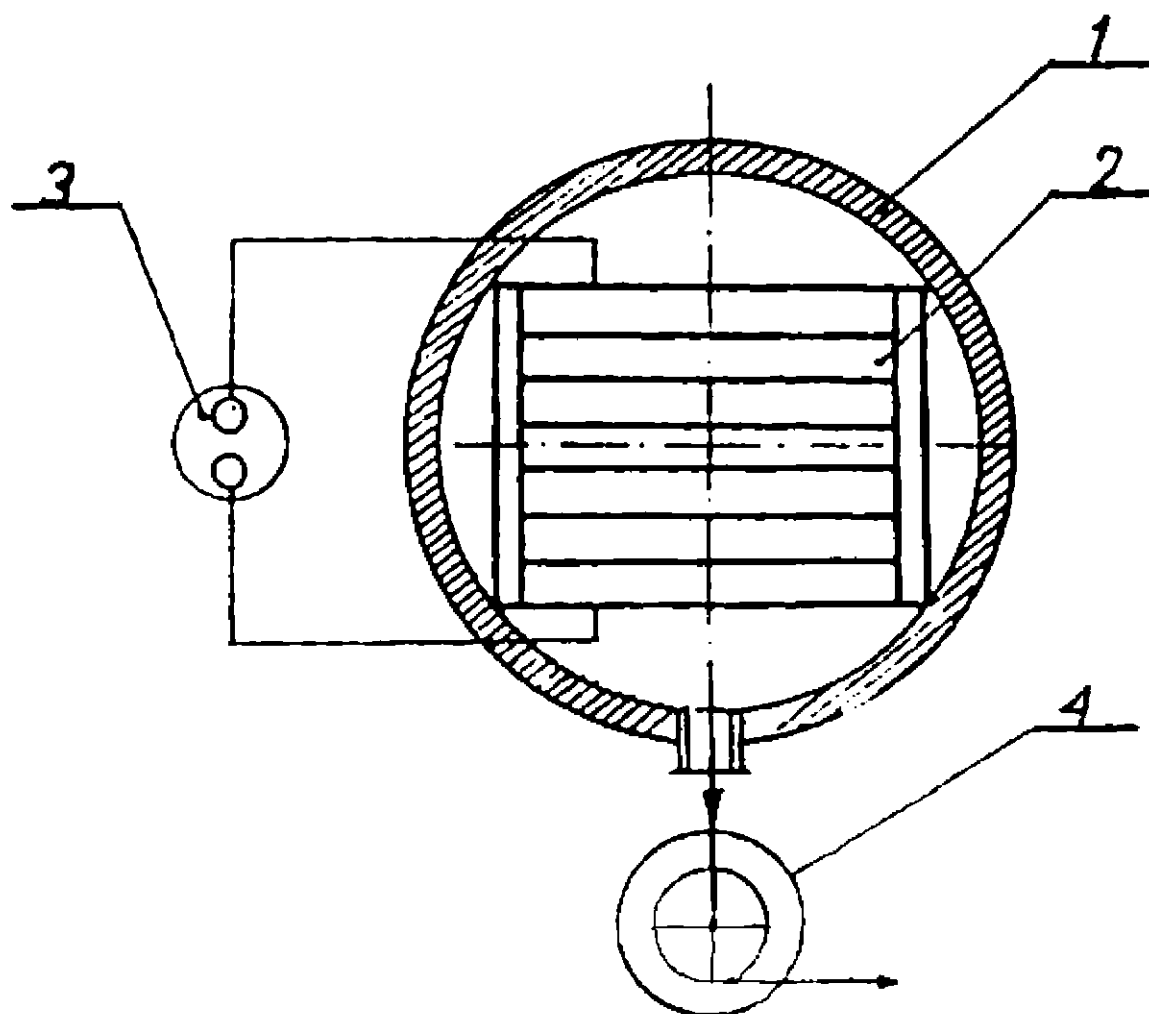
1 – dmuchawy wciągające powietrze; 2 – nagrzewnica powietrza; 3 – powietrze w strefie suszącej; 4 – powietrze w strefie chłodzącej; 5 – wprowadzenie materiału; 6 – komora suszenia fluidalnego; 7 – odprowadzenie oparów; 8 – sito odpylające; 9 – strefa chłodzenia; 10 – śluza wylotowa; 11 – napęd transportera; 12 – odbiór suszu

Suszarki rozpyłowe umożliwiają wysuszenie cieczy przez błyskawiczne odparowanie wody z rozpylonej na mgłę cieczy suszonej. Dzięki gwałtownemu odparowaniu wody z kropelek mgły w strumieniu gorących gazów istnieje możliwość sprawnego odprowadzania ciepła, co zabezpiecza wysuszony proszek przed nadmiernym przegrzewaniem.

Suszenie tego rodzaju znalazło powszechne zastosowanie do otrzymywania mleka w proszku,

4) suszenie sublimacyjne, w przypadku konieczności wysuszenia bardzo cennych materiałów, zawierających składniki termolabilne wybieramy liofilizacyjną metodę suszenia przez sublimację lodu w tzw. „wysokiej próżni” z materiału zamrożonego.

Suszenie sublimacyjne składa się z dwóch etapów. W pierwszym etapie następuje „głębokie” zamrożenie materiału wilgotnego w temperaturze poniżej -20°C . W drugim etapie suszenia zamrożony materiał umieszcza się w komorze próżniowej i łagodnie doprowadza się ciepło tak, aby temperatura materiału nie podwyższyła się powyżej -15°C , co zapewnia sublimację wody z pominięciem przechodzenia jej w stan ciekły. Uzyskuje się w ten sposób całkowite odwodnienie próbki materiału w stanie zamrożenia z zachowaniem jego objętości i kształtu.



Rys. 2.63. Schemat suszarki sublimacyjnej (liofilizacji)

1 – obudowa termoizolacyjna komory próżniowej; 2 – zestaw półek ogrzewanych; 3 – element grzewczy kontaktowy; 4 – wielostopniowa pompa próżniowa

Ze względu na bardzo ograniczoną konwekcję w komorze próżniowej liofilizatora (rys. 2.63), doprowadzenie ciepła do materiału poddanego sublimacji może odbywać się jedynie na drodze przewodzenia lub promieniowania. Suszarki sublimacyjne wyposażone są zatem w takie źródła ogrzewania lub jedno z nich;

5) suszenie materiałów przez wymrożenie wody; taka metoda suszenia dotyczy głównie materiałów płynnych, w których fazą płynną jest płyn nie mieszający się z wodą, a wilgoć stanowi w nim niewielką domieszkę wody. Ze względu na lotny charakter składników płynnego materiału poddanego suszeniu, proces suszenia nie może odbyć się przez odparowanie wody. Wówczas można przez zamrożenie próbki płynnej zamienić wilgoć w kryształy lodu i jako takie usunąć z materiału mechanicznie. Ten sposób suszenia nadaje się do usuwania wilgoci z roztworów tłuszczowych lub roztworów w rozpuszczalnikach organicznych. Metodę tą stosuje się samodzielnie, względnie w skojarzeniu z metodą suszenia chemicznego;

2.2.3.4. Bilans suszarki

Proces suszenia materiałów wilgotnych, a w szczególności proces suszenia termicznego jest nierozłączną sumą procesów wymiany ciepła i masy. Z tego powodu dla pełnego zbilansowania pracy suszarki należy sporządzić dwa bilanse: cieplny i materiałowy.

I bilans materiałowy

Jeżeli pominąć straty, to można stwierdzić, że w procesie suszenia masa sucha materiału (W) oraz masa suchego gazu (powietrza suszącego) (W_p) są wartościami niezmiennymi. Zmienia się natomiast zawartość wilgoci w tych mediach, czyli X i Y .

Wilgoć doprowadzona do suszarki składa się z następujących pozycji:

- woda wnoszona z materiałem wilgotnym = $W_1 X_1$;
- woda wnoszona z gazem suszącym = $W_p Y_0$.

Natomiast wilgoć odprowadzona z suszarki składa się z:

- wody zawartej w materiale wysuszonym = $W_2 X_2$;
- wody zawartej w gazach odlotowych = $W_p Y_2$.



W warunkach ustalonych masa wody wprowadzonej do suszarki równa się masie wody wyprowadzonej, czyli:

$$W_1 X_1 + W_p Y_o = W_2 X_2 + W_p Y_2,$$

stąd masa odparowanej w suszarce wilgoci

$$W_A = W_1 X_1 - W_2 X_2 = W_p (Y_2 - Y_o) \text{ [kg/s]}.$$

Zużycie gazu (powietrza) w procesie suszenia:

$$W_p = \frac{W_A}{Y_2 - Y_o} \text{ [kg/s]}.$$

Zużycie właściwe gazu przypadające na jednostkę masy odparowanej w suszarce wilgoci wynosi:

$$\frac{W_p}{W_A} = \frac{1}{Y_2 - Y_o}$$

i zależy wyłącznie od różnicy wilgotności gazów suszących.

2 bilans cieplny.

Pozycje przychodu ciepła w suszarce składają się z elementów:

- ciepło wnoszone z gazem (powietrzem) zewnętrznym $Q_{gz} = W_p i_o$;
 - ciepło dostarczane do gazu w podgrzewaczu zewnętrznym Q_z ;
 - ciepło wnoszone z materiałem wilgotnym $Q_m = W_1 c_m t_m c$
- opierając się na zależności ($W_1 = W_2 + W_A$) ciepło wnoszone z materiałem wilgotnym można określić jako

$$Q_{m1} = W_2 c_m t_{m1} + W_A t_{m1} C_A;$$

- ciepło wnoszone z urządzeniami transportowymi $Q_{t1} = W_t c_t t_{t1}$;
- ciepło dostarczone przez podgrzewacz wewnętrzny Q_w .

Pozycje rozchodu ciepła są następujące:

- ciepło odprowadzone z gazami odlotowymi $Q_o = W_p \cdot i_2$;
- ciepło odprowadzone z materiałem wysuszonym $Q_{m2} = W_2 c_m t_{m2}$;

– ciepło odprowadzone z urządzeniami transportowymi
 $Q_{t2} = W_t c_t t_{t2}$;

– sumaryczne straty ciepłe Q_s .

W ustalonych warunkach suszenia pozycje przychodu ciepła równają się sumie pozycji rozchodu:

$$\begin{aligned} W_p i_o + Q_z + W_2 c_m t_{m1} + W_A t_{m1} C_A + W_t c_t t_{t1} + Q_W &= \\ &= W_p i_2 + W_2 c_m t_{m2} + W_t c_t t_{t2} + Q_s. \end{aligned}$$

Ciepło zużywane na prowadzenie procesu suszenia można wyrazić następująco:

$$\begin{aligned} Q = Q_z + Q_W &= W_p (i_2 - i_o) + W_2 c_m (t_{m2} - t_{m1}) + \\ &+ m_t c_t (t_{t2} - t_{t1}) + Q_s - W_A t_{m1} C_A, \end{aligned}$$

gdzie: $W_p (i_2 - i_o) = Q_p$ – ciepło zużyte na zwiększenie entalpii gazów odlotowych,

$W_2 c_m (t_{m2} - t_{m1}) = Q_m$ – ciepło zużyte na podgrzanie materiału,

$m_t c_t (t_{t2} - t_{t1}) = Q_t$ – ciepło zużyte na podgrzanie urządzeń transportowych,

$W_A t_{m1} C_A = Q_A$ – ciepło doprowadzone do suszarki z wilgocią zawartą w materiale wilgotnym.

Zapotrzebowanie na ciepło do podgrzewania gazów suszących w podgrzewaczu zewnętrznym równa się

$$Q_z = Q_p + Q_m + Q_t + Q_s - Q_W - Q_A$$

Bilans cieplny suszarek o działaniu ciągłym sporządza się przez określenie ilości ciepła w jednostce czasu [kJ/s], podczas gdy dla suszarek pracujących okresowo w ilości ciepła na całą szarżę lub próbkę.

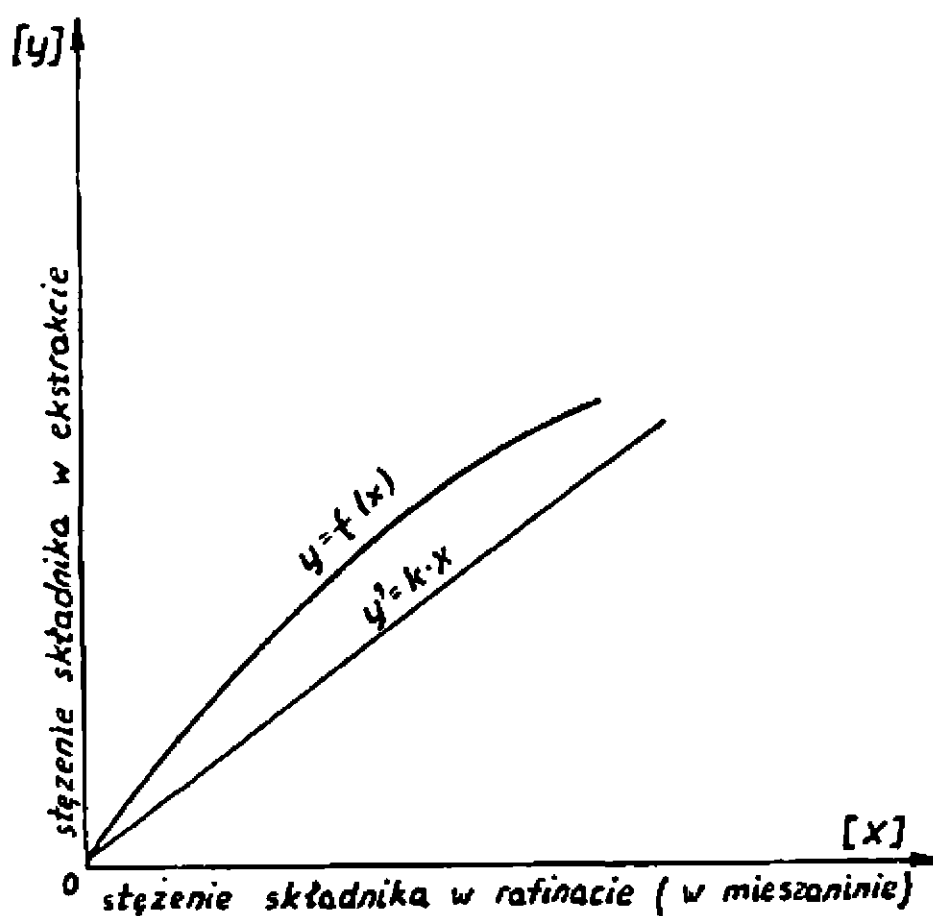
2.2.4. Ekstrakcja

Ekstrakcją nazywamy dyfuzyjny proces wydzielania składników z mieszaniny przez ich rozpuszczenie w rozpuszczalnikach. W przemyśle



spożywczym ekstrakcja znalazła powszechne zastosowanie. Dla przykładu można wymienić, ekstrakcję cukru z buraków, tłuszczu z nasion oleistych, barwników z materiałów roślinnych oraz substancji leczniczych lub zapachowych z ziół i innych surowców. Proces ekstrakcji ciał stałych nazywa się często maceracją lub ługowaniem. Ekstrakcja w układach ciało stałe-ciecz lub ciecz-ciecz (nie mieszające się) składa się z dwóch etapów; w pierwszym etapie następuje dyfuzja cząsteczkowa wewnątrz ciała ekstrahowanego do granicy faz i w drugim etapie przenikanie ekstrahowanego składnika mieszaniny przez granice faz do rozpuszczalnika. Intensywność procesu ekstrakcji zależy od:

- współczynnika dyfuzji (D),
- warunków wymiany masy na granicy faz (gradient stężenia i temperatury, rodzaj rozpuszczalnika, współprąd, przeciwprąd),
- rozwinięcia powierzchni faz (rozdrobienie),
- stosunku masowego ciała ekstrahowanego i rozpuszczalnika.



Rys. 2.64. Stan równowagi procesu ekstrakcji

Cechami optymalnego rozpuszczalnika w procesie ekstrakcji są:

- duża zdolność rozpuszczenia danego składnika,
- selektywna rozpuszczalność w odniesieniu do różnych składników ekstrahowanej mieszaniny,

- małe ciepło właściwe i ciepło parowania,
- niska temperatura wrzenia i zamarzania,
- brak działania szkodliwego na zdrowie,
- brak lub ograniczone działanie korozyjne,
- łatwa dostępność i niska cena,
- niepalność.

Stan równowagi faz w procesie ekstrakcji jest określany równaniem

$$y = f(x),$$

gdzie: y – stężenie składnika w ekstrakcie,
 x – stężenie składnika w mieszaninie.

Obrazem graficznym tej funkcji jest wykres na rys. 2.64. W praktyce funkcję $y = f(x)$ wyznacza się doświadczalnie dla konkretnych warunków ekstrakcji.

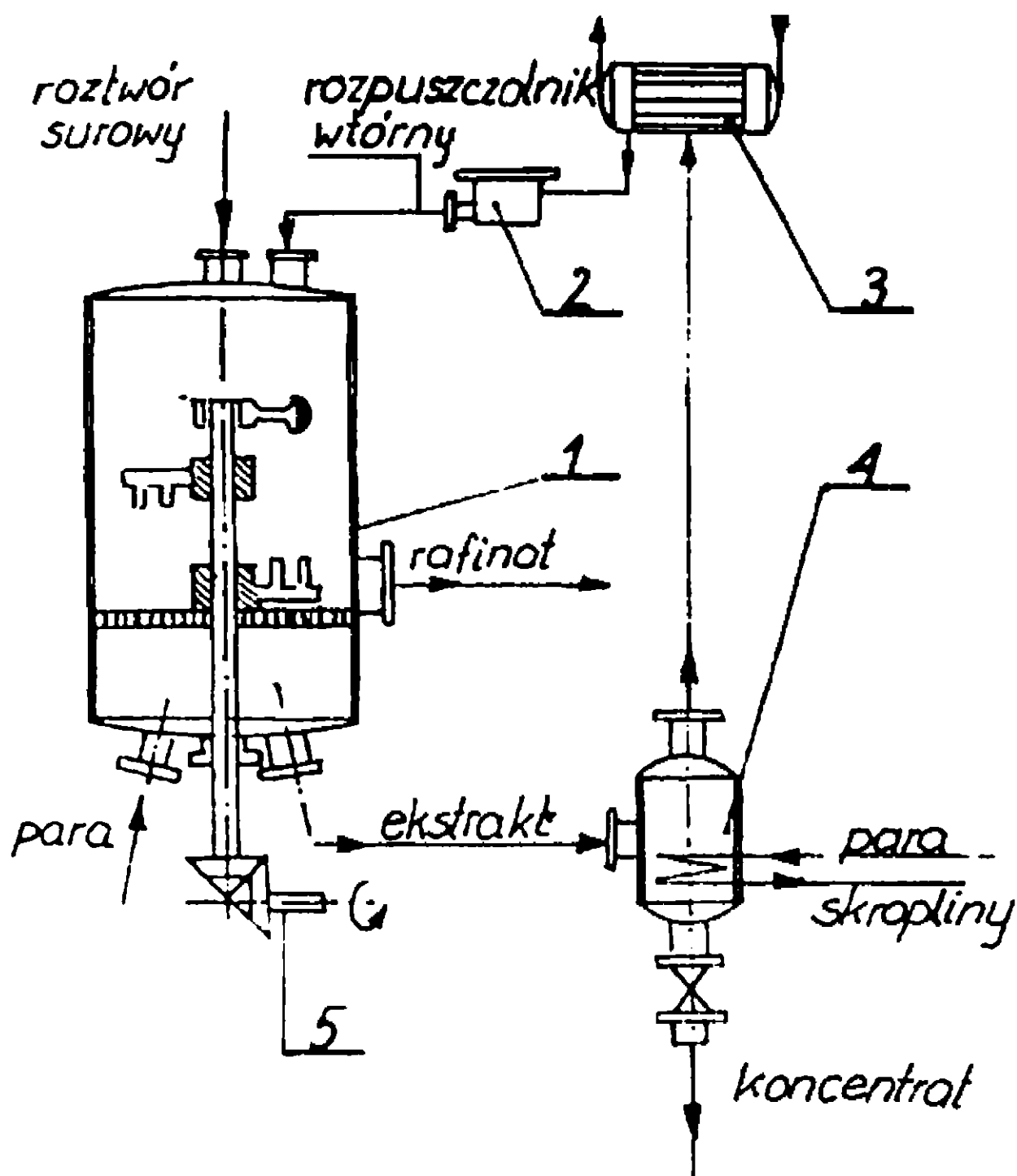
W niektórych przypadkach nie wymagających dużej dokładności funkcję $y = f(x)$ można zastąpić prostą $y = kx$, gdzie współczynnik (k) nosi nazwę współczynnika podziału.

2.2.4.1. Ekstraktory

Ekstrakcja może być prowadzona w ekstraktorach o działaniu periodycznym, półciągłym (w bateriach) lub ciągłym. Aparaty o działaniu ciągłym i półciągłym najczęściej i najefektywniej pracują w przeciwnym kierunku, chociaż zdarzają się również takie sytuacje, w których jest wymagana ekstrakcja współprądowa. Ekstrakcja może być jedno- i wielostopniowa. Celem zintensyfikowania procesu ekstrakcji przez odnawianie powierzchni międzyfazowej, ekstraktory wyposaża się często w mechaniczne lub pneumatyczne urządzenia mieszające (rys. 2.66).

Korytowy dyfuzor cukrowniczy (rys. 2.65) zasługuje na szczególną rekomendację jako urządzenie wyjątkowo sprawne w procesie ekstrakcji ciał stałych rozpuszczalnikami. W urządzeniu tym w procesie ciągłym realizuje się przeciwnieprądowo zarówno wymiana masy, jak również wymiana ciepła.



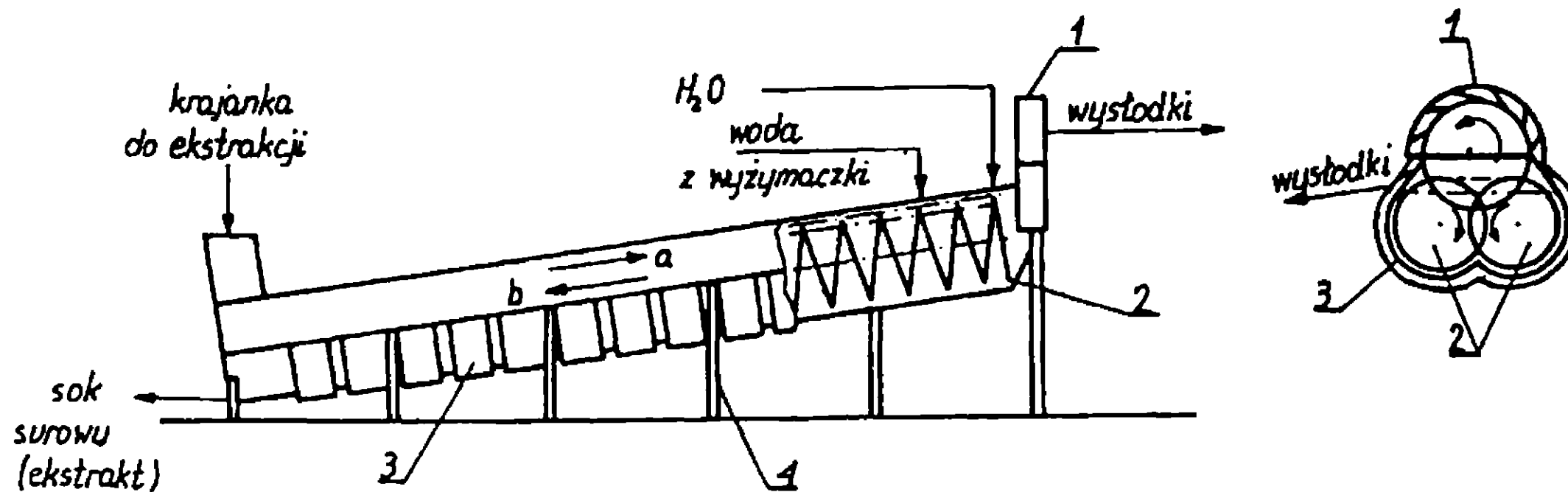


Rys. 2.65. Ekstraktor z mieszadłem

1 – zbiornik ekstraktora; 2 – zbiornik wyrównawczy; 3 – chłodnica (skraplacz); 4 – kocioł odpędowy; 5 – napęd mieszadła

2.2.5. Krystalizacja

Krystalizacja, z punktu widzenia technologii, jest to dyfuzyjna metoda wydzielania substancji w stanie czystym z roztworu przesyconego dzięki wytworzeniu fazy stałej w postaci kryształów. W warunkach przemysłowych krystalizację prowadzi się głównie w celu wydzielenia substancji w stanie czystym, pozbawionym substancji towarzyszących, nadmiaru rozpuszczalnika (wody).



Rys. 2.66. Schemat ekstraktora korytowego

1 – kołowy czerpak wysłodków (rafinatu); 2 – transporter dwuślimakowy; 3 – strefowy płaszcz grzejny; 4 – konstrukcja nośna;
 a – kierunek ruchu krajanki; b – kierunek ruchu cieczy ekstrakcyjnej

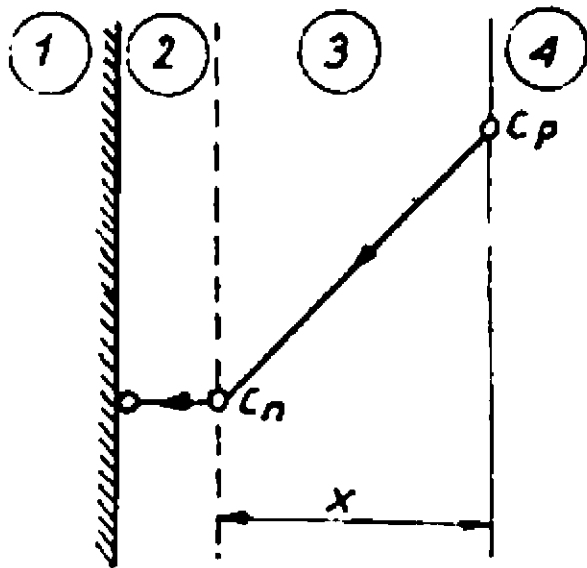
Najlepszą ilustracją praktycznego wykorzystania tego procesu w przemyśle spożywczym jest krystalizacja cukru w zagęszczonych sokach cukrowych.

Mechanizm dyfuzyjnego przejścia cząsteczek z roztworu przesyconego do kryształu można określić posługując się schematem na rys. 2.67 i zmodyfikowanym wzorem Ficka

$$D = \frac{k F t T (C_p - C_n)}{\eta x},$$

gdzie:

- D – ilość substancji wykrystalizowanej,
- k – współczynnik określony warunkami krystalizacji,
- F – sumaryczna powierzchnia kryształów,
- t – czas krystalizacji,
- T – temperatura roztworu,
- $C_p - C_n = \Delta C$ – współczynnik nadsycenia roztworu,
- η – lepkość roztworu,
- x – grubość warstwy dyfuzyjnej.



Rys. 2.67. Schemat krystalizacji

1 – fragment ścianki kryształu; 2 – warstwa graniczna krystalizacji; 3 – warstwa dyfuzji cząsteczek (x) od roztworu przesyconego (C_p) do nasyconego (C_n); 4 – roztwór przesycony wokół kryształów

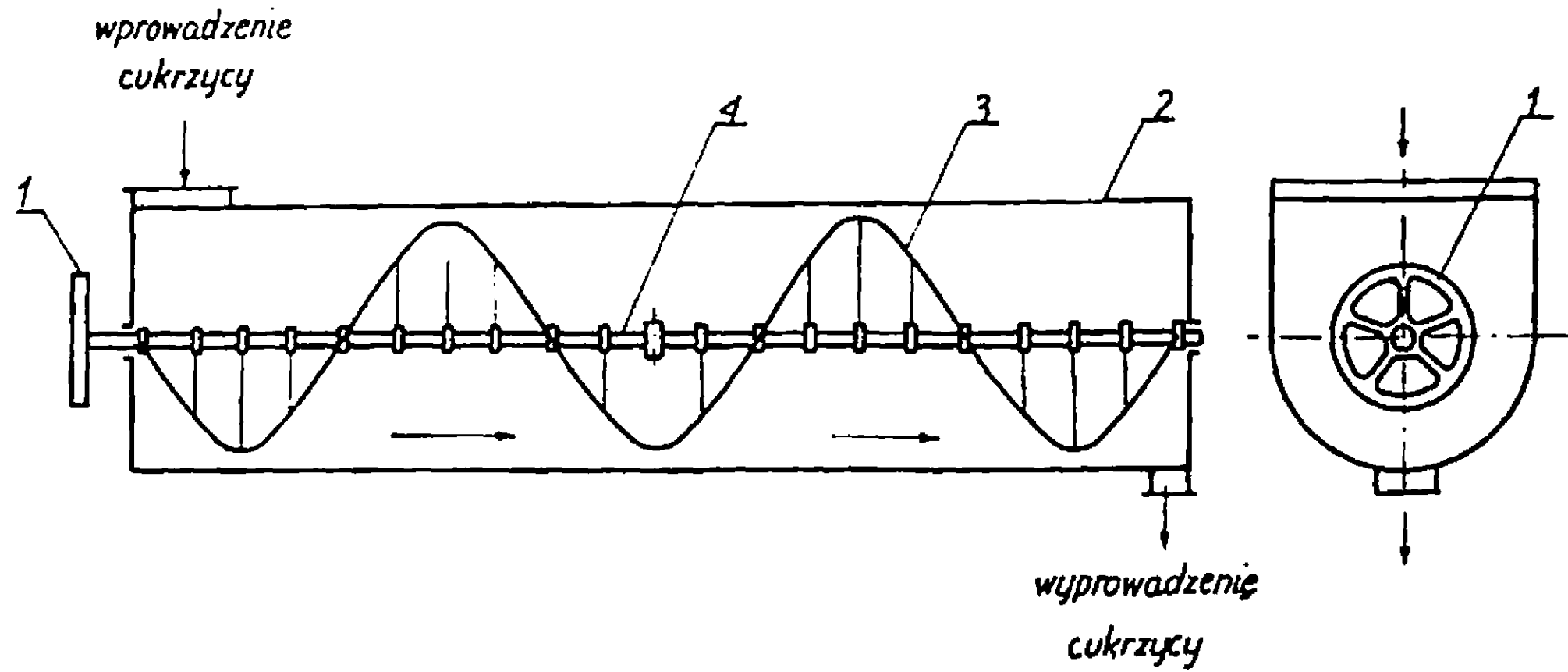
Jako siła napędowa procesu krystalizacji w praktyce bywa najczęściej wyrażana w postaci tzw. współczynnika przesylenia:

$$\alpha = \frac{C_p}{C_n}$$

Rola większości parametrów w funkcji określonej wzorem Ficka jest jednoznacznie wyrażona i zrozumiała. Dodatkowego objaśnienia wymaga jedynie wpływ poziomu temperatury (T) na szybkość dyfuzji oraz sposób regulacji grubości warstewki (x). Chodzi o to, że wpływ temperatury na szybkość krystalizacji jest wpływem złożonym. Mianowicie podnoszenie temperatury roztworu zwiększa ruchliwość cząsteczek dyfundujących, a przez to przyspiesza krystalizację zgodnie z zapisem funkcji Ficka. Jednocześnie jednak podwyższanie temperatury powoduje wzrost stężenia roztworu nasyconego (C_n), a przez to zmniejszanie siły napędowej krystalizacji (ΔC). Tak więc dodatni wpływ temperatury na szybkość krystalizacji zachowany zostanie jedynie przy niezmienniej wartości różnicy stężeń ($C_p - C_n$) = ΔC . Czyli przy podwyższaniu temperatury należy jednocześnie powiększać stężenie roztworu przesyconego (C_p) dla zachowania stałej różnicy stężeń ($C_p - C_n$). Występująca we wzorze Ficka wartość (x) nie może oczywiście być zmierzona eksperymentalnie, ale jej wielkość i wpływ na szybkość krystalizacji może być przez nas regulowana (minimalizowana). Zmniejszenie grubości (x) tej warstewki można dokonać przez intensyfikację mieszania zawiesiny kryształów w roztworze poddanym krystalizacji.

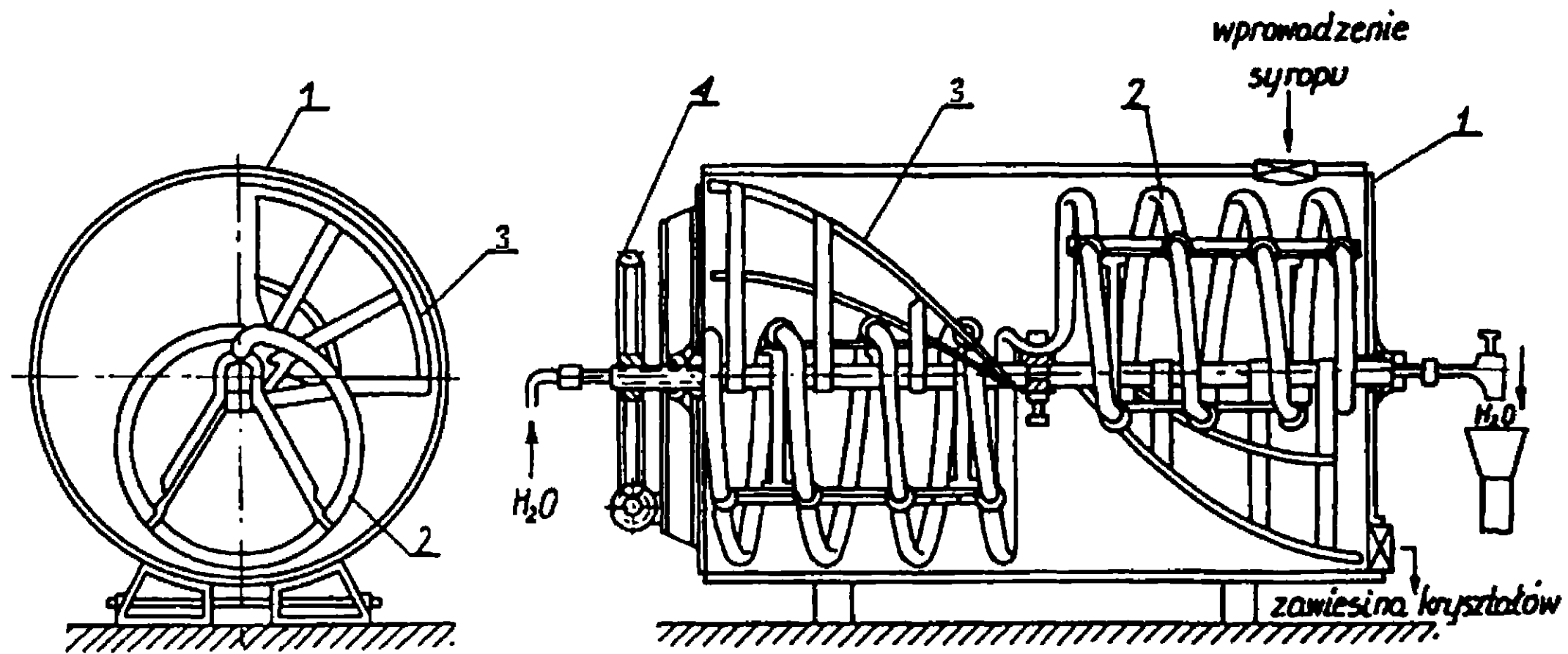
Wzór Ficka określa wzajemne zależności parametrów określających szybkość dyfuzji cząsteczek z roztworu do powierzchni kryształu. Szybkość dyfuzji z kolei determinuje intensywność przyrostu masy kryształów. Zależności te zakładają z góry istnienie w roztworze kryształów. Pojawienie się kryształów w roztworze przesyconym jest zagadnieniem odrębnym. Teoretycznie rzecz biorąc, pojawienie się kryształu jest zdarzeniem wyjątkowym, zachodzącym wówczas gdy nastąpi jednoczesne zderzenie się kilkudziesięciu cząsteczek w położeniu uporządkowanym według schematu charakterystycznego dla określonego układu krystalograficznego. Jak łatwo się domyśleć, jest to zdarzenie niezwykle rzadkie i wymaga dodatkowych bodźców zewnętrznych. Dlatego w praktyce przemysłowej krystalizację rozpoczyna się





Rys. 2.68. Krystalizator ślimakowy (mieszadło cukrzycy)

1 – napęd ślimaka; 2 – koryto; 3 – zwój śrubowy; 4 – oś ślimaka



Rys. 2.69. Krystalizator bębnowy do glukozy

1 – obudowa; 2 – węzownica chłodząca i mieszająca; 3 – skrobak śrubowy; 4 – napęd osi węzownicy i skrobaka

zwykle przez tzw. „zaszczepienie” roztworu przesyconego gotowymi kryształami, które stanowią zarodki inicjujące krystalizację. Prowadzenie procesu wyczerpującej krystalizacji w warunkach przemysłowych nie da się zrealizować po jednorazowym i skończonym etapie zatężania roztworu, ponieważ w toku przyrostu kryształów następuje szybkie zmniejszenie stężenia roztworu. Stężenie to, dla zachowania stałego współczynnika przesyconienia, musi więc być w okresie krystalizacji utrzymywane przez jednoczesne zatężanie roztworu. Możliwe jest również utrzymanie odpowiedniego poziomu przesyconienia roztworu bez jego zatężania. Dzieje się to zwykle w końcowej fazie krystalizacji, w której przesyconienie utrzymuje się przez obniżanie temperatury roztworu czyli zmniejszenie stężenia roztworu nasyconego (C_n).

Biorąc pod uwagę te uwarunkowania, krystalizację przemysłową prowadzi się w dwóch etapach. W pierwszym (głównym) etapie krystalizację prowadzi się w wanniku przy jednoczesnym zatężaniu roztworu utrzymującym stałą wartość współczynnika przesyconienia $\left(\alpha = \frac{C_p}{C_n}\right)$. Po zakończeniu tego etapu zawieszinę kryształów przeprowadza się z wannika (rys. 2.68 i 2.69) do krystalizatora (mieszadła), w którym dzięki programowemu obniżaniu temperatury następuje dalsza krystalizacja aż do wyczerpania możliwości temperaturowego utrzymywania poziomu przesyconienia roztworu. Po zakończeniu krystalizacji następuje mechaniczne oddzielenie kryształów od roztworu macierzystego, najczęściej przez wirowanie.

2.2.6. Procesy sorpcyjne

Przez sorpcję rozumiemy fizyczne pochłanianie określonej substancji (sorbatu) przez inne ciała zwane sorbentami. Pochłanianie substancji na powierzchni sorbentów nazywamy adsorpcją, natomiast pochłanianie w całej objętości nazywa się absorpcją. Jeżeli procesy sorpcyjne łączą się z reakcją chemiczną zachodzącą podczas tego pochłaniania wówczas mamy do czynienia z chemisorpcją.



W procesach przetwórczych ważną rolę odgrywa selektywność procesów sorpcyjnych wynikająca ze zróżnicowanego powinowactwa różnych ciał względem siebie. Selektywność procesów sorpcyjnych pozwala na wyodrębnienie z mieszaniny czystych składników, względnie tworzenie ciekawych kompozycji składników, łączących się na tej zasadzie.

Proces odwrotny do adsorpcji lub absorpcji czyli proces wydzielania substancji związanej sorpcyjnie nazywamy procesem desorpcji. Desorpcja jest intensyfikowana przez ogrzewanie sorbantów, ponieważ jest to proces endotermiczny odwrotnie do procesów sorpcyjnych, które są procesami egzotermicznymi. Typowymi przykładami procesów sorpcyjnych w przemyśle spożywczym są najważniejsze elementy procesów oczyszczania soków cukrowniczych: karbonatacja czyli nasycanie soków dwutlenkiem węgla (absorpcja i chemisorpcja) i wydzielanie koloidów z soków cukrowniczych przez ich adsorpcję na powierzchni tworzących się kryształów węglanu wapniowego.

Innymi przykładami procesów sorpcyjnych są: otrzymywanie napojów nasyconych dwutlenkiem węgla (wody gazowane, wina musujące), oczyszczanie i odbarwianie roztworów za pomocą węgla aktywnego lub innych absorbentów, selektywne wydzielanie związków zapachowych itp. Z punktu widzenia technologii procesy sorpcyjne zachodzące na granicy faz między sorbentem i sorbantem można rozpatrywać przez analogię do procesów dyfuzyjnych. A zatem ilość substancji oddawanej z jednej fazy do drugiej w procesie absorpcji można określić według wzoru:

$$A = k F \tau \Delta C,$$

gdzie: A – ilość substancji gazowej oddawanej do fazy stałej lub ciekłej,

k – współczynnik absorpcji zależny od warunków procesu,

τ – czas procesu,

F – powierzchnia kontaktu faz,

ΔC – siła napędowa procesu wyrażona jako różnica stężeń lub ciśnień.

Traktując fazę gazową jako gaz doskonały oraz przyjmując, że powstający w wyniku sorpcji roztwór jest również roztworem doskonałym, to wówczas do takiego układu można zastosować prawo



Henry'ego. Prawo to stwierdza, że rozpuszczalność gazu w cieczy jest wprost proporcjonalna do ciśnienia cząstkowego tego gazu nad cieczą. Zależność tą określa wzór:

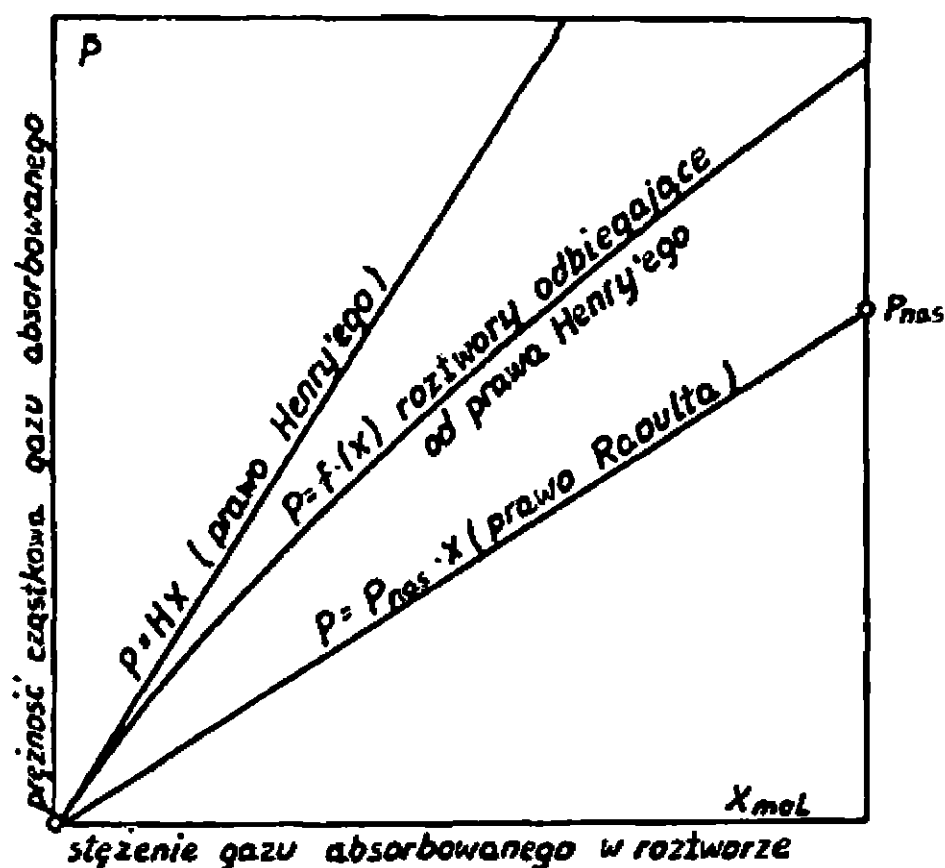
$$p = Hx,$$

gdzie p – prężność cząstkowa gazu absorpcyjnie czynnego nad cieczą,
 x – ułamek molowy gazu absorpcyjnie czynnego w roztworze,
 H – stała Henry'ego.

Jest to równanie równowagi gazowej. Należy zwrócić uwagę na podobieństwo tego prawa do prawa Raoult'a wyrażonego wzorem

$$p = P_{nas} x,$$

gdzie: p – ciśnienie cząstkowe rozpatrywanego składnika mieszaniny gazów,
 P_{nas} – prężność pary nasyconej rozważanego składnika,
 x – ułamek molowy składnika gazowego w cieczy.

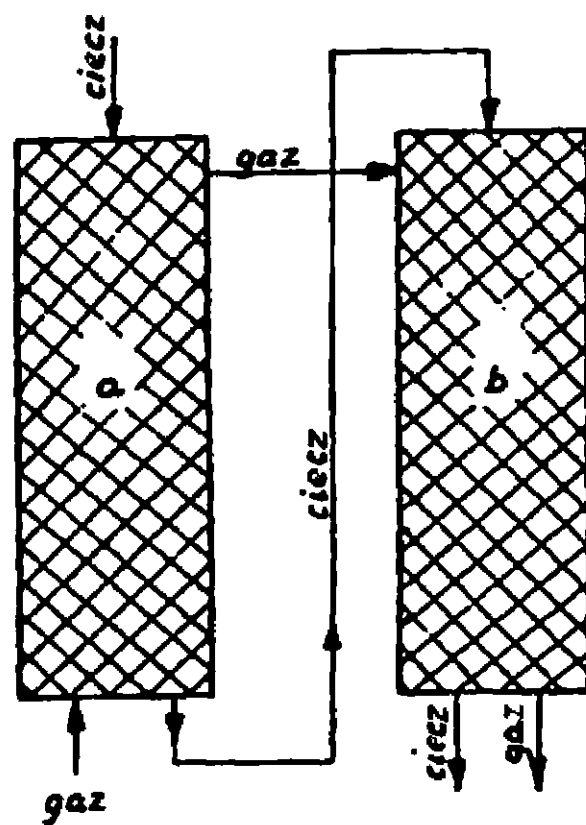


Rys. 2.70. Graficzna interpretacja praw Henry'ego i Raoult'a

Przy dużych rozcieńczeniach roztwory zbliżają się do idealnych, wobec tego w obszarze małych stężeń prawo Henry'ego i prawo Raoula określają linie równowagi jako linie proste. W przypadku, gdy temperatura krytyczna gazu jest wyższa niż temperatura roztworu, wówczas stała (H) przyjmuje wartość prężności pary nasyconej tego gazu w temperaturze roztworu ($H = P_{\text{nas}}$) i wówczas prawo Henry'ego przyjmuje postać prawa Raoula. Wynika stąd, że prawo Raoula jest szczególnym przypadkiem ogólniejszego prawa Henry'ego.

Zależność $p = f(x)$ dla roztworów w praktyce odbiegających od prawa Henry'ego wyznacza się doświadczalnie z wykresu (rys. 2.70). Procesy sorpcyjne, jak wszystkie procesy dyfuzyjne, przeprowadza się przez jedno- lub wielostopniowe kontaktowanie sorbentu i sorbantu przy maksymalnie rozwiniętej powierzchni. Procesy te zależne od właściwości oraz powinowactwa sorpcyjnego prowadzi się przeciwprądowo lub współprądowo.

Na rys. 2.71 jest przedstawiony schemat współpracujących ze sobą absorberów.



Rys. 2.71. Schemat łączenia absorberów
a – absorber przeciwprądowy; *b* – absorber współprądowy

2.2.7. Destylacja i rektyfikacja

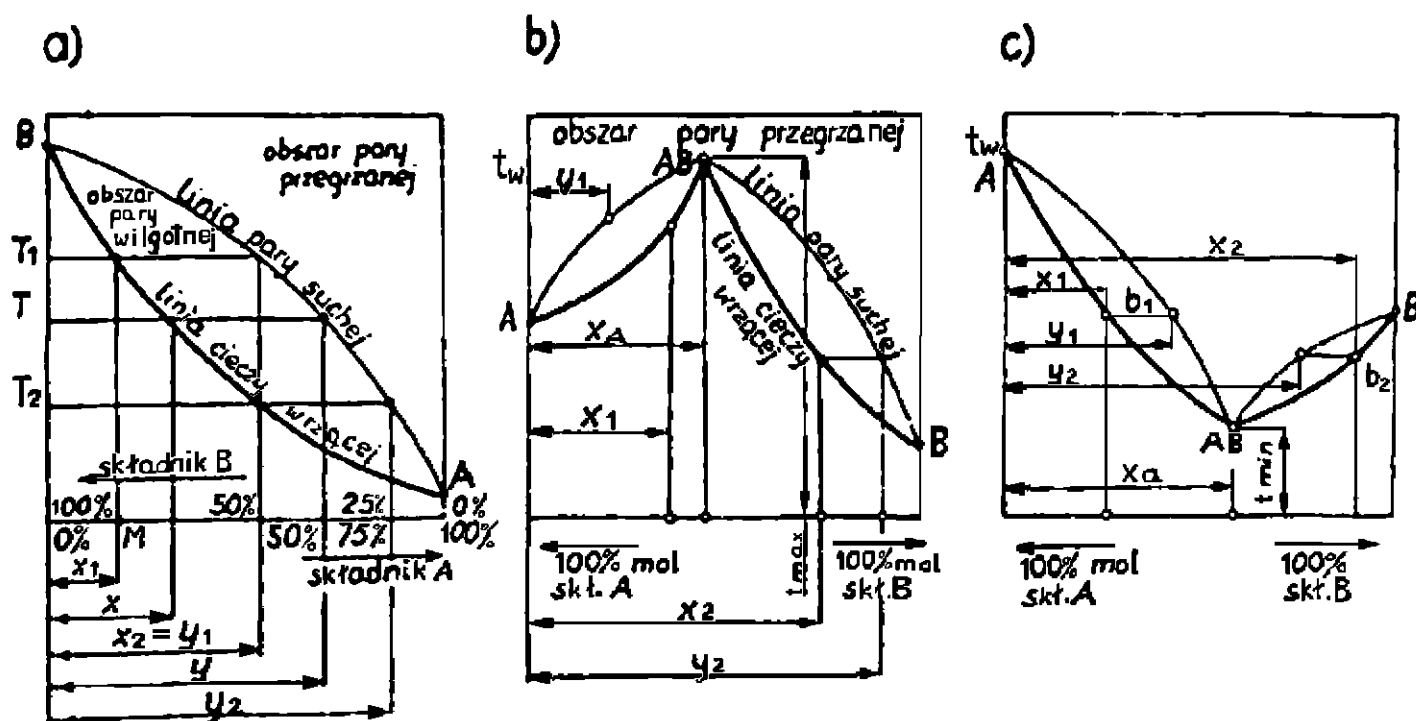
Destylacja jest to metoda wydzielenia pojedynczego składnika lub grupy składników z ciekłej mieszaniny przez odparowanie z wykorzystaniem zróżnicowanej lotności składników. Rozróżnia się dwa zasadnicze sposoby destylacji, mianowicie destylację prostą i frakcjonującą czyli rektyfikację.

W destylacji prostej ciekłą mieszaninę wprowadza się w stan wrzenia. Opary z nad wrzącej cieczy odprowadza się do chłodnicy, gdzie po oziębieniu zostają skroplone i w postaci destylatu wzbogaconego w składniki najbardziej lotne zbiera się w odbieralniku. W zbiorniku po destylacji pozostaje ciecz wyczerpana czyli zubożona o składniki najbardziej lotne. Większą czystość destylatu z punktu widzenia zawartych w nim składników o zbliżonych temperaturach wrzenia uzyskuje się przez zastosowanie w układzie destylacji tzw. deflegmacji. Deflegmacja polega na niewielkim ochłodzeniu oparów w deflegmatorze przed chłodnicą główną i zwróceniu skroplonej w nim części oparów składników wrzących w nieco wyższej temperaturze. Rektyfikację przeprowadza się w specjalnych aparatach kolumnowych wyposażonych zwykle w deflegmatory oraz urządzenia pozwalające na wielostopniowe skraplanie oparów zanim składnik najbardziej lotny trafi przez chłodnicę do odbieralnika. Destylacyjne rozdzielanie ciekłych mieszanin roztworów musi uwzględniać fizykochemiczne uwarunkowania tych roztworów.

Mieszaniny mogą być dwu- lub wieloskładnikowe. Wśród roztworów dwuskładnikowych mogą być mieszaniny z wzajemnie nierozpuszczalnymi składnikami (benzen-woda) i mieszaniny ze składnikami wzajemnie rozpuszczalnymi (etanol-woda). W przypadku mieszanin dwóch składników niemieszających się (nierozpuszczających się wzajemnie) do opisanego stanu równowagi stosuje się prawo Daltona. Według prawa Daltona ciśnienie cząstkowe pary każdego składnika w mieszaninie par jest równe ciśnieniu pary nasyconej czystego składnika w temperaturze wrzenia mieszaniny a ciśnienie mieszaniny par jest równe sumie ciśnień cząstkowych poszczególnych składników. W przemyśle spożywczym najczęściej spotykamy się z przypadkami roztworów dwuskładnikowych o wzajemnie rozpuszczalnych składnikach. Mieszaniny takie dzielimy na dwie grupy: mieszaniny doskonale, mieszaniny z minimalnymi i maksymalnymi temperaturami wrzenia.



Do mieszanin doskonałych ma zastosowanie prawo Raoult, które głosi, że ciśnienie cząstkowe pary każdego składnika w mieszaninie par nad wrzącą mieszaniną jest w dowolnej temperaturze równe ciśnieniu pary nasyconej tego składnika pomnożonemu przez ułamek molowy tego składnika w tej mieszaninie. Niestety większość roztworów, będących mieszaniną składników wzajemnie mieszających się nie stosuje się do prawa Raoult. Oznacza to, że w przypadku takich roztworów prężność pary mieszaniny jest większa lub mniejsza od sumy prężności cząstkowych składników w danej temperaturze. Mamy wówczas do czynienia z mieszaninami o maksymalnej lub minimalnej prężności par. Są to mieszaniny azeotropowe przy minimalnej lub maksymalnej zawartości składnika. Mieszanina azeotropowa z maksymalną prężnością pary wrze w niższej temperaturze, a mieszanina z minimalną prężnością par wrze w temperaturze wyższej od temperatury wrzenia mieszaniny wyjściowej. Na rys. 2.72 są przedstawione wykresy równowagowe układów ciecz-para dla mieszanin dwuskładnikowych wzajemnie rozpuszczających się.

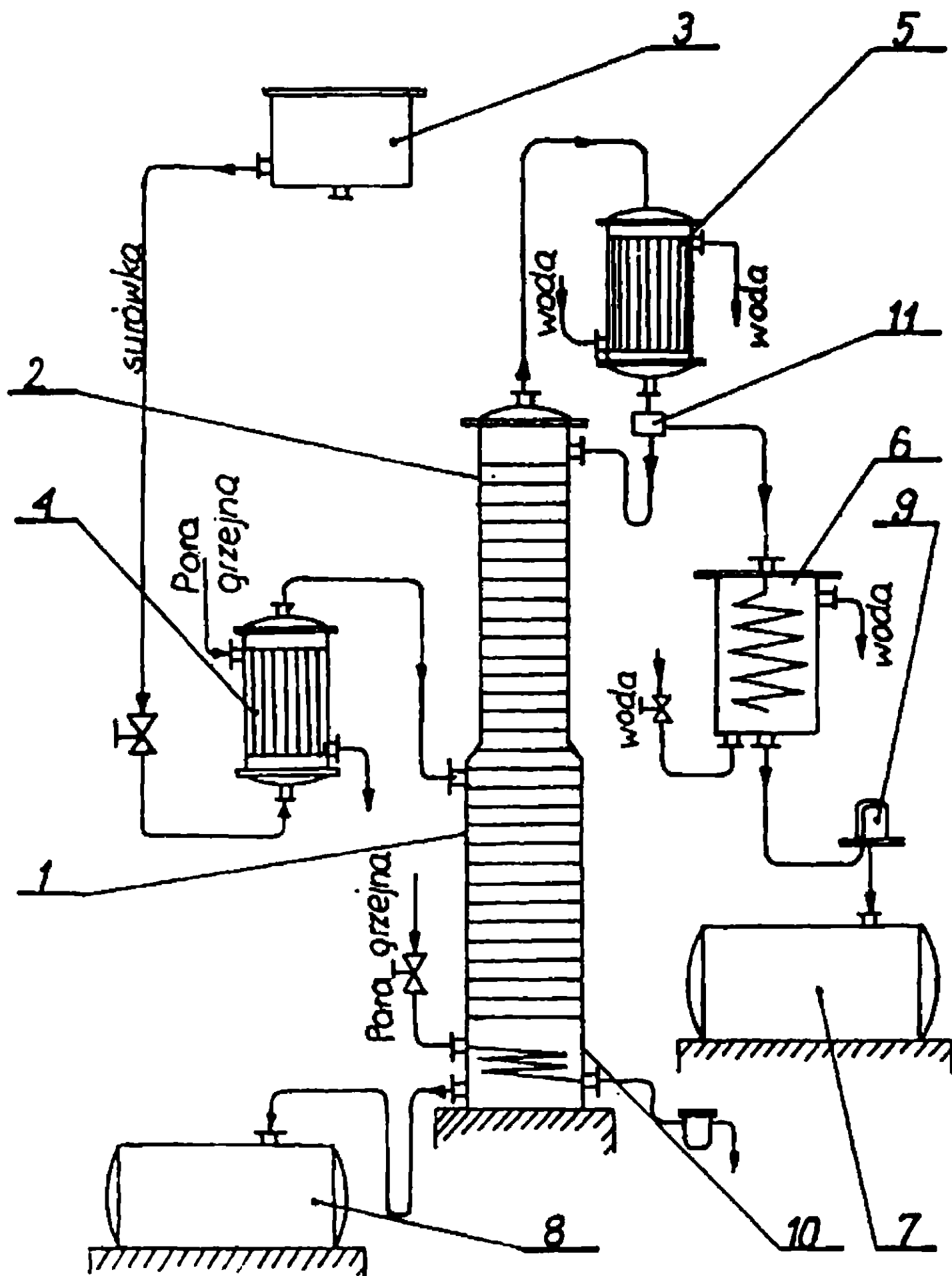


Rys. 2.72. Równowaga dwuskładnikowych układów ciecz-para

a – mieszanina podlegająca prawu Raoult; b – mieszanina azeotropowa z maksymalną temp. wrzenia, c – mieszanina azeotropowa z minimalną temp. wrzenia

Wykresy równowagi dobrze służą do charakterystyki układów dwuskładnikowych oraz przebiegu procesu destylacji i rektyfikacji. Między innymi wykres równowagi może posłużyć do wyliczenia teoretycznej liczby pól przy projektowaniu kolumny rektyfikacyjnej.





Rys. 2.73. Schemat rektyfikacji ciągłej

1 – kolumna rektyfikacyjna, odpędowa; 2 – kolumna rektyfikacyjna wzmacniająca;
 3 – zbiornik surówki; 4 – ogrzewacz; 5 – deflegmator; 6 – skraplacz; 7 – zbiornik
 rektyfikatu; 8 – zbiornik cieczy wyczerpanej; 9 – miernik produktu; 10 – kocioł;
 11 – rozdzielacz

Aparatura do rektyfikacji ciągłej (rys. 2.73) składa się z dwóch kolumn odpędowej (1) i wzmacniającej (2). Surówkę ze zbiornika (3) ogrzewa się w ogrzewaczu (4) i kieruje na górną półkę kolumny odpędowej, gdzie spływając po półkach do kotła (10) zostaje dodatkowo ogrzana w przeciwnym kierunku przez opary składnika niżej wrzącego. Wymianie ciepła między oparami i cieczą towarzyszy, zarówno w kolumnie odpędowej jak i wzmacniającej proces wymiany masy (skraplanie-odparowanie). Proces ten zachodzi na każdej półce, a jego siłą napędową jest różnica ciśnień pod i nad półką. Ciecz spływa do kotła, a jako ciecz wyczerpana jest w sposób ciągły odprowadzana do zbiornika (8). Opary z najwyższej półki są kierowane do deflegmatora (5) i oddzielane od flegmy (ciecz) w rozdzielaczu (11). Flegma jest kierowana z powrotem na kolumnę, natomiast opary spirytusu są skraplane w chłodnicy (6) i kierowane do zbiornika rektyfikatu (7) przez miernik przepływu (9).

2.2.8. Jonitacja

Jonitacja jest to proces wymiany jonów pomiędzy roztworem substancji zdysocjowanych a jonitem czyli tworzywem zawierającym w swojej strukturze centra jonowo czynne. Jonitacja jest więc metodą rozdzielania lub oczyszczania w odniesieniu do elektrolitów.

Jonity czyli nierozpuszczalne tworzywa wielkocząsteczkowe (naturalne lub syntetyczne żywice), obdarzone dysocjującymi grupami funkcyjnymi, posiadają strukturę porowatą (gąbczastą), dzięki której uzyskuje się rozwiniętą powierzchnię kontaktu grup jonowo czynnych z roztworem.

Odpowiednio dla dwóch rodzajów jonów dysponujemy dwoma rodzajami jonitów a mianowicie – kationitami zdolnymi do wymiany kationów i anionitami wymieniającymi z otaczającym roztworem aniony. Kationity, jako tworzywa zawierające związane w swojej strukturze aniony, są nierozpuszczalnymi kwasami, których jony wodorowe mogą być zastąpione przez dowolne kationy. Wyciszenie nierozpuszczalnych anionów kationitu jednym rodzajem kationów daje możliwość, w kontakcie z roztworem, wymiany tych kationów na inne zawarte w tym roztworze. Proces takiej wymiany jest głównym zadaniem jonitacji z udziałem kationitu. Najczęściej występującymi grupami



funkcyjnymi kationitów, uszeregowanymi w/g malejącej aktywności jonowej zwanej również siłą kwaszącą, są grupy: sulfonowe ($-\text{SO}_3\text{H}$), fosforanowe $|\text{-PO}(\text{OH})_2|$, fenolowe ($-\text{OH}$) i karboksylowe ($-\text{COOH}$). Anionity zaś są to tworzywa z wbudowanymi w strukturę wielkocząsteczkową kationami zdolnymi do dysocjacji grup (OH) i przyłączania anionów z roztworu. Kationami w anionitach są najczęściej grupy aminowe, od najsłabszych zasadowo amin pierwszorzędowych ($-\text{NH}_2$) do najbardziej zasadowych alifatycznych amin czwartorzędowych. Proces wymiany jonów między roztworem a jonitem można prowadzić w warunkach stacjonarnych przez zmieszanie jonitu z roztworem lub w warunkach dynamicznych czyli przepływu roztworu przez warstwę złoża jonitowego w kolumnie. Jonitacja prowadzona w warunkach dynamicznych jest procesem znacznie bardziej efektywnym. Są tu bowiem warunki do kontaktu reagentów przy stale zmieniającym się stanie równowagi jonowej. Równowaga jonowa w realizacji wymiany między jonitem a roztworem polega na tym, że po skontaktowaniu jonitu obsadzonego jonami (A) z roztworem zawierającym jony (B) następuje częściowa wymiana jonów, aż do ustalenia się stężeń poszczególnych jonów w jonicie i w roztworze. Ten właśnie poziom, na którym stężenia ustalają się, nazywamy równowagą jonową. Dla ilustracji rozważamy ustalenie się stanu równowagi jonowej układu: kationit (K_+) obsadzony jonami Me_1 w kontakcie z roztworem zawierającym jony metalu Me_2 . Po pewnym czasie, w którym zachodzi reakcja wymiany jonów nastąpi ustalenie równowagi stężeń jonów obu metali w kationicie (k_1 k_2) i w roztworze (c_1 c_2).

Stan równowagi jonowej można przedstawić schematycznie:



przy czym równowaga stężeń da się przedstawić następująco:

$$\frac{k_1}{k_2} = a \frac{c_1}{c_2}$$

Zależnie od powinowactwa chemicznego poszczególnych jonów do jonitu, wartość współczynnika (a) może przyjmować wartości większe lub mniejsze od jedności. Oznacza to, że zależnie od rodzaju wymienianych się jonów, stan równowagi jonowej, a w szczególności ich

równowagowe stężenia w roztworze i w jonicie mogą przyjmować bardzo różne wartości. Stąd wynika, że każdorazowo dla konkretnych warunków wymiany i określonego rodzaju jonów należy dobierać odpowiedni jonit.

Ustalanie się stanu równowagi jonowej w układzie jonit-roztwór oznacza, że proces wymiany jonów jest procesem odwracalnym. Można więc dokonać regeneracji jonitu, którego grupy czynne zablokowane są określonymi jonami przez skontaktowanie go w warunkach dynamicznych z roztworem zawierającym inne jony. Np. regeneracja jonitu obsadzonego kationami (Me) odbywa się przez przepuszczenie przez jego złożę strumienia roztworu kwasu, dzięki czemu nastąpi wyparcie z kationitu kationów metalu i obsadzenie jego grup czynnych jonami wodorowymi. Nadmiar wprowadzonego do złoża kwasu jest po tym wypierany wodą do reakcji obojętnej. Tak zregenerowany kationit jest ponownie zdolny do wiązania kationów z roztworów przez ich wymianę z własnymi jonami wodorowymi (H^+).

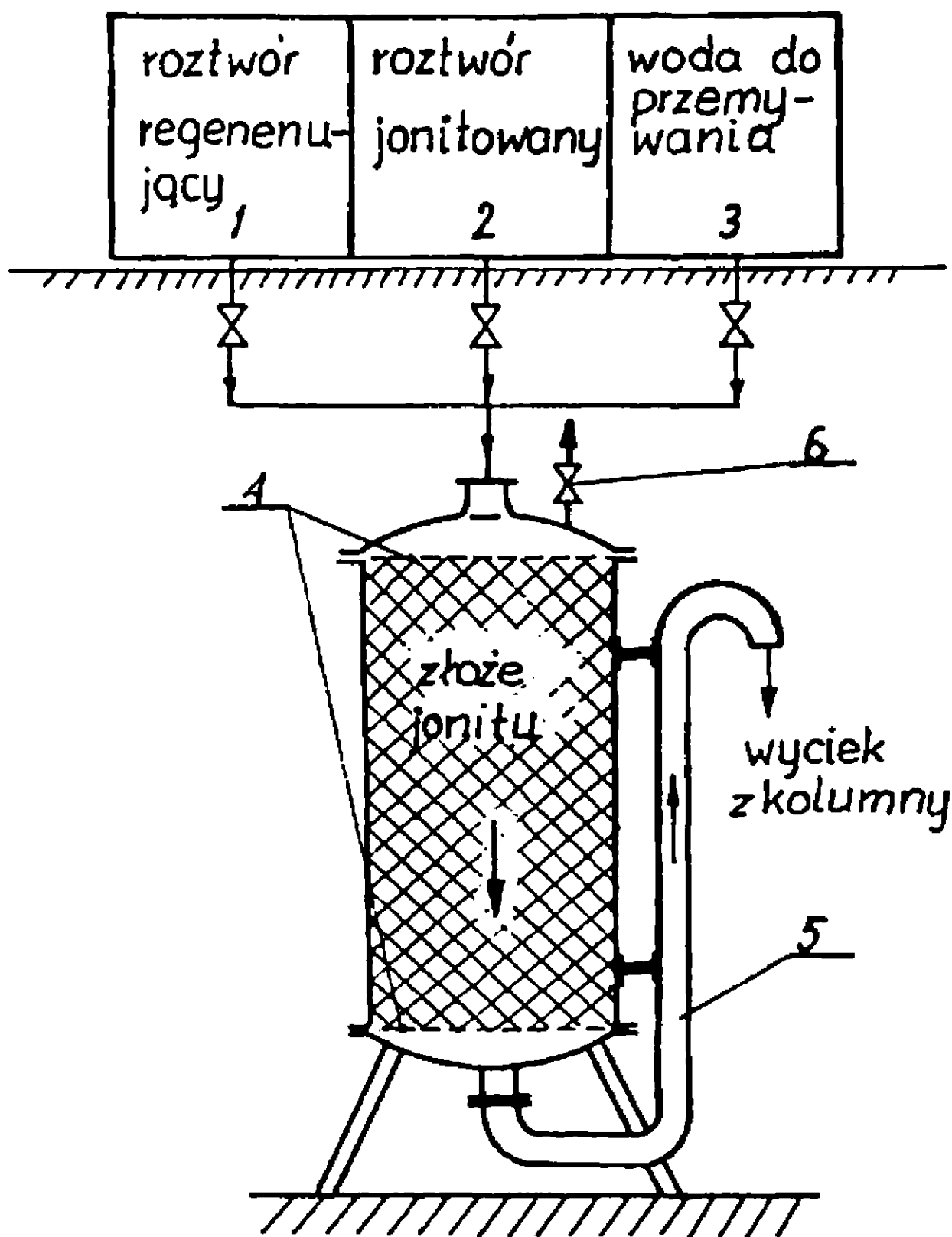
Analogicznie dzieje się z anionitami z tym, że regeneracji anionitów dokonuje się najczęściej zasadami, wypierając z nich odpowiednie aniony zasadowymi jonami (OH^-).

Opisana zasada regeneracji jonitów nie oznacza, że stan pierwotny jonitów czyli stan przed jonitacją polega na wprowadzeniu do jego grup czynnych jonów wodorowych (H^+) lub wodorotlenowych (OH^-). Bardzo często regeneracja jonitów polega na zastąpieniu w jonitach jednych jonów innymi jonami, które z punktu widzenia powinowactwa chemicznego będą korzystne w procesie zamierzonej wymiany jonów. Np. w cukrownictwie, w procesie jonitacyjnego oczyszczania soków, podczas ich odwapniania, po zablokowaniu kationami wapnia, regeneracji kationitu dokonuje się nie roztworem kwasu lecz roztworem chlorku sodowego. Czyni się tak dlatego, aby nie zakwaszać odwapnianych kationitem soków lecz zamienić w nich kationy wapnia na kationy sodu.

W związku z ustalaniem się stanu równowagi jonowej dla precyzyjnego i daleko zaawansowanego usunięcia określonych jonów z roztworu za pomocą jonitu, istnieje często konieczność wielokrotnej jonitacji roztworu na świeżo zregenerowanych kolumnach. Uzyskuje się wówczas niezbędne przesunięcie stanu równowagi na korzyść zamierzonej wymiany. Np. dla pełnego odmineralizowania roztworu czyli maksymalnego usunięcia z niego jonów należy ten roztwór poddać



kilkakrotnej jonitacji przemiennej. Jonitacja przemienne polega na kilkakrotnym, na przemian prowadzonym przepuszczaniu roztworu przez kationit i anionit. Przykładem zastosowania nieskończenie dużej liczby powtórzeń przemiennej jonitacji jest zastosowanie jonitacji roztworów w kolumnie wypełnionej, tzw. złożem mieszanym (mieszaniem kationitu i anionitu).



Rys. 2.74. Schemat kolumny jonitacyjnej

4 – dna sitowe kolumny; 5 – syfon wycieku; 6 – odgazowanie

W procesie jonitacji można doszukać się znacznych analogii z procesem rektyfikacji. Tak więc, jak w procesie rektyfikacji, w kolumnie na poszczególnych półkach mamy do czynienia z powtarzaniem cząstkowych procesów destylacji, a kolumna rektyfikacyjna z wypełnieniem zastępuje układ o bardzo wielkiej liczbie pól. Analogicznie do tego, powtarzanie jonitacji w układzie przemiennych kolumn (kationit-anionit) może być zwielokrotnione na kolumnie ze złożem jonitów mieszanych.

W praktyce przemysłowej celem odmineralizowania wody oraz innych roztworów, względnie dokonania w nich wymiany jonów stosuje się proces jonitacji w kolumnach zapewniających odpowiednie warunki wymiany jonów oraz warunki hydrodynamiczne. Układ takiej pojedynczej kolumny przedstawiony jest na rys. 2.74.

Proces jonitacji bardzo często łączy się nierozdzielnie z procesem adsorpcji prowadzącym w praktyce do zmniejszenia zabarwienia roztworów. Szczególnie znaczące w praktyce właściwości sorpcyjne (odbarwiający) mają złoża anionitowe oraz niektóre słabo kwasowe (-COOH) kationity.

2.3. Procesy chemiczne

Reakcje chemiczne prowadzone celowo względnie przebiegające samorzutnie w sposób nie zamierzony, towarzyszą praktycznie wszystkim procesom technologicznym. Stopień zaawansowania i ukierunkowania tych reakcji nadają często właściwy charakter tym procesom, określając je mianem procesów i przemian fizykochemicznych.

Wśród bardzo wielu reakcji chemicznych, zachodzących podczas wytwarzania i zabezpieczania żywności, wyróżnić należy kilka procesów dominujących. Do takich dominujących i powszechnie stosowanych w technologii żywności procesów chemicznych należą procesy: hydrolizy, utleniania i redukcji, względnie uwodorniania.

2.3.1. Procesy hydrolizy

Proces hydrolizy jest procesem rozrywania wiązań chemicznych z przyłączeniem wody w obecności katalizatorów. W technologii



żywności znajduje on powszechne zastosowanie do uwalniania cukrów stanowiących element struktury cząsteczek polisacharydów względnie do modyfikacji tych polisacharydów. Najbardziej rozpowszechnionym w różnych dziedzinach produkcji żywności jest proces hydrolizy skrobi.

Skrobia jest polisacharydem zbudowanym z elementów glukozowych połączonych ze sobą wiązaniami glukozydowymi $\alpha-1,4$ i $\alpha-1,6$. Wiązania α -glukozydowe w skrobi należą do wiązań ulegających bardzo łatwo rozerwaniu pod działaniem wody w warunkach stosunkowo łagodnych. Skutecznymi katalizatorami w hydrolizie wiązań glukozydowych skrobi są rozcieńczone kwasy lub enzymy amylolityczne.

Hydroliza kwasowa skrobi jest reakcją jednocząsteczkową, którą można wyrazić wzorem

$$\frac{dx}{dt} = kc(100 - R),$$

gdzie: $\frac{dx}{dt}$ – przyrost ilości glukozy w czasie,

k – stała reakcji (jeżeli pominąć reakcje uboczne towarzyszące hydrolizie jak rewersja, wówczas $k = 0,64$),

c – % zawartość kwasu,

R – % stopień scukrzania skrobi.

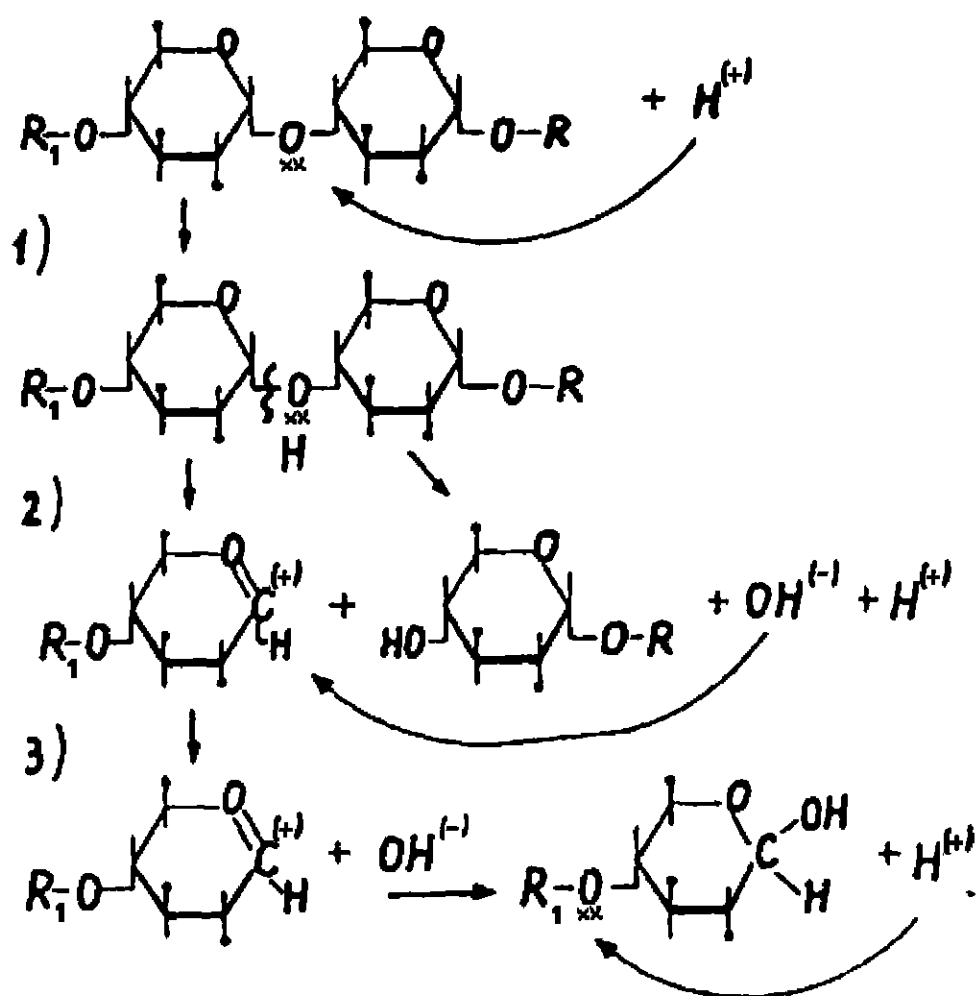
Zgodnie z teorią Edwarda rozrywanie wiązania glukozydowego pod wpływem wody w obecności protonów wodorowych (kwaśne środowisko) polega na przyłączeniu w pierwszym etapie protonu wodorowego do wolnej pary elektronowej tlenu stanowiącego mostek wiązania glukozydowego. W drugim etapie następuje rozerwanie wiązania pomiędzy tym tlenem a węglem anomerowym elementu glukozowego z jednoczesnym utworzeniem jonu karboniowego. W trzecim etapie następuje nukleofilowe przyłączenie anionu hydroksylowego z wody do kationu karboniowego, a przez to wytworzenie wolnej grupy hydroksylowej przy węglu anomerowym.

Prowadzona zgodnie ze schematem na rys. 2.75 reakcja hydrolizy skrobi w procesie wyczerpującym, pozwala teoretycznie w całości zamienić skrobię w glukozę. Proces taki był do niedawna podstawowym etapem produkcji glukozy w skali przemysłowej. Obecnie w produkcji glukozy, proces hydrolizy kwasowej zastępuje się całkowicie procesem

scukrzania enzymatycznego, z użyciem preparatów α -amylazy bakteryjnej i glukoamylazy pochodzenia pleśniowego. O zmianie tej zdecydowały następujące powody:

a) reakcje enzymatyczne w ogóle są znacznie bardziej efektywne od reakcji katalizowanych chemicznie,

b) hydroliza enzymatyczna przebiega w nieporównywalnie łagodniejszych warunkach, dzięki temu zużywa się dużo mniej energii i kosztownej aparatury. Ponadto unika się wielu reakcji ubocznych i rozkładu produktu, przez co otrzymuje się produkt o wyższej jakości i z większą wydajnością.



Rys. 2.75. Schemat reakcji hydrolizy kwasowej wiązania glukozydowego w skrobi

Hydrolizę kwasową skrobi stosuje się wyłącznie w procesach produkcji niektórych syropów skrobiowych, opartych na częściowo zhydrolizowanej skrobi oraz w procesach kwasowej modyfikacji skrobi np. dekstrynizacji.



W warunkach przemysłowych proces hydrolizy skrobi, zarówno z użyciem kwasów jak i enzymów prowadzony jest metodami periodycznymi jak też ciągłymi. Periodycznie, hydroliza kwasowa prowadzona jest w reaktorach (konwertorach) typu autoklawu przy bezpośrednim ogrzewaniu reagentów parą wodną pod ciśnieniem. Ciągły proces hydrolizy natomiast prowadzony jest w reaktorach rurowych ogrzewanych przeponowo w strumieniu przepływającego hydrolizatu. Przykłady rozwiązań przemysłowych procesów technologicznych hydrolizy skrobi przytoczone są w rozdziale IV.

Innym przykładem wykorzystania procesu hydrolizy w technologii żywności jest proces hydrolizy białek dla otrzymania koncentratów aminokwasów lub przypraw odżywczych i smakowych. Procesem dominującym w reakcji hydrolizy białek katalizowanej przez kwasy lub zasady jest hydroliza wiązań peptydowych z uwolnieniem poszczególnych aminokwasów stanowiących podstawowe elementy molekuł białkowych. Podobnie jak w przypadku hydrolizy skrobi zastosowanie katalizatora kwasowego i niezbędnych przy tym bardzo drastycznych warunków reakcji występują duże straty wynikające z reakcji ubocznych. Dlatego też, coraz częściej kwasową lub zasadową hydrolizę białek w przemyśle zastępuje się procesem hydrolizy enzymatycznej.

Proces hydrolizy tłuszczów odgrywa w produkcji żywności ogromną rolę. Podstawą tego procesu jest reakcja hydrolizy wiązań estrowych łączących w tłuszczu glicerol z trzema kwasami tłuszczowymi. Największym problemem w produkcji i dystrybucji żywności z udziałem tłuszczów jest skuteczne zabezpieczenie tłuszczu przed samorzutnie i niekorzystnie przebiegającym procesem hydrolizy, która jest między innymi przejawem psucia się tłuszczu. Istnieją jednak poważnie rozwinięte działy przemysłu, w których prowadzi się hydrolizę tłuszczów celowo, dla otrzymania glicerolu, mydeł, środków powierzchniowo czynnych i spulchniających (mono i diglicerydy). Hydroliza wiązań estrowych w tłuszczach jest prowadzona z udziałem katalizatora alkalicznego.

2.3.2. Procesy utleniania

Procesy utleniania są niewątpliwie procesami najbardziej rozpowszechnionymi w technologii żywności. W większości bowiem procesów



technologicznych poddana obróbce żywność kontaktuje się z tlenem z powietrza a przez to ulega reakcji utleniania szczególnie intensyfikowanej przez podwyższenie temperatury i rozwijanie powierzchni przez rozdrabnianie i mieszanie.

W związku ze szkodliwym na ogół wpływem na żywność procesów utleniania jej składników, przy projektowaniu i prowadzeniu procesów technologicznych należy uwzględnić konieczność zabezpieczenia żywności przed tym wpływem.

Procesy utleniania są również rozpowszechnione w technologii żywności jako celowo i pozytywnie ukierunkowane przemiany składników żywności. Przykładami takich procesów mogą być procesy utleniania cukrów prostych i polisacharydów dla otrzymywania kwasów lub polisacharydów zmodyfikowanych.

Utlenianie glukozy. Utlenianie glukozy prowadzi się w celu otrzymania kwasu glukonowego, bardzo dobrego, łagodnie kwaszącego środka spożywczego oraz glukonianu, wykorzystywanego w lecznictwie. W procesie tym wykorzystuje się podatność grupy karbonylowej glukozy w środowisku alkalicznym do łatwego utleniania się do grupy karboksylowej z udziałem węgla anomerowego. Proces utleniania glukozy oraz ewentualnie innych monozy prowadzi się w reaktorach otwartych przy temperaturze pokojowej lub podwyższonej i użyciu słabo alkalicznych roztworów wodnych. Czynnikiem bezpośrednio utleniającym cukier jest najczęściej tleno-halogenkowy anion w postaci podchlorynu lub podbrominu. Halogenkowy atom w takim anionie będący na stopniu utlenienia (+1) zamienia się spontanicznie w anion halogenkowy z ładunkiem (-1) dostarczając obiektowi utlenienia atomu tlenu *instatu nascendi* według równania:



Alkaliczne środowisko reakcji należy utrzymywać po to, aby po pierwsze przyspieszyć proces tautomeryczny glukozy, a przez to zwiększyć prawdopodobieństwo udziału w reakcji karbonylowych form cukru. Po drugie w alkalicznym środowisku rozkład anionu tleno-halogenkowego na anion halogenkowy z wydzielaniem tlenu nie jest zbyt gwałtowny, a przez to efektywność wykorzystania utleniacza jest większa.



W procesach utleniania przemysłowego aktywny utleniacz w postaci anionów tleno-halogenkowych lub w innych reakcjach utleniania specjalne rodniki są wytwarzane bezpośrednio w środowisku reakcji metodą elektrolityczną.

Zupełnie analogicznie jak utlenianie glukozy prowadzi się przemysłowy proces utleniania skrobi dla otrzymania skrobi utlenionej znajdującej zastosowanie do produkcji deserów żelowych i wielu innych preparatów spożywczych. W tym przypadku wodną zawiesinę ziarnistej skrobi (mleczko skrobiowe) poddaje się procesowi utleniania w słabo alkalicznym roztworze podchlorynu sodowego. Podczas utleniania skrobi podchlorynem charakter reakcji utleniania różni się znacznie od utleniania glukozy mimo podobieństwa w technicznym wykonaniu tych procesów.

Różnica wynika stąd, że podczas utleniania się skrobi atak tlenu nie może być skierowany na grupy karbonylowe węgli anomerowych, jak to ma miejsce w glukozie, ponieważ węgle anomerowe elementów glukozowych są zaangażowane w wiązaniach glukozydowych polisacharydu. Pojedyncze w cząsteczkach grupy karbonylowe nie mogą mieć w masie skrobi żadnego praktycznego znaczenia. Podczas utleniania skrobi zatem, wydzielany tlen atakuje wobec tego 3 wolne grupy hydroksylowe reszt glukozowych. Zgodnie ze znaną ogólnie, dużo większą reaktywnością grup hydroksylowych przy węglach I-rzędowych, skuteczny atak tlenu skierowany jest na szósty atom węgla. W praktyce okazało się, że podczas utleniania skrobi podchlorynem wytwarzane są w skrobi grupy karboksylowe przy węglach szóstych elementów glukozowych czyli skrobia tak utleniona zawiera zawsze w cząstkach nieliczne elementy kwasu glukuronowego. Nadaje to skrobi utlenionej wiele specyficznych cech i właściwości.

2.3.3. Procesy uwodorniania (redukcji)

Szczególnie ważnym i w wielkiej skali stosowanym procesem uwodorniania w przemyśle spożywczym jest proces uwodorniania olejów roślinnych czyli proces utwardzania tłuszczów.

Tłuszcze roślinne w większości charakteryzują się dużym udziałem cząsteczek zawierających reszty kwasów tłuszczowych jedno- i wielonienasyconych. Odpowiada to obecności w tych kwasach jednego lub



wielu wiązań podwójnych czyli nienasyconych. Nienasycone kwasy w glicerydach inaczej układają się w przestrzeni niż kwasy nasycone, a przez to warunkują ciekły stan całej mieszaniny glicerydów. Dla utwardzenia oleju roślinnego prowadzi się proces uwodornienia czyli nasycenia dużej części nienasyconych wiązań podwójnych. Dokonuje się tego gazowym wodorem wtłaczanym do autoklawu zawierającego płynny i rozgrzany olej w obecności katalizatora niklowego. Uwodorniony tłuszcz podlega następnie rafinacji i uszlachetnieniu oraz jest przekształcany w różnorodne produkty o charakterze substytutu masła tj. margarynę lub tzw. masło roślinne.

Innym przykładem procesu uwodornienia (redukcji) jest stosowany w dużej skali proces redukcji glukozy do sorbitolu (glucytolu). Otrzymywanie sorbitolu z glukozy polega na uwodornieniu roztworu wodnego glukozy gazowym wodorem, wtłaczanym pod ciśnieniem około 8 MPa w obecności katalizatora platynowego lub palladowego. Następuje w tych warunkach zredukowanie odblokowanych grup karbonylowych glukozy do grup hydroksylowych bez naruszenia struktury cząsteczki.

Po zakończeniu procesu redukcji roztwór sorbitolu jest rafinowany węglem, zateżany do stężenia 70% i poddawany krystalizacji lub jest używany bezpośrednio do biokonwersji sorbitolu do L-sorbozy. W tym przypadku redukcja sorbitolu stanowi pierwsze stadium produkcji kwasu L-aksorbinowego, tj. witaminy C. W niektórych krajach jest dozwolone stosowanie sorbitolu jako środka słodzącego do wyrobu produktów dla diabetyków oraz do produkcji wyrobów dietetycznych o niskiej kaloryczności. Sorbitol w dawce około 1% jest używany jako środek przeciwdziałający krystalizacji cukrów w syropach farmaceutycznych. Estry sorbitolu z kwasami tłuszczowymi są wykorzystane w przemyśle spożywczym jako emulgatory o nazwie handlowej Span. Przykładowo jednolaurynian sorbitolu nosi nazwę Span 20, a jednooleinian sorbitolu Span 80.



3. METODY UTRWALANIA ŻYWNOŚCI

3.1. Wiadomości wstępne

Utrwalanie (konserwowanie) żywności pochodzenia roślinnego i zwierzęcego jest podstawowym zadaniem wielu gałęzi przemysłu spożywczego. Podstawowym celem utrwalania żywności jest utrzymanie żywności w stanie możliwie nie zmienionym pod względem cech: fizycznych (struktura, smak, zapach), biologicznych (zachowanie wartości odżywczej) oraz higienicznych. W odniesieniu do nietrwałych surowców pochodzenia roślinnego i zwierzęcego w/w cel może być osiągnięty przez spełnienie następujących warunków:

- a) wstrzymane zostaną lub bardzo zwolnione procesy biochemiczne, zwłaszcza oddychanie,
- b) wstrzymane lub bardzo ograniczone zostanie działanie drobnoustrojów w obrębie danego środka żywnościowego, tj. nastąpi zniszczenie lub usunięcie drobnoustrojów z zabezpieczeniem przed infekcją,
- c) wstrzymane lub bardzo zwolnione zostaną procesy chemiczne, a zwłaszcza utlenianie, autooksydacja, degradacja witamin itp.,
- d) wyeliminuje się przypadkowe skażenie żywności drobnoustrojami chorobotwórczymi, szkodliwymi pasożytami itp.

O skutecznym utrwalaniu żywności decydują zatem trzy główne procesy: biochemiczny, mikrobiologiczny i chemiczny. Wszystkie te procesy zależą od temperatury i związane są z danym środowiskiem żywnościowym, w którym zawarte są określone składniki odżywcze oraz woda. W praktyce przemysłowej okazało się, że najistotniejszym czynnikiem powodującym istotne straty i warunkującym skuteczne

utrwalanie żywności jest czynnikiem mikrobiologiczny. Wyeliminowanie działalności drobnoustrojów przez stosowanie określonych metod utrwalania skutecznie hamuje procesy biochemiczne. Przebieg zaś reakcji chemicznych zależy od metod utrwalania żywności oraz temperatury i warunków składowania utrwalonych produktów.

Zatem sposoby utrwalania żywności można rozpatrywać z punktu widzenia udziału drobnoustrojów w niepożądanym kierunku oddziaływania na żywność, która jest ich środowiskiem bytowania. Z tego względu metody utrwalania żywności można podzielić na trzy rodzaje:

- metody związane z osłabieniem lub uniemożliwieniem rozwoju drobnoustrojów przez wpływ na ich środowisko bytowania,
- metody związane ze zniszczeniem drobnoustrojów w środowisku,
- metody związane z usunięciem drobnoustrojów ze środowiska.

3.2. Zahamowanie rozwoju drobnoustrojów

Do tej grupy zalicza się metody utrwalania żywności polegające na zahamowaniu rozwoju drobnoustrojów przez obniżenie temperatury np. składowanie chłodnicze i zamrażalnictwo, przez zwiększenie ciśnienia osmotycznego np. zaleźanie, słodzenie, solenie oraz przez zwiększenie aktywności jonów wodorowych np. zakwaszanie, kiszenie, wysycanie dwutlenkiem węgla (gazowanie).

Zakwaszanie polega na utrwalaniu produktów za pomocą kwasu octowego o stężeniu 1 – 4% lub rzadziej kwasu cytrynowego, mlekowego, winowego. Kwas octowy stosuje się pod postacią octu spożywczego. Produkty utrwalane kwasem octowym są nazywane marynatami. Obok octu do marynowania używa się cukru i przypraw korzennych. Wartość pH marynowanych roztworów wynosi około 2,5. Wobec takiej wartości pH zostaje wstrzymany rozwój drożdży i bakterii.

Kwaszenie polega na fermentacyjnym wytworzeniu kwasu mlekowego w surowcach, zwłaszcza roślinnych głównie w warzywach, jak kapusta i ogórki o udziale około 1,5%, co prowadzi do obniżenia pH środowiska do pH 3,5–4. Obok bakterii mlekowych w fermentacji biorą udział drożdże i pleśnie, które bytują w warstwie powierzchniowej. Dodatek około 2% chlorku sodowego zwiększa efektywność



konserwowania kwasu mlekowego i korzystnie poprawia smak kiszonek. Dla ograniczenia rozwoju drożdży kożuchujących i pleśni stosuje się niekiedy kwas sorbowy w dawce około 0,05%.

3.3. Zniszczenie drobnoustrojów

Zabicie drobnoustrojów następuje, metodami termicznymi w rodzaju pasteryzacji i sterylizacji, metodami chemicznymi przez stosowanie chemicznych środków konserwujących oraz metodami fizycznymi przez działanie promieniami jonizującymi.

Do chemicznych środków konserwujących zalicza się takie indywidualne substancje chemiczne, które wywołują efekt destrukcyjny na drobnoustroje w dawkach mniejszych niż 0,2%, a niekiedy znacznie niższymi.

Ponadto każdy środek konserwujący nie może być szkodliwy dla zdrowia ludzi i nie powinien zmieniać wartości smakowo-zapachowej produktów. W związku z tym do konserwowania żywności dozwolone jest stosowanie ściśle określonych związków chemicznych w odpowiednio dopuszczalnych dawkach stosownie do rodzaju produktów konserwowanych. Chemiczne metody konserwowania mają charakter pomocniczy lub uzupełniający. To znaczy zwiększają efekt konserwujący wywołany innymi metodami. Środki konserwujące wywołują destrukcyjne zmiany w ścianie i błonie komórkowej drobnoustrojów, powodując plazmolizę lub denaturację białek. W przypadku soków owocowych, moszczów i przetworów z owoców i warzyw najpowszechniej stosuje się dwutlenek siarki w dawce 0,1-0,3% i kwas sorbowy lub jego sole w dawce 0,1-0,15%. Benzoesan sodowy stosuje się do konserwacji przetworów owocowych i margaryny w dawce 0,1%.

Mimo prowadzenia bardzo licznych prób konserwowania żywności metodą radiacyjną, polegającą głównie na napromieniowaniu żywności promieniami β i γ , wysyłanymi z reaktora kobaltowego Co^{60} , dotychczas metoda ta nie jest stosowana w szerszym zakresie. Badania podstawowe dotyczące wpływu promieniowania radiacyjnego na poszczególne składniki żywnościowe i organizmy wskazują, że pod wpływem nawet niewielkich dawek promieniowania przebiegają reakcje wolnorodnikowe, które stymulują przebieg procesów autooksydacji i kondensacji. Zmiany w składzie są zbliżone do następstw termicznego



utrwalania żywności, lecz mechanizm jest odmienny i nie do końca wyjaśniony. Istotny problem wynika z faktu, że liczne enzymy są odporne na oddziaływanie wysokich dawek promieniowania. Skutkiem tego w produktach po zniszczeniu drobnoustrojów, w toku dłuższego składowania, przebiegają reakcje enzymatyczne, wywołujące niepożądane zmiany konsystencji i smaku.

3.4. Usuwanie drobnoustrojów

Metody związane z usuwaniem drobnoustrojów z żywności polegają na ich mechanicznym oddzieleniu za pomocą filtrowania lub wirowania w ciekłych produktach żywnościowych. Skuteczne wyjaławianie cieczy za pomocą filtrów o ściśle określonych małych porach około $0,5 \mu\text{m}$ wymaga wstępnego termicznego wyjałowienia filtru wraz z urządzeniami pomocniczymi oraz wyeliminowanie możliwości wtórnego zakażenia. Filtracja tzw. abakteryjna jest poprzedzana przez procesy klarowania i prefiltrację, tj. filtrację wstępną zwykle w celu zmniejszenia obciążenia filtru głównego. Metody ultrafiltracji stosuje się do wyjaławiania moszczów oraz płynów infuzyjnych i w fermentacji.

W przemyśle mleczarskim stosuje się niekiedy metodę ultrawirowania do oddzielenia drobnoustrojów z mleka przeznaczonego do wyrobu serów twardych. W ultrawirówkach o przyspieszeniu odśrodkowym około 40 000 g można usunąć ponad 99,5% drobnoustrojów zawartych w mleku.

Z omówionych w skrócie metod utrwalania żywności największe zastosowanie do przemysłowego utrwalania żywności mają:

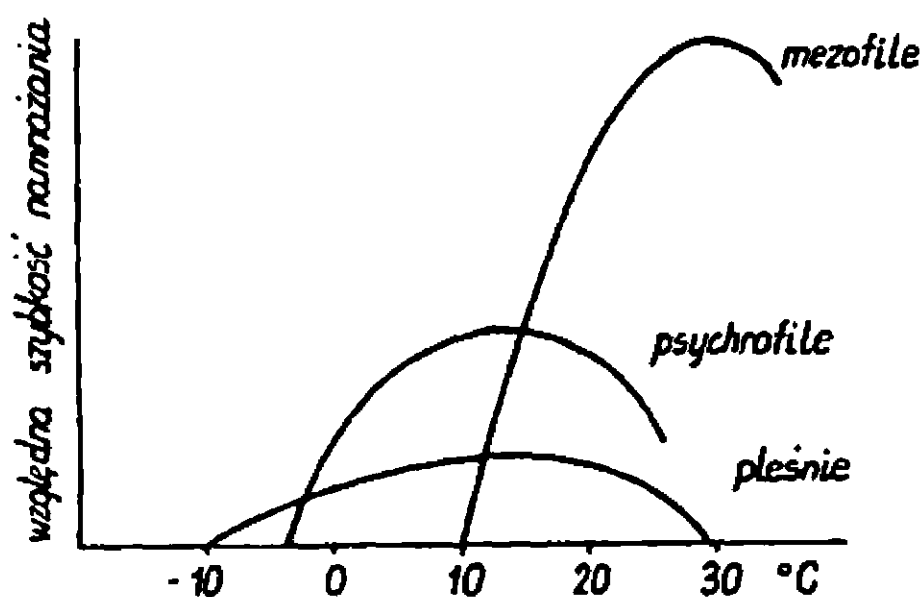
- utrwalanie żywności przez zamrażanie,
- termiczne utrwalanie żywności,
- osmoaktywne utrwalanie żywności.

3.5. Utrwalanie żywności przez zamrażanie

Podstawą utrwalania żywności przez obniżenie temperatury żywności jest fakt, że wraz ze zmniejszeniem temperatury o 10°C szybkość



reakcji chemicznych maleje 2,5 razy, w jeszcze większym stopniu maleje szybkość reakcji enzymatycznych oraz zmniejsza się względna szybkość namnażania drobnoustrojów, a po osiągnięciu odpowiednio niskiej temperatury następuje zahamowanie ich rozwoju (rys. 3.76). Obniżenie przykładowo temperatury od 20 °C do 0°C powoduje 6,25-krotne zwolnienie reakcji chemicznych i około 10-krotne zmniejszenie procesu oddychania. Dzięki temu, uwzględniając naturalną trwałość poszczególnych produktów żywnościowych, ich trwałość handlowa (towarowa) zwiększa się blisko dziesięciokrotnie. Niezbędnym warunkiem dostatecznej trwałości produktów przechowywanych w obniżonej temperaturze jest wysoka jakość surowców. Surowce roślinne muszą być świeże, o optymalnej dojrzałości technologicznej, nie uszkodzone i nie nadpsute.



Rys. 3.76. Względna intensywność namnażania niektórych drobnoustrojów w zależności od temperatury

W chłodniczych metodach przechowywania i utrwalania żywności wyróżnia się następujące rodzaje składowania w zależności od temperatury:

- chłodnictwo plusowe w zakresie temperatury +10 – –2°C,
- chłodnictwo minusowe w zakresie temperatury –10 – –20°C,
- zamrażalnictwo właściwe w zakresie temperatury –20 – –30°C.

Należy podkreślić, że chłodnicze przechowywanie żywności nie jest w dosłownym znaczeniu metodą utrwalania, lecz sposobem na przedłużenie dobrej jakości i uniknięcie strat żywności oraz metodę ułatwiającą obrót handlowy masowymi artykułami żywnościowymi o wielkiej trwałości.

Chłodnictwo plusowe ma zastosowanie w prawidłowym obrocie towarowym mleka, serów, masła, warzyw i owoców, wędlin oraz niektórych konserw mięsnych.

Chłodnictwo minusowe odgrywa największą rolę w składowaniu i obrocie handlowym mięsa i ryb oraz masła.

Zamrażalnictwo właściwe jest sposobem utrwalania żywności, który polega na szybkim zamrożeniu żywności do $-20 \div -30^{\circ}\text{C}$ i składowaniu w tej temperaturze przez określony czas i odpowiednim rozmrożeniu bezpośrednio przed obróbką kulinarną.

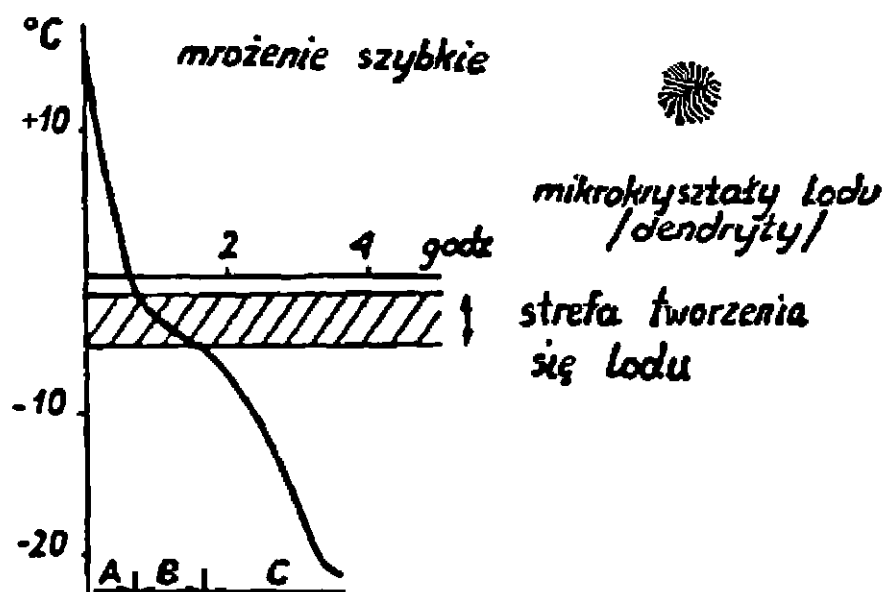
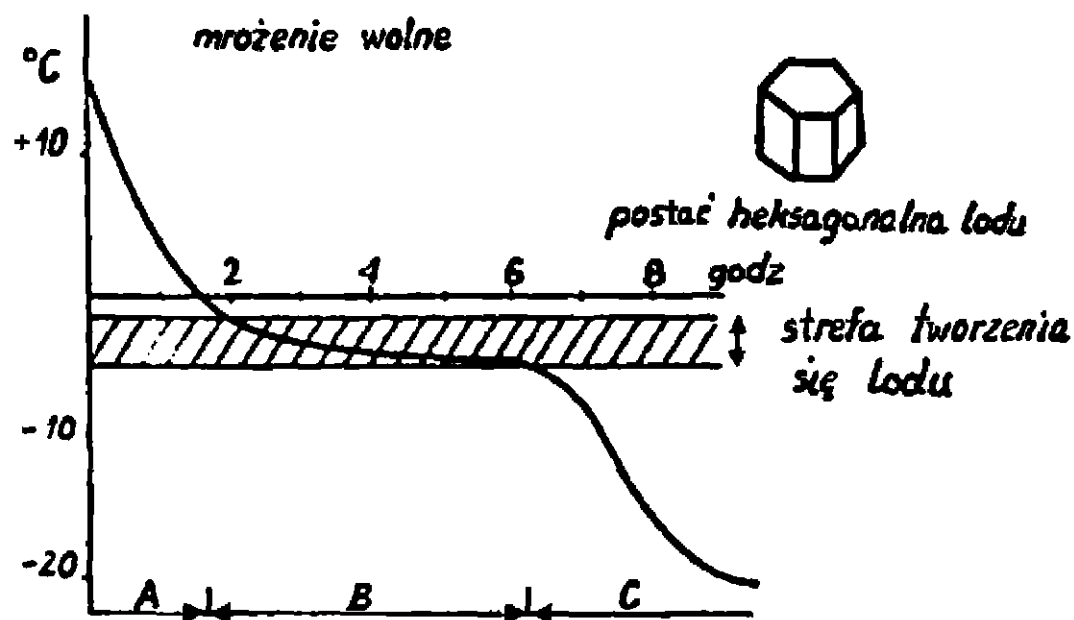
Zamrażanie żywności o budowie tkankowej jest zagadnieniem bardzo złożonym, wynikającym ze zmiany intensywności odprowadzania ciepła z najgłębszych warstw zamrażanego materiału oraz tworzenie się lodu z wody zawartej w soku komórkowym i roztworze międzykomórkowym, których skład zmienia się w toku krystalizacji wody.

Temperatura zamrażania większości naturalnych surowców roślinnych i zwierzęcych mieści się w granicach $-1 \div -4^{\circ}\text{C}$. Obniżenie temperatury zamrażania wody w roztworach przebiega zgodnie z prawem Raoult'a, tj. proporcjonalnie do molowego stężenia roztworu. W jednomolowym roztworze temperatura zamrażania wynosi $-1,87^{\circ}\text{C}$. W toku krystalizacji wody z roztworów następuje wzrost stężenia substancji rozpuszczonej, co powoduje, że dalsze wymrażanie wody może przebiegać przy coraz niższych temperaturach. Zmiany temperatury zamrażania wody w zależności od stężenia sacharozy pokazuje tabela:

Stężenie sacharozy w % wag.	10	20	30	40	50	60
temperatura zamrażania	-0,5	-1,5	-2,7	-4,5	-7,3	-12,0

Z tabeli widać, że w roztworze sacharozy o stężeniu 60% kryształły lodu mogą pojawiać się w temperaturze -12°C . Podobnie tkanki roślinne i zwierzęce zamrożone do temperatury -20°C zawierają jeszcze 20% wody w stanie ciekłym, a całkowite zamrożenie soku komórkowego następuje w temperaturze około -60°C , natomiast strefa maksymalnego powstawania kryształów lodu występuje w zakresie temperatury $-2 - -5^{\circ}\text{C}$. Zgodnie z teorią krystalizacji (2.2.5) szybkość krystalizacji i rozmiar kryształów zależą głównie od gradientu stężenia.





- A - strefa schładzania
- B - strefa zamrażania
- C - strefa domrażania

Rys. 3.77. Schemat powolnego i szybkiego zamrażania

W odniesieniu do warunków krystalizacji wody przez zamrażanie można oczekiwać, że przy powolnym schłodzeniu materiału od temperatury -2 do -5°C , będą powstawać duże kryształy lodu, natomiast przy szybkim schładzaniu powstanie wiele bardzo małych kryształów lodu. Doświadczalnie wykazano, że w toku powolnego zamrażania, tj. utrzymywania powolnego spadku temperatury od -2 do -5°C w ciągu

– 6 godzin (rys. 3.77) powstają duże heksagonalne kryształy lodu, które niszczą ściany komórek i powodują tworzenie się lodu międzykomórkowego. Zjawisko to z technicznego punktu widzenia jest niekorzystne, ponieważ w toku rozmrożenia następują znaczne straty soku komórkowego i znaczne pogorszenie struktury zamrożonego materiału. W przypadku (rys. 3.77) gdy strefa -2 do -5°C jest przekroczona o około 1 godzinę dzięki intensywnemu schładzaniu, wówczas tworzą się skupienia mikrokryształów lodu (dendrytów), nie niszczących ścian komórkowych. Dla zwiększenia intensywności odprowadzania ciepła są konieczne małe rozmiary materiału zamrażanego. Zwłaszcza jest korzystny kulisty kształt, jaki mają drobne owoce (porzeczki, wiśnie).

Z powyższych względów zamrażalnictwo jako jedna z najlepszych i najtańszych metod utrwalania żywności jest integralnie związane z szybkim, około jednogodzinnym przekraczaniem strefy maksymalnego powstawania lodu (temperatura -2 ÷ -5°C) w różnego rodzaju żywności o małych rozmiarach lub uformowanej w opakowania jednostkowe o masie $0,25$ – $0,5$ kg.

Za kryterium szybkości zamrażania przyjmuje się szybkość z jaką front formacji lodowej przesuwa się w głąb zamrażanego materiału. W przekroju danego materiału szybkość ta zmienia się wraz z odległością od powierzchni zewnętrznej. W praktyce zamrażalniczej częściej stosuje się określenie średniej szybkości zamrożonej warstwy d [cm] przez czas t zamrażania w [h],

$$W_{sr} = \frac{d}{t}$$

Za miarę grubości zamrażanego materiału przyjmuje się odległość termicznego środka produktu od oziębianej powierzchni. Termiczny środek produktu jest to punkt o najmniejszej szybkości zamrażania, czyli punkt najpóźniej zamrażający. Dla ciał jednorodnych pokrywa się z punktem geometrycznym.

Na podstawie powyższej średniej szybkości zamrażania wyróżnia się następujące rodzaje procesu zamrażania:

- powolne $0,1$ cm/h,
- szybkie 1 - 2 cm/h,
- gwałtowne 10 cm/h,
- bardzo gwałtowne 100 cm/h.



Istnieje wiele metod zamrażania i jeszcze więcej technicznych sposobów jego wykonania. Wyróżnia się trzy rodzaje metod z techniki prowadzenia procesu:

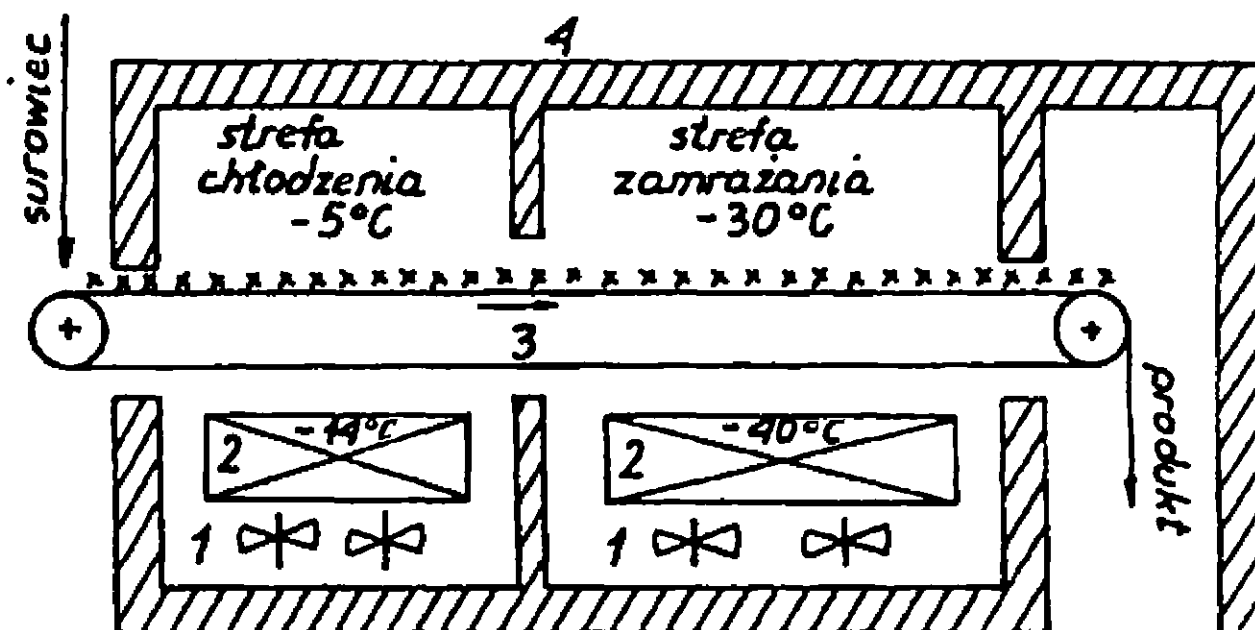
- 1) zamrażanie powietrzne,
 - a) owiewowe z zastosowaniem tuneli taśmowych;
 - b) fluidyzacyjne z zastosowaniem tuneli rynnowych,
- 2) zamrażanie kontaktowe,
 - a) płytowe,
 - b) taśmowe,
 - c) bębnowe;
- 3) zamrażanie immersyjne (zanurzeniowe),
 - a) w cieczech niewrzących (ciekły azot, powietrze lub CO₂),
 - b) w cieczech wrzących (freony).

Najpowszechniej stosuje się zamrażanie powietrzne. Powietrze jest nie dość dobrym medium chłodniczym ze względu na mały współczynnik przewodzenia ciepła (λ) i mały współczynnik wnikania ciepła (α). Poprawa współczynnika wnikania jest jednak możliwa przez intensyfikację ruchu powietrza. Cechami decydującymi o powszechności metod zamrażania w powietrzu są:

- uniwersalność aparatury,
- prostota konstrukcji,
- wysoki standard higieny,
- niskie koszty eksploatacyjne.

Z uwagi na sposób kontaktu strumienia zimnego powietrza z materiałem zamrażanym, zamrażanie prowadzi się metodą owiewową lub fluidyzacyjną. Zamrażanie metodą owiewową prowadzi się w tunelach zamrażalniczych o działaniu okresowym lub ciągłym. Na rysunku 3.78 przedstawiono schemat tunelu o działaniu ciągłym. Tunel składa się z przenośnika taśmowego o zmiennym liniowym przesuwie taśmy, dwusekcyjnej obudowy oraz instalacji do wymuszonego przepływu zimnego powietrza o kierunku krzyżowo-wirowym w stosunku do kierunku przesuwu taśmy. Przed tunelem znajduje się pomieszczenie wraz z urządzeniami do technologicznej obróbki surowców w rodzaju mycia, sortowania i ewentualnie pakowania. Następnie surowce są wprowadzane na przenośnik taśmowy, za pomocą którego są przemieszczane przez strefę chłodzenia o temperaturze około -15°C i strefę mrożenia o temperaturze około -40°C . Zamrożone produkty o tem-

peraturze $-20 \div -30^{\circ}\text{C}$ są w miarę potrzeby pakowane w opakowania zbiorcze, etykietowane i przesyłane do składowania w komorach zamrażalniczych o takiej samej temperaturze.



Rys. 3.78. Schemat tunelu zamrażalniczego

1 – wentylatory; 2 – parowniki; 3 – transporter siatkowy; 4 – obudowa termoizolacyjna

Podobnie lecz szybciej przebiega zamrażanie owoców jagodowych luzem w tunelu zamrażalniczym. Wymuszony ruch owoców odbywa się za pomocą odpowiedniego przenośnika drgawkowego. Mrożonki są następnie pakowane w opakowania jednostkowe i zbiorcze oraz umieszczone w komorach zamrażalniczych. Do bardzo szybkiego zamrażania owoców, zwłaszcza miękkich, bywa stosowana metoda immersyjna z zastosowaniem freonu. Ostatnio, ze względu na zanieczyszczenie atmosfery freonami, metoda ta jest stosowana w bardzo ograniczonym zakresie.

Żywność mrożona nie jest nieograniczenie trwała. Wprawdzie w stałej niskiej temperaturze rzędu $-20 \div -30^{\circ}\text{C}$ rozwój drobnoustrojów jest zahamowany i występuje często znaczny spadek liczby zwłaszcza bakterii, to jednak o pogarszającej się w toku składowania jakości żywności decydują zmiany chemiczne i biochemiczne. Zmiany chemiczne spowodowane są autooksydacją tłuszczów, zaś biochemiczne, działaniem hydrolaz i oksydaz. Na skutek działania tych enzymów, zbyt długo składowana żywność może mieć zmieniony zapach i podlegać powierzchniowemu ciemnieniu lub brunatnieniu.

W praktyce technologicznej mrożona żywność, w zależności od jej rodzaju, ulega systematycznej wymianie (rotacji). Po określonym czasie składowania jest kierowana do obrotu handlowego, zaś na zwolnione miejsce wprowadzana świeża.

Rozmrażanie mrozonek poprzedza zwykle ich obróbkę kulinarną tj, gotowanie lub smażenie. Proces rozmrażania powinien przebiegać w sposób jak najszybszy w celu wyeliminowania strat soku komórkowego w wycieku. Ze względu na częściowe zniszczenia budowy tkankowej produkty rozmrożone są bardzo podatne na działanie drobnoustrojów i są znacznie bardziej podatne na psucie niż takie same produkty nie mrożone. Dlatego jest niedopuszczalne, aby produkty rozmrożone były ponownie zamrażane i składowane.

Obrót żywnością mrożoną, mrożonkami odbywa się w systemie tzw. łańcucha chłodniczego, który uwzględnia możliwość przemieszczania mrożonych towarów pomiędzy różnymi obiektami chłodniczymi z zapewnieniem niezmięnionej niskiej temperatury do czasu użycia produktu mrożonego do celów kulinarnych.

Łańcuch chłodniczy składa się z następujących elementów:

- chłodnictwo technologiczno-produkcyjne (produkcja mrozonek),
- chłodnictwo składowe (gromadzenie i składowanie mrozonek),
- chłodnictwo w handlu i zakładach zbiorowego żywienia,
- chłodnictwo w gospodarstwie domowym,
- transport chłodniczy (urządzenia transportowe: wagony, samochody przewożące mrożonki pomiędzy poszczególnymi obiektami chłodniczymi).

Prognozy na najbliższe lata przewidują wzrost światowej produkcji mrożonej żywności. Powodem tego jest konieczność uchronienia przed zepsuciem około 30% żywności z zastosowaniem energochłonnej metody. Powszechnie uważa się, że składowanie chłodnicze jest najtańszą metodą ograniczonego w czasie utrwalania żywności, a zamrażanie najtańszą i najlepszą metodą właściwego utrwalania żywności. Natomiast zamrażalnictwo jest bardzo dobrą metodą zagospodarowania nietrwałej żywności.

3.6. Termiczne (cieplne) utrwalanie żywności

Termiczne utrwalanie żywności polega na doprowadzeniu do określonego rodzaju żywności takiej ilości energii cieplnej, która powoduje



technologicznie uzasadnione zniszczenia drobnoustrojów oraz uniemożliwia reinfekcję.

Zabieg termicznego utrwalania żywności może być wykonany dwoma sposobami:

a) przez umieszczenie żywności w zamkniętym naczyniu i sterylizację, tj. w procesie apertyzacji lub puszkowania,

b) przez sterylizację przepływową głównie żywności w postaci ciekłej i aseptyczne pakowanie, tj. w procesie fasteryzacji lub uperyzacji.

Podstawowym zadaniem termicznych metod utrwalania żywności jest zatem określenie warunków zniszczenia drobnoustrojów i ochrona gotowego produktu przed zakażeniem wtórnym.

Należy zauważyć, że żywe tkanki roślinne i zwierzęce są niemal sterylne i dopiero w trakcie zbioru lub rozdrabniania surowców następuje zanieczyszczenie powierzchni i uszkodzenie komórek i tkanek.

Na ogół na określonym surowcu (materiale) rozwija się określona flora bakteryjna, stosownie do składników żywnościowych, zawartości wody, pH, temperatury, dostępu tlenu itp.

Ze względu na przystosowanie drobnoustrojów do bytowania i rozwoju w określonym środowisku (pH) dzieli się żywność na trzy grupy (w nawiasie podano typową florę szkodliwą):

- | | | |
|--|-----------|---------------------------------------|
| a) żywność mało kwaśna
lub niekwaśna, np. mięso,
mleko, warzywa białkowe | pH
4,5 | mikroflora
(Clostridium botulinum) |
| b) żywność kwaśna, np.
pomidory, gruszki | 3,7 ÷ 4,5 | (bakterie kwasu
masłowego) |
| c) żywność bardzo kwaśna,
np. owoce kwaśne, kapusta
kwaszona | 3,7 | (bakterie mlekowe,
pleśnie) |

Niezależnie od pH żywność jest botulinogenna, gdy jej aktywność wodna wynosi $a_w > 0,85$. Ta granica zawiera bardzo dużą rezerwę, ponieważ Clostridium botulinum nie występuje już praktycznie, gdy $a_w < 0,94$. Odpowiada to aktywności około 10% roztworu NaCl i 68% roztworu sacharozy.

Termiczna inaktywacja (niszczenie) drobnoustrojów następuje po przekroczeniu maksymalnej temperatury rozwoju drobnoustrojów lub co jest równoważne przekroczeniu tzw. minimalnej temperatury letalnej



oraz doprowadzenie optymalnej dawki energii cieplnej wyznaczonej określoną temperaturą i czasem jej utrzymywania. Dawka energii cieplnej wymaga ścisłego określenia z następujących względów:

- a) różne drobnoustroje giną przy różnej dawce energii i zniszczeniu muszą ulec najbardziej szkodliwe w danym środowisku,
- b) zbyt mała dawka energii jest nieskuteczna,
- b) zbyt duża dawka energii jest zbędna i powoduje niepożądane skutki uboczne w odniesieniu do niektórych składników żywności.

3.6.1. Kryteria inaktywacji

Inaktywacja cieplna drobnoustrojów, enzymów oraz rozkład związków organicznych podlega równaniu kinetycznemu na szybkość reakcji I rzędu

$$\frac{dx}{dt} = k(a - x).$$

W przypadku inaktywacji cieplnej wartość (a) jest rozumiana jako początkowa liczba drobnoustrojów w jednostce objętości, np. 1 cm³ i może być oznaczona symbolem (N_o), N – aktualna liczba drobnoustrojów.

(a - x) – jest liczbą drobnoustrojów pozostałych przy życiu po czasie τ, stąd:

$$\frac{dN}{d\tau} = -kN,$$

$$\int_{N_o}^N \frac{dN}{N} = -k \int_0^{\tau} d\tau, \quad \int_N^{N_o} \frac{dN}{N} = k \int_0^{\tau} d\tau,$$

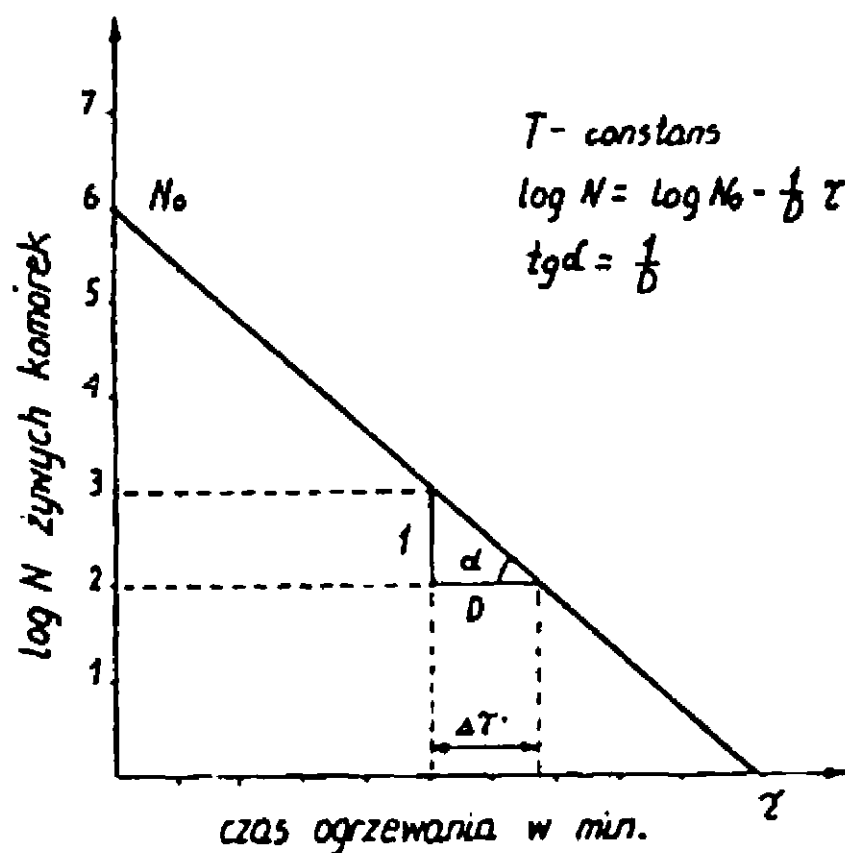
$$\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{N_o}{N} = \frac{1}{k} \ln 10 \log \frac{N_o}{N},$$

$$\tau = D \log \frac{N_0}{N} \quad \text{lub} \quad \log N = \log N_0 - \frac{1}{D} \tau$$

stosunek $\frac{N_0}{N}$ jest nazywany wskaźnikiem inaktywacji cieplnej.

W układzie półlogarytmicznym ostatnia postać równania ma charakter prostej $y = a + b$, w którym $b = -\frac{1}{D}$.

Postać graficzna równania jest przedstawiona na rys. 3.79. Zgodnie z wykresem wielkość D oznacza czas w min., po którym w danej temperaturze liczba bakterii zmniejszy się dziesięciokrotnie, tj. o dekadę. Wielkość D nazywa się współczynnikiem odporności cieplnej lub czasem redukcji dziesiętnej.

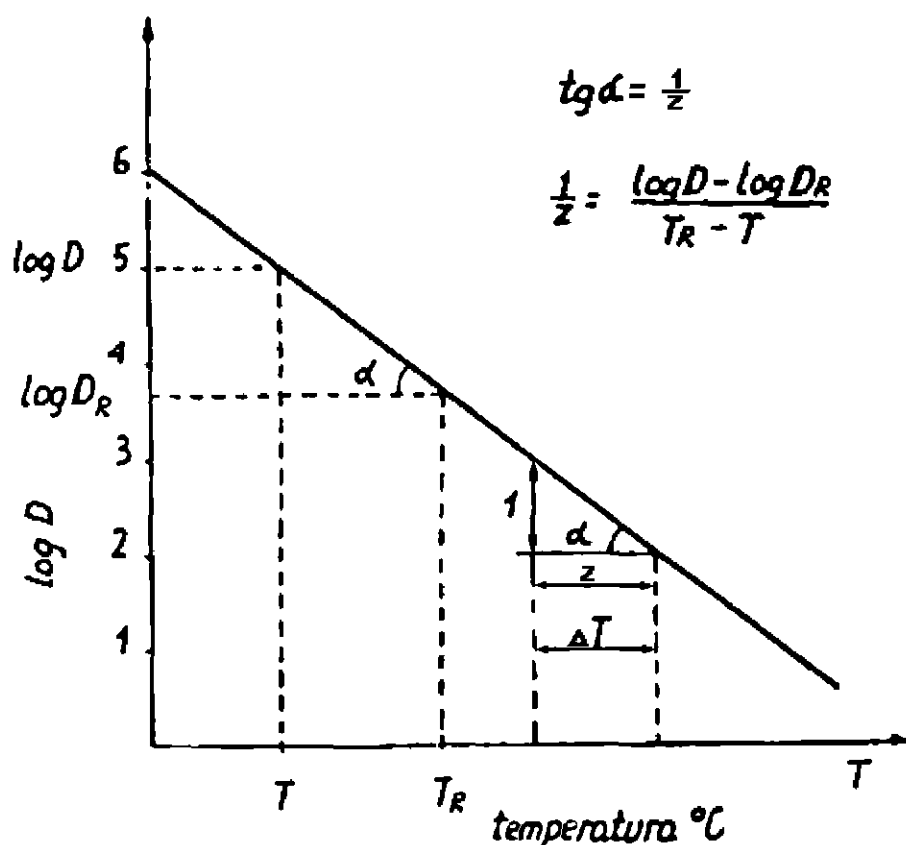


Rys. 3.79. Linia retencji żywych drobnoustrojów inaktywowanych w stałej temperaturze

Doświadczalnie stwierdzono, że wartość D zmienia się w zależności od temperatury według równania (rys. 3.80)

$$\log D = \log D_0 - \frac{1}{z} T.$$

Równanie to w układzie logarytmicznym ma postać prostej, w którym parametr $B = -\frac{1}{z}$. Wartość (z) oznacza zatem zakres temperatur (w K lub °C), któremu odpowiada dziesięciokrotne zmniejszenie odporności cieplnej danego rodzaju drobnoustrojów.



Rys. 3.80. Zmiana wartości odporności cieplnej drobnoustrojów (D) w zależności od temperatury

Także doświadczalnie wykazano, że wartość (D) zmienia się w zależności od pH, a zależność ma charakter krzywej przedstawionej na rys. 3.81.

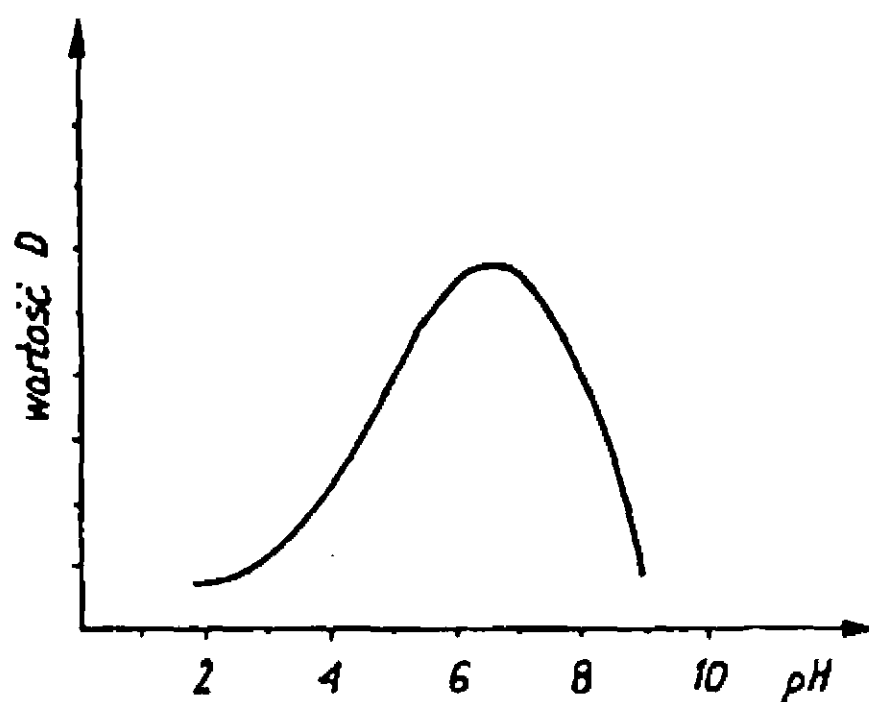
Obydwa wyżej przedstawione równania służą za podstawę do opracowania kryteriów sterylizacji przemysłowej.

Z równania $\tau = D \log \frac{N_0}{N}$ można wyliczyć czas ogrzewania w stałej temperaturze (T), wyższej od minimalnej letalnej, po którym nastąpi redukcja liczby drobnoustrojów o (m) cykli logarytmicznych ($m = \frac{N_0}{N}$); czyli $\tau = mD$.

W procesie produkcyjnym pożądaną liczbę cykli wylicza się z wzoru:

$$m = \log N_0 + pN + \log V,$$

gdzie: N_0 – liczba przetrwalników 1 mm³ żywności przed sterylizacją,
 $pN = -\log N = 10^{-6}$ oznacza, że po wykonaniu sterylizacji w 1 dm³ nie może być więcej niż 1 przetrwalnik,
 V – objętość jednostkowa żywności sterylizowanej [cm³].



Rys. 3.81. Charakter zmian odporności cieplnej drobnoustrojów (D) w zależności od pH

Przykładowo, dla objętości puszkii 1 dm³ o początkowej liczbie przetrwalników 10³ w 1 mm³ wielkość $m = \log 10^3 - \log 10^{-6} + \log 10^3 = 12$.

Na podstawie wielu doświadczeń sterylizacji stwierdzono, że w przypadku najbardziej niepożądanego drobnoustroju w konserwach, tj. *Clostridium botulinum* czas F_0 niezbędny do zabicia przetrwalników do poziomu 1/dm³, w temperaturze 121,1°C = 250°F wynosi 2,8 min. dla $V = 0,1$ dm³ i 3,0 min. dla $V = 1$ dm³. W temperaturze 121,1°C współczynnik oporności cieplnej wynosi $D_0 = 0,25$, a wielkość $Z = 7,7$ °C jest stała dla temperatury w zakresie 100–140°C.

Zatem dla stałej temperatury z niniejszego zakresu i takiej samej redukcji dziesiętnej (m) będzie spełniona zależność:

$$F_0 = m D_0,$$

$$\tau = mD,$$

stąd

$$F_o = \frac{D_o}{D}.$$

Liczba F_o wyrażana w minutach nosi nazwę liczby sterylizacji lub równoważnika czasowego sterylizacji.

W procesach wyjaławiania żywności utrzymanie stałej temperatury dotyczy tylko nielicznych procesów. Zwykle w czasie ogrzewania temperatura wzrasta, następnie utrzymuje się na stałym poziomie i w toku chłodzenia obniża się. Uzyskuje się więc określoną sumę cząstkowych efektów izotermicznych, wynikających z oddziaływania temperatury w określonych odstępach czasu. Profil temperatury ogrzewanego materiału musi być zatem dokładnie znany i wyznaczony w środku termicznym (geometrycznym).

Oporność cieplna D zmienia się wraz z temperaturą zgodnie z równaniem zilustrowanym na rys. 3.80..

$$\frac{1}{z} = \frac{\log D - \log D_o}{T_o - T}$$

$$\frac{\log D}{\log D_o} = \frac{T_o - T}{z} \quad \text{lub} \quad \log \frac{D_o}{D} = \frac{T - T_o}{z}$$

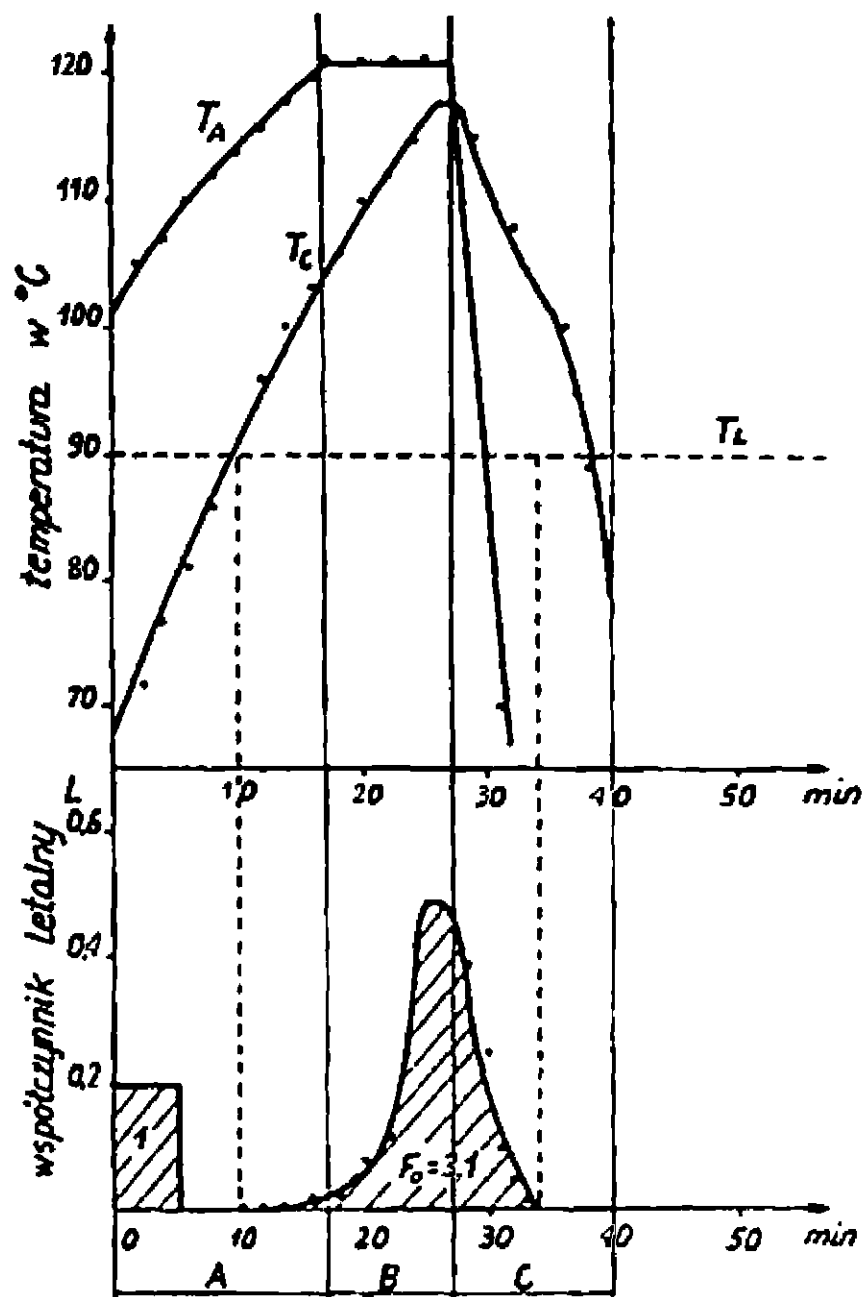
oraz

$$\frac{D_o}{D} = 10^{\frac{T - T_o}{z}} \quad \text{i} \quad L = 10^{\frac{T - T_o}{z}}$$

Wielkość $D_o/D = L$ jest względnym współczynnikiem inaktywacji lub współczynnikiem letalnym określającym ile razy oporność cieplna danego drobnoustroju jest większa lub mniejsza niż w temperaturze odniesienia. Dla *Clostridium botulinum* przyjmowana jest temperatura odniesienia 121,1°C.

Dla dynamicznej zmiany temperatury $T = f(\tau)$, następuje również sumowanie cząstkowych izotermicznych efektów sterylizacji:

$$dF_0 = \frac{D_r}{D} d\tau \quad \text{stąd} \quad F_0 = \int_0^{\tau} \frac{D_r}{D} d = L \int_0^{\tau} d\tau.$$



- T_A - temperatura autoklawu
- T_c - temperatura centrum termicznego
- T_L - temperatura letalna
- A - podgrzewanie
- B - okres operacyjny
- C - schładzanie

Rys. 3.82. Sposób wyznaczania równoważnika czasowego sterylizacji (F_0) metodą graficzną

Żywność jest zatem skutecznie wyjałowiona według przyjętego kryterium; 1 przetrwalnik w 1 dm³, gdy wartość liczbowa $F_0 = mD_0$. Wartość cykli znajduje się metodą graficzną lub arytmetyczną. Obliczenie równoważnika czasowego sterylizacji F_0 według wariantu

graficznego rys. 3.82 wykonuje się na podstawie:

- zmiany temperatury centrum termicznego w czasie ogrzewania i chłodzenia żywności puszkowanej,
- wyznaczania wartości całki na podstawie pomiaru pola powierzchni utworzonego przez iloczyn współczynnika letalnego (L) i czasu sterylizacji w minutach.

W odniesieniu do bakterii *Clostridium botulinum* zmiana współczynnika letalnego (L) od temperatury jest następująca:

temp. [°C]	90	100	110	115	120	121,1	125	130	140
L	0,0008	0,0077	0,077	0,24	0,77	1,0	2,44	7,7	77

Zalecana wartość czasowego równoważnika sterylizacji (F) w min dla wybranych warunków sterylizacji puszek o objętości 1 dm³ jest następująca:

	temperatura sterylizacji			
	110	115	122	127
wartość obliczona F_0	5,7	4,6	3,9	3,6
wartość przeciętna F_h (handlowa)	5,5	5,1	4,7	4,4
wartość bardzo dużej F_s pewności sterylizacji	8,6	7,8	7,2	6,8

3.6.2. Technologia puszkowania (apertyzacji)

Proces technologiczny związany z produkcją wyrobów puszkowanych można podzielić na następujące etapy:

- przygotowanie surowców,
- przygotowanie opakowań,
- napełnianie opakowań,
- odpowietrzanie,
- sygnowanie i przymykanie,
- zamykanie naczyń,
- sterylizacja i chłodzenie,

- termostatowanie,
- etykietowanie,
- magazynowanie.

Występują znaczne różnice w przydatności poszczególnych surowców zwłaszcza roślinnych, a nawet odmian, do produkcji wyrobów puszkowanych. Z kolei rodzaj surowca, jego skład chemiczny, właściwości smakowe i fizyczne determinują typ konserw i warunki prowadzenia sterylizacji. Podstawowymi surowcami do sporządzania różnego typu wyrobów puszkowanych są: owoce, warzywa, ryby, mięso i mleko. Owoce służą do produkcji kompotów, warzywa do produkcji konserw ciętych (sałatek), przecierów i koncentratów. Mięso i ryby używane do produkcji konserwowanych mas przecieranych, rozdrabnianych lub prasowanych. W związku z tym, operacje technologiczne związane z przygotowaniem surowców do puszkowania są zróżnicowane i niekiedy złożone.

Wielkość opakowań oraz ilość napełnienia głównym składnikiem tzw. wsadu zalewy są ściśle określone odpowiednimi normami zakładowymi lub branżowymi. Przykładowo do wyprodukowania 1 kg kompotu zużywa się około 0,6 kg owoców i 0,2 kg cukru w postaci roztworu sacharozy o stężeniu 30% – 60%. Tak zwana zalewa jest stosowana do produkcji konserw, w których produkt główny, wsad, nie wypełnia szczelnie naczyń. Celem stosowania zalewy jest usunięcie powietrza, unieruchomienie konserwy oraz podniesienie jej cech organoleptycznych. W konserwach mięsnych zalewą może być osolona woda, roztwór żelatyny oraz różne sosy.

Ważną operacją technologiczną jest odpowietrzanie konserw, tj. usunięcie powietrza z naczynia i jego zawartości. Mała ilość pozostawionego powietrza uniemożliwia przebieg procesów utleniania, ogranicza korozję puszek metalowych i zmniejsza możliwość rozwoju pojedynczych przetrwalników bakteryjnych. Zamykanie puszek i słoików, odpowiednio oznakowanych, odbywa się maszynowo za pomocą urządzeń dostosowanych do rodzaju opakowań i wielkości.

Następnie zapuszkowana żywność jest poddawana sterylizacji w okresowych lub ciągłych autoklawach, w warunkach dokładnie ustalonych, które zapewniają tzw. sterylność handlową, rozumianą w ten sposób, że tylko nie więcej niż np. 0,1% puszek nie wykazuje dostatecznej trwałości. W celu oceny skuteczności sterylizacji, z każdej partii sterylizowanej żywności pobiera się reprezentatywnie wybrane



jednostkowe opakowanie i poddaje się próbie termostatowania w temperaturze 37–40°C w czasie 3–8 dni. Na podstawie pozytywnych wyników termostatowania, dana partia gotowego wyrobu jest dopuszczana do obrotu handlowego.

3.6.3. Technologia sterylizacji przepływowej metodą UHT

Określenie sterylizacja UHT (ultra high temperature, Ultrahochhit-zung) oznacza, że sterylizowany homogenny materiał (zwykle ciecz) jest poddawany ogrzewaniu w bardzo wysokiej temperaturze 135–140°C przez 2–4 sekundy, po czym zostaje schłodzona do temperatury 20°C, umieszczona w sterylnym zbiorniku i zapakowana aseptycznie do pojedynczych opakowań.

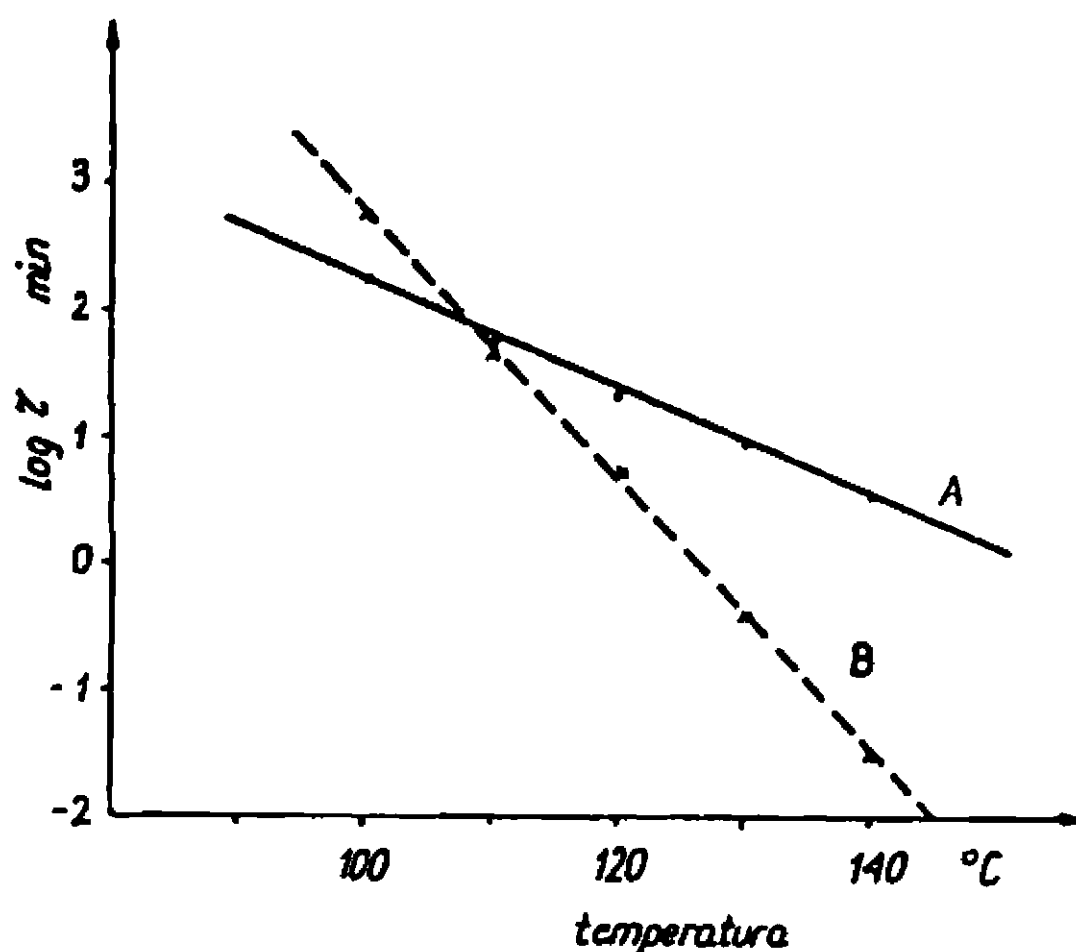
Atrakcyjność tego rodzaju sterylizacji wynika z dwóch następujących powodów:

- zmiany destrukcyjne bardzo wysokiej temperatury, powyżej 130°C, na drobnoustroje przebiegają względnie szybciej niż reakcje powodujące degradację składników żywności (rys. 3.83),
- w temperaturze około 140°C liczbowa wartość czasowego równoważnika sterylizacji wynoszącą 3 minuty można uzyskać w 2,5 s.

Doświadczenia dotyczące głównie sterylizacji mleka wykazały, że w temperaturze 135–140°C uzyskuje się wysoki stopień sterylizacji z minimalnym przebiegiem reakcji brunatnienia. Równomierne ogrzanie cieczy do jeszcze wyższej temperatury i utrzymanie krótszego czasu sterylizacji jest technicznie trudne do wykonania. Sterylizacja metodą (UHT) w połączeniu z aseptycznym pakowaniem pozwala na uzyskanie produktu o dużej trwałości i minimalnych zmianach koloru, smaku i zapachu. Warunkiem niezbędnym skuteczności tego typu sterylizacji jest homogenność materiału. W przypadku sterylizacji zawiesiny ciała stałego o średnicy cząstek 2 cm w cieczy wykazano, że dla uzyskania równoważnika czasowego 3,5 min. ciało stałe musi być utrzymywane przez 30 sekund, w tym czasie zaś (F_0) dla cieczy osiąga wartość dziesięciokrotnie wyższą (35 min.), a to wyraźnie wpływa na zmianę właściwości organoleptycznych. Metodę (UHT) najpowszechniej stosuje się w mleczarstwie do produkcji mleka o przedłużonej trwałości, tzw. mleko UHT. Jest to sterylizowane i homogenizowane



mleko pakowane w sterylnych warunkach w opakowania światłochłonne z tworzyw sztucznych trwałe w temperaturze pokojowej przez okres czterech tygodni.



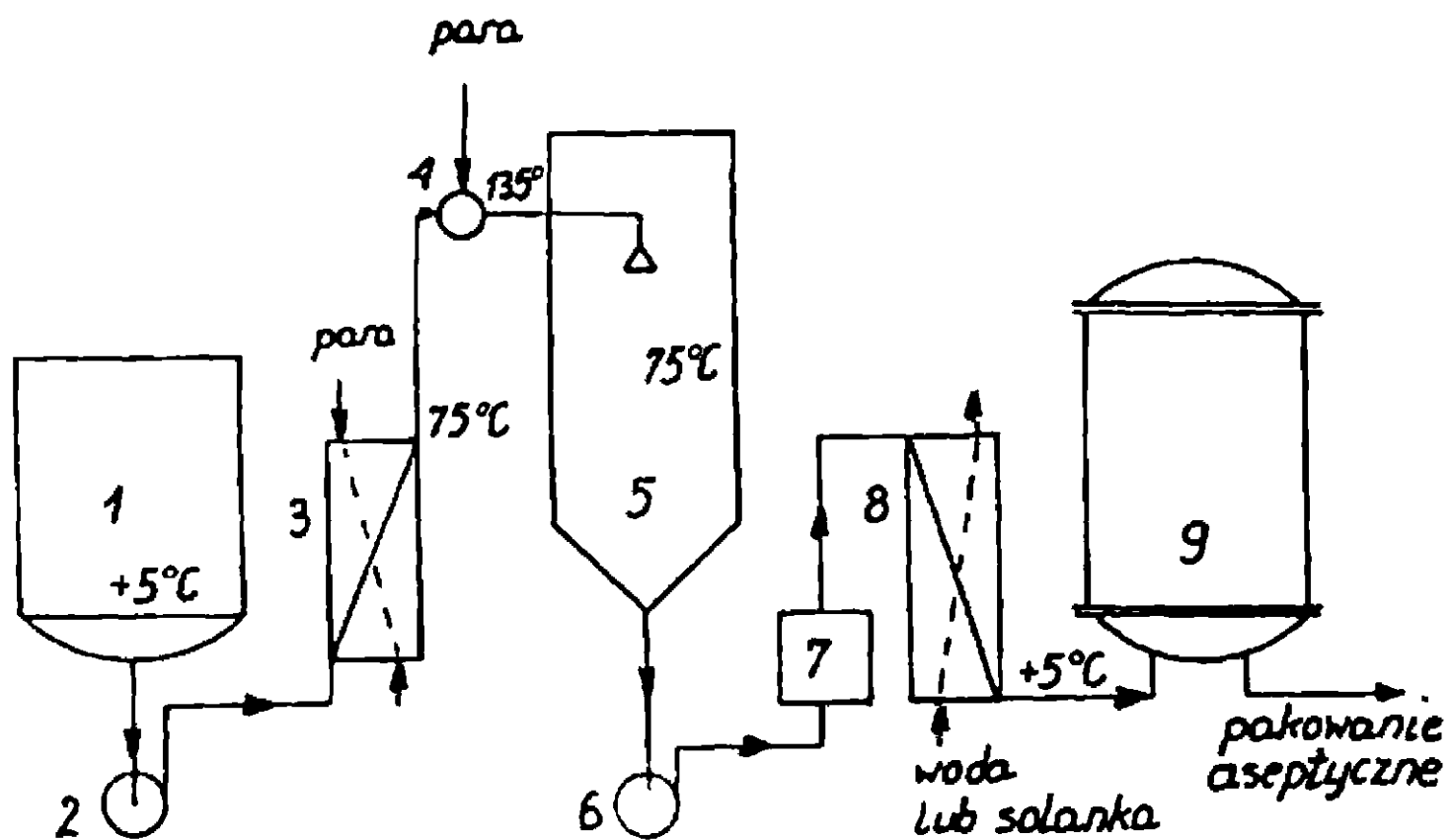
Rys. 3.83. Wpływ temperatury na degradację składników żywności (A) oraz na inaktywację drobnoustrojów

Techniczne metody podgrzewania mleka do wysokiej temperatury i momentalne ochładzanie są różnorodne. Zasadniczo wyróżnia się cztery sposoby:

- 1) Pośrednia wymiana ciepła, zwłaszcza w potrójnych rurowych wymiennikach ciepła dających pierścieniowy kanał przepływu mleka,
- 2) Bezpośrednia wymiana ciepła przez wtrysk pary do mleka lub mleka do pary,
- 3) Metody dielektryczne,
- 4) Metody z wykorzystaniem ciepła tarcia.

Najmniej skomplikowane pod względem technicznym i technologicznym są metody bezpośredniej wymiany ciepła. Stosuje się dwie metody podgrzewania: para jest wtryskiwana w strumień produktu lub produkt jest rozpylany w komorze parowej posiadającej pożądaną

temperaturę. W obydwu przypadkach para jest kondensowana w punkcie oddając ciepło „utajone” z równoczesnym podgrzewaniem produktu. Czas podgrzewania wynosi niecałą sekundę. Skondensowana para powoduje rozcieńczenie produktu i z tego powodu tyle samo wody musi być usunięte z mleka. Dokonuje się to przez wprowadzenie gorącego rozcieńczonego mleka do komory próżniowej, co dodatkowo gwałtownie mleko schładza. W obydwu metodach mleko jest wstępnie podgrzewane w wymienniku płytowym do temperatury 80°C i po zmieszaniu z parą temperatura około 135°C jest utrzymywana około 3–4 sekundy. Do kontroli temperatury i czasu, niezbędny jest określony układ samoczynnego sterowania. Stopień odparowania wody w komorze próżniowej, przy stałym ciśnieniu jest regulowany temperaturą odparowania wody. Podczas odparowania wraz z wodą są częściowo usuwane niektóre składniki aromatu, które zmieniają nieco zapach gotowego mleka. Obróbka termiczna mleka powoduje nieznaczne zmiany molekularnej struktury białek; częściową denaturację albuminy oraz zmiany w stabilności rozproszonej fazy tłuszczowej.



Rys. 3.84. Schemat instalacji do produkcji mleka UHT

1 - zbiornik; 2, 6 - pompy; 3, 8 - wymienniki ciepła; 4 - inżektor; 5 - komora próżniowa; 7 - homogenizator; 9 - aseptyczny zbiornik mleka UHT

Z powyższych względów mleko po opuszczeniu komory próżniowej jest poddawane homogenizacji, końcowemu schładzaniu i jest magazynowane w sterylnym zbiorniku. Ze zbiornika w aseptycznych warunkach jest pakowane do opakowań jednostkowych. Schemat instalacji do produkcji mleka UHT jest przedstawiony na rys. 3.84. Technikę UHT stosuje się także do produkcji wysokiej jakości ciekłych homogenizowanych preparatów odżywczych np. dla dzieci i preparatów dietetycznych. Sposób ten ma także zastosowanie do pasteryzacji ciekłych półproduktów, przecierów z owoców lub warzyw, które następnie są przechowywane w stanie zamrożonym w postaci niewielkich kostek, a następnie w miarę potrzeby są pobierane do bieżącej produkcji wyrobów złożonych z poszczególnych półproduktów. Połączenie zatem dwóch nowoczesnych metod utrwalania umożliwia produkcję żywności wysokiej jakości.

3.7. Osmoaktywne utrwalanie żywności

Osmoaktywne metody utrwalania żywności polegają na zahamowaniu rozwoju drobnoustrojów dzięki zwiększeniu ciśnienia osmotycznego fazy wodnej produktu przez zateżnienie, dodanie cukru lub dodanie soli kuchennej. W toku zateżnienia lub dosładzania następuje zwykle oddziaływanie ciepła, a także następuje wzrost aktywności jonów wodorowych.

Produkty utrwalane metodami osmoaktywnymi mają postać gęstych syropów, past i ciał półpłynnych lub mazistych. Są trwałe w sposób ograniczony i dla zwiększenia trwałości dodaje się niekiedy konserwantów, które zapobiegają zwłaszcza pleśnieniu warstw powierzchniowych.

Do metod osmoaktywnych nie zalicza się procesu suszenia, którego celem jest uzyskanie zwykle produktu o konsystencji stałej, w którym końcowa zawartość wody waha się w szerokich granicach od 20% np. w mące ziemniaczanej do 0,05% w cukrze białym. Zawartość wody zależy bowiem od struktury materiału wysuszonego i jego właściwości adsorpcyjnych i higroskopijności. Zatem nieograniczenie trwały susz w postaci mączki ziemniaczanej zawiera więcej wody niż niecałkowicie odporny na pleśnienie koncentrat w postaci syropu skrobiowego o zawartości wody 16%.



Większość bakterii i drożdży nie rozwija się przy stężeniu sacharozy około 65% wagowych, natomiast pleśnie z rodzaju *Aspergillus* i *Penicillium* mogą się rozwijać przy stężeniu s.s. ponad 80%, jeżeli wilgotność względna powietrza nad roztworem wynosi ponad 65%. Zjawisko takie może nastąpić przy skraplaniu się pary wodnej w naczyniach zamkniętych przeniesionych z miejsca cieplejszego w chłodniejsze.

Osmoaktywne metody utrwalania żywności związane z zateżaniem mają zastosowanie w przemyśle owocowo-warzywnym do produkcji koncentratów soków owocowych, powideł, past i koncentratów warzywnych. Są także stosowane w mleczarstwie do produkcji mleka zagęszczonego i w przemyśle ziemniaczanym do produkcji syropów skrobiowych. Proces zateżania cieczy i zawiesin prowadzi się w wyparkach próżniowych okresowych i ciągłych.

Typowym przykładem zastosowania cukru jako wyłącznego środka konserwującego jest produkcja syropów owocowych. Syropy owocowe otrzymuje się przez połączenie 40 części wagowych klarownych soków z 60 częściami wagowymi krystalicznego cukru. Uzyskuje się syrop o stężeniu około 68% s.s.

W przemyśle przetworów owocowych najpowszechniej stosuje się metodę osmoaktywnego utrwalania przez umiarkowane zateżanie w połączeniu z dodatkiem cukru krystalicznego lub syropu cukrowego. W ten sposób produkuje się konfitury i owoce w cukrze, dżemy, marmolady, galaretki owocowe. Stężenie s.s. wynosi zwykle 65–68%, a udział wagowy owoców wynosi 40–50%. Owoce o niedostatecznej zawartości pektyn w czasie wyrobów dżemu są wzbogacane w ten składnik przez dodanie preparatu żelującego.

Osmoaktywne utrwalanie za pomocą chlorku sodowego dotyczy żywności, zwłaszcza pochodzenia zwierzęcego: mięso, słonina, ryby, białkowe przyprawy do zup oraz surowców warzywnych, szczególnie warzyw smakowych. Chlorek sodowy ma większą zdolność hamowania rozwoju drobnoustrojów niż cukier. Roztwór NaCl o stężeniu 1% jest izotoniczny z 11% roztworem sacharozy. Rozwój bakterii gnilnych z rodzaju *Proteus* jest hamowany przy stężeniu około 1% NaCl. Bakterie mlekowe i drożdże mogą się jednak rozwijać przy stężeniu chlorku sodowego 12–15%. W praktyce dopiero przy stężeniu 18–20% NaCl uzyskuje się pełny efekt konserwujący. Sól kuchenna w podanym wyżej stężeniu w zetknięciu z tkankami roślinnymi i zwierzęcymi powoduje zjawisko egzoosmozy, tj. odciąganie wody z komórek

i utratę półprzepuszczalności błon komórkowych. Następuje mieszanie się roztworu chlorku sodowego z sokiem komórkowym. Wiąże się to ze znacznym ubytkiem rozpuszczalnych w wodzie składników konserwowanego produktu. Zatem konserwowanie żywności za pomocą NaCl jest na ogół nieracjonalne i stosowane jest z konieczności. Sposób ten jest uzasadniony, gdy produkt solony w całości jest używany do celów spożywczych, jak np. solony bulion w kostkach, solone warzywa itp.

Właściwe jest także stosowanie soli kuchennej przy sporządzaniu warzyw kiszonych. Sól kuchenna w tym przypadku umożliwia powolny przebieg fermentacji mlekowej, działa konserwująco przez ograniczenie rozwoju bakterii proteolitycznych i jest substancją smakową.



4. WYBRANE DZIAŁY PRZEMYSŁU SPOŻYWCZEGO (PRZYKŁADY)

4.1. Cukrownictwo

Cukrownictwo jest działem przemysłu, w którym produkuje się cukier z buraków lub trzciny cukrowej. W strefie klimatu umiarkowanego, a w tym i w Polsce, surowcem cukrowniczym są wyłącznie buraki cukrowe.

Procesy technologiczne w cukrownictwie można usystematyzować przez zgrupowanie ich w kilku oddziałach produkcyjnych, a mianowicie:

- oddział wstępnego przygotowania buraków do przerobu,
- oddział otrzymywania i oczyszczania soków cukrowniczych,
- oddział zatężania soków,
- oddział krystalizacji i wydzielania cukru,
- oddział produkcji rafinady,
- oddział przetwórstwa wysłodków,
- oddział przygotowania wapna i gazu saturacyjnego.

4.1.1. Skrócony opis procesów technologicznych otrzymywania cukru z buraków

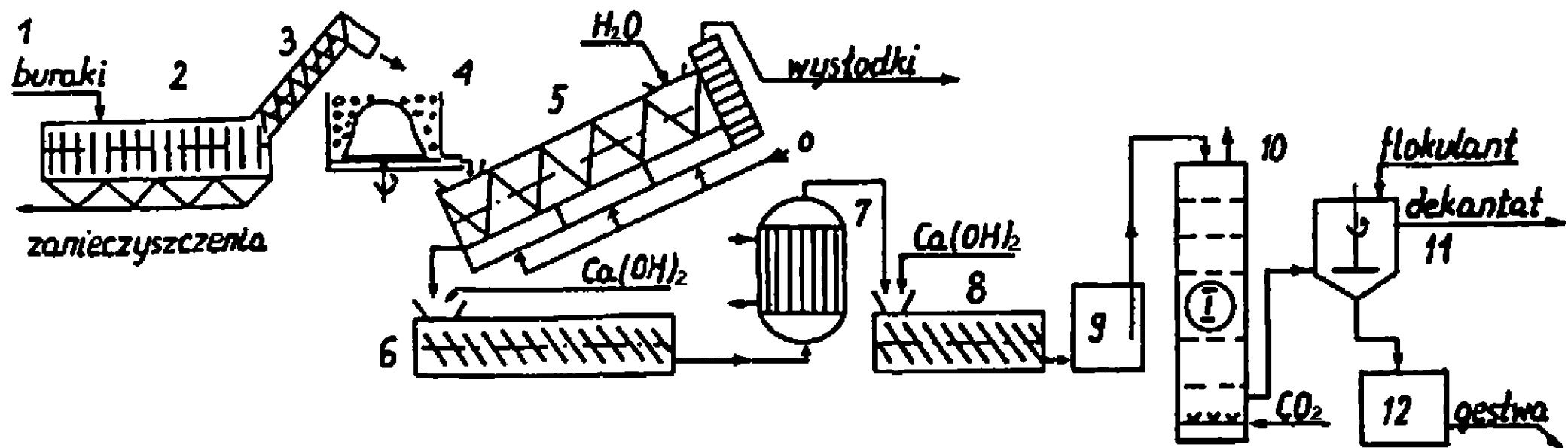
Korzenie buraczane kierowane bezpośrednio do przerobu są składowane w specjalnych składowiskach fabrycznych wyposażonych w splawiaki. Splawiaki są tak zbudowane (rys. 4.85), że zapewniają możliwość

wyładunku i transportu hydraulicznego buraków. Transportem wodnym korzenie buraczane są kierowane do wstępnego oczyszczania polegającego na usunięciu kamieni i ziemi oraz zanieczyszczeń lekkich w postaci liści, słomy itp. Wstępnie oczyszczone korzenie buraczane (1) są kierowane przez splawiaki transportem wodnym do płuczki (2). Umyte w płuczce buraki i odsączone od wody są transportowane do rozdrabniania (3). Rozdrabnianie buraków polega na wytworzeniu z nich w specjalnej krajalnicy (4) krajanki zapewniającej optymalny przebieg dyfuzji i ekstrakcji cukru. Krajanka z krajalnicy jest kierowana do ekstraktora (5), w którym odbywa się przeciwprądowy proces ekstrakcji cukru. Po drodze między krajalnicą a ekstraktorem krajanka jest automatycznie ważona za pomocą wagi wmontowanej w transporter taśmowy. Ekstraktor opuszczają wysłodki czyli wyekstrahowana krajanka oraz sok surowy, który jest roztworem wodnym cukru (o stężeniu około 15%) i substancji stanowiących składniki soku komórkowego (niecukry).

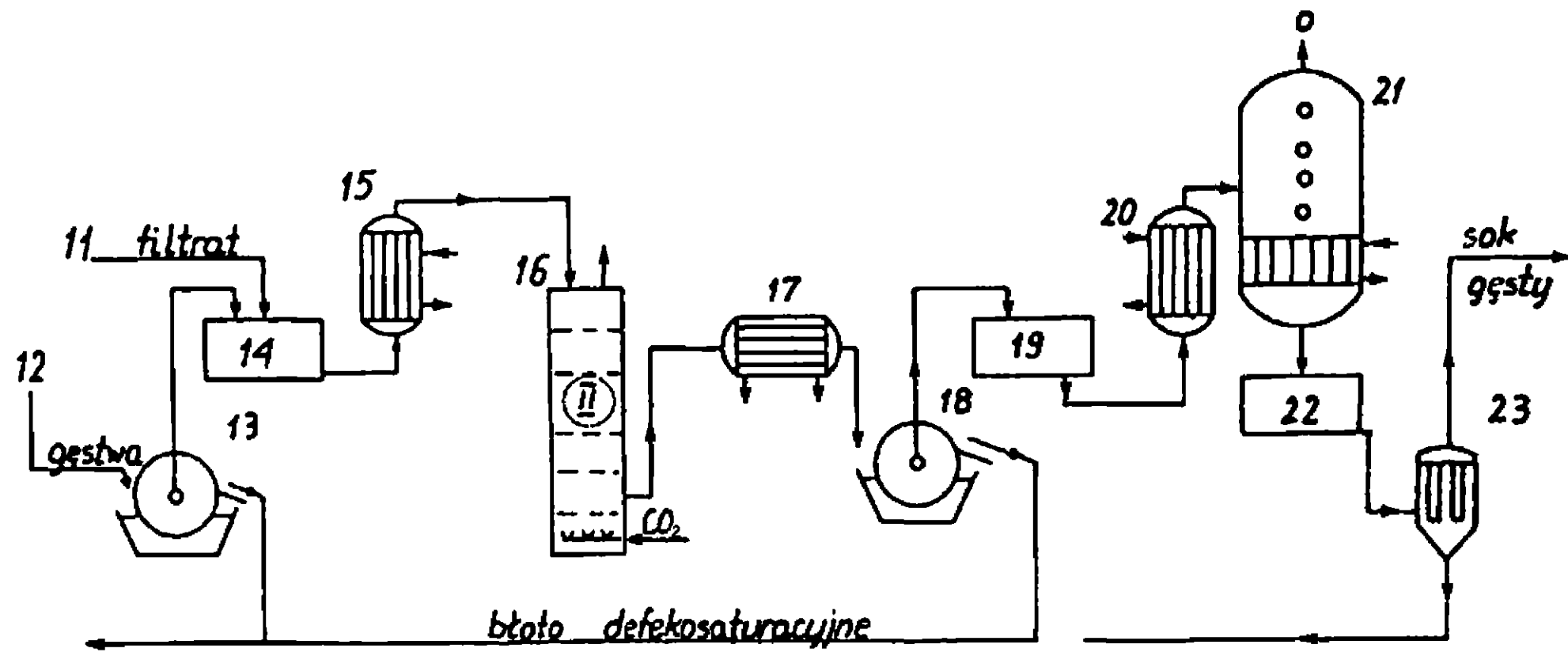
Sok surowy jest skierowany do nawapniania wstępnego (6), gdzie miesza się z niewielką dawką wapna ($\sim 0,2\%$ nb), niezbędną dla zalkalizowania środowiska ($\text{pH} \approx 11$). Zalkalizowany sok surowy jest poddawany ogrzewaniu w podgrzewaczu (7) i dalszemu nawapnianiu mlekiem wapiennym w dawce około $2,0\%$ CaO. Ogrzewanie nawapnionego soku w temperaturze $85-90^\circ\text{C}$ nazywa się nawapnianiem głównym (8). W toku tego procesu następuje rozkład niecukrów oraz stworzenie warunków wstępnych do późniejszego oczyszczania soku.

Nawapniony sok jest kierowany do karbotancji I (10), gdzie po nasyceniu soku gazem saturacyjnym, zawierającym CO_2 następuje obniżenie poziomu pH do 11 i alkaliczności do $\approx 0,1\%$ oraz wytworzenie węglanu wapniowego. Tworzący się podczas karbonatancji osad węglanu wapniowego adsorbuje na swej powierzchni zanieczyszczenia koloidalne i substancje barwne soku, umożliwiając usunięcie ich z soku. Usuwanie osadu z soku po I karbonatancji odbywa się w procesie sedymentacji w odstożnikach (11) oraz przez filtrację części soku w filtrach obrotowych (13). Wstępnie sklarowany sok jest po podgrzaniu (15) skierowany do II karbonatancji, gdzie przy optymalnej alkaliczności ($0,015\%/nb.$) wydziela się reszta wytworzonego węglanu wapniowego. Po II karbonatancji sok jest ponownie poddany filtracji na gorąco (17, 18). Na tym etapie produkcji otrzymuje się klarowny roztwór (półprodukt) zwany sokiem rzadkim.

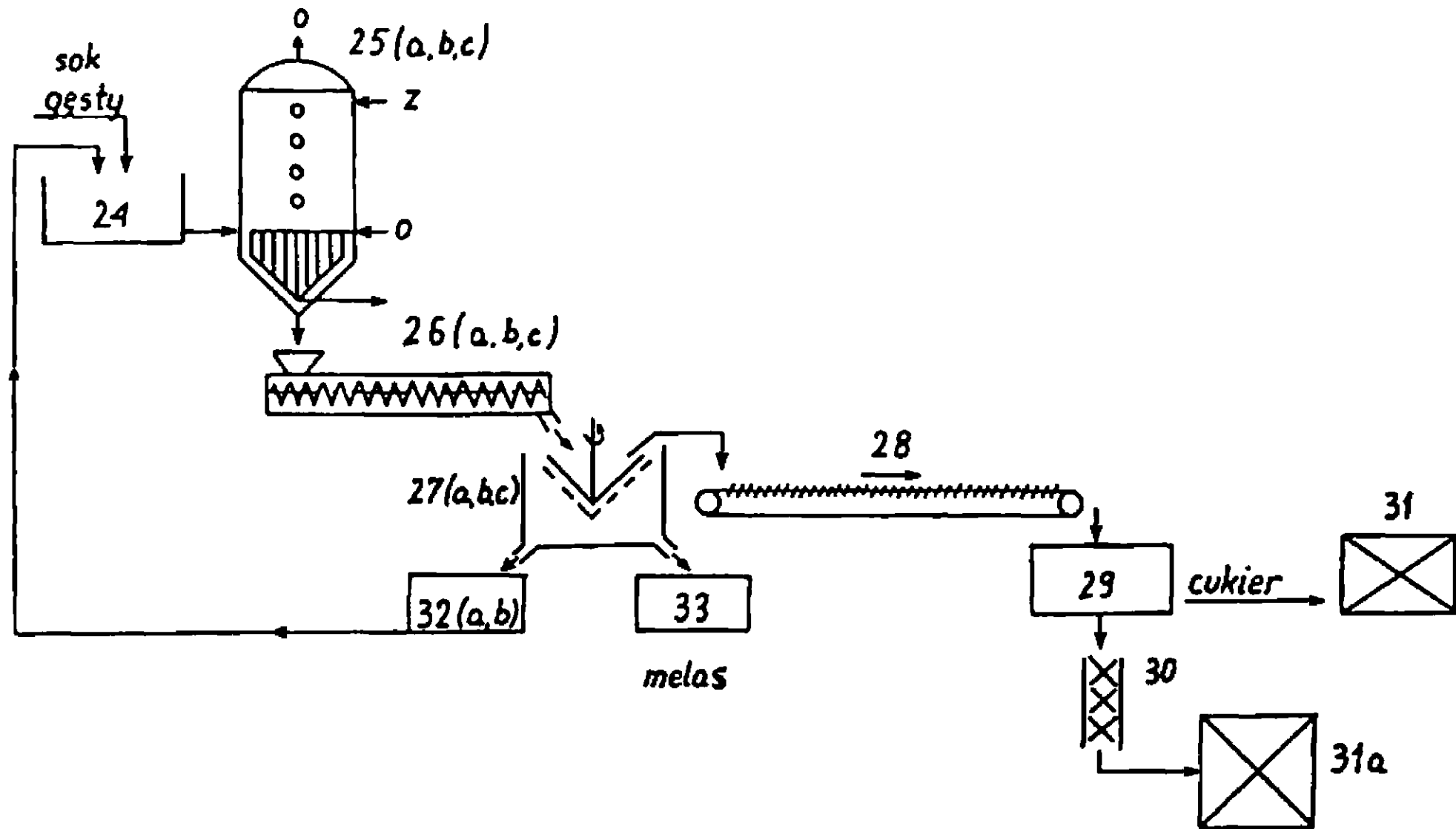




Rys. 4.85. Uproszczony schemat technologiczny otrzymywania cukru z buraków



Rys. 4.85.a). ciąg dalszy



Rys. 4.85.b). ciąg dalszy

Sok rzadki za pośrednictwem podgrzewacza (20) kieruje się do stacji wyparnej (21), którą najczęściej stanowi czterodziałowy układ wyparek typu Roberta. W stacji wyparnej następuje odparowanie wody z soku do uzyskania roztworu o stężeniu około 65% s.s., który nazywa się sokiem gęstym. Ponieważ w czasie zatężania soku następuje ponowne wytrącenie niewielkich ilości osadu, sok gęsty musi być poddany dodatkowej filtracji (23). Klarowny sok gęsty jest kierowany do produktowni dla wytworzenia i wydzielania kryształów cukru. Krystalizacja cukru odbywa się przy jednoczesnym zatężaniu w warnikach (25). Po uzyskaniu odpowiedniego stopnia przesylenia roztworu ($\sim 1,3$) do warnika wprowadza się tzw. zaszczerp kryształów i przy ciągłym odparowywaniu wody następuje wzrost kryształów. Po przejściu ponad 50% cukru zawartego w cukrzycy w stan krystaliczny, utworzoną cukrzycę z warnika wprowadza się do mieszadeł (czyli krystalizatorów) (26), gdzie w wyniku ochłodzenia cukrzycy następuje dodatkowy wzrost masy kryształów. Cukrzycę z mieszadeł kieruje się do wirówek (27) celem oddzielenia i oczyszczenia kryształów cukru od roztworu macierzystego (odcieku). Wilgotne kryształy cukru są suszone i transportowane (28) do magazynowania luzem w silosach (31), względnie po zapakowaniu (30) do magazynu (31a). Krystalizację cukru prowadzi się zwykle w trzech rzutach. Niezależnie od przyjętego sposobu gospodarki produktowni, odcieki z wirówki (32) z pierwszych dwu rzutów krystalizacji są zwykle zawracane do ponownej krystalizacji, natomiast odciek po krystalizacji III rzutu stanowi końcowy produkt uboczny cukrowni nazywany melasem (33), którego stężenie wynosi około 80% s.s.

Melas jest nasyconym roztworem cukru (ok. 52%) i wielu różnorodnych substancji organicznych oraz mineralnych. Z tej racji stanowi on bardzo cenny surowiec w przemysłach fermentacyjnych jako bazowa pożywka rozwoju drobnoustrojów wykorzystywanych przy produkcji drożdży, kwasów organicznych i etanolu.

W procesie oczyszczania soków cukrowniczych na terenie cukrowni zużywa się bardzo duże ilości świeżo wypalonego wapna oraz gazu zawierającego CO_2 , ważną działalnością produkcyjną cukrowni jest zatem wypalanie kamienia wapiennego, zapewniające pokrycie bieżącego zapotrzebowania na wapno i CO_2 (gaz saturacyjny).

Wśród produktów głównych i odpadowych cukrowni jest duża masa otrzymywanych po ekstrakcji wysłodków. Do lat 80-tych bieżącego stulecia wysłodki były wykorzystywane wyłącznie jako składnik paszy dla zwierząt w stanie świeżym lub przetworzonym na susz lub kiszonki.



Obecnie rozwija się w cukrowniach przetwórstwo wysłodków na bardzo cenne dietetyczne preparaty błonnika pokarmowego.

4.1.2. Otrzymywanie preparatu błonnikowego „Pectocel” z wysłodków buraczanych

Wysłodki buraczane w suchej masie zawierają:

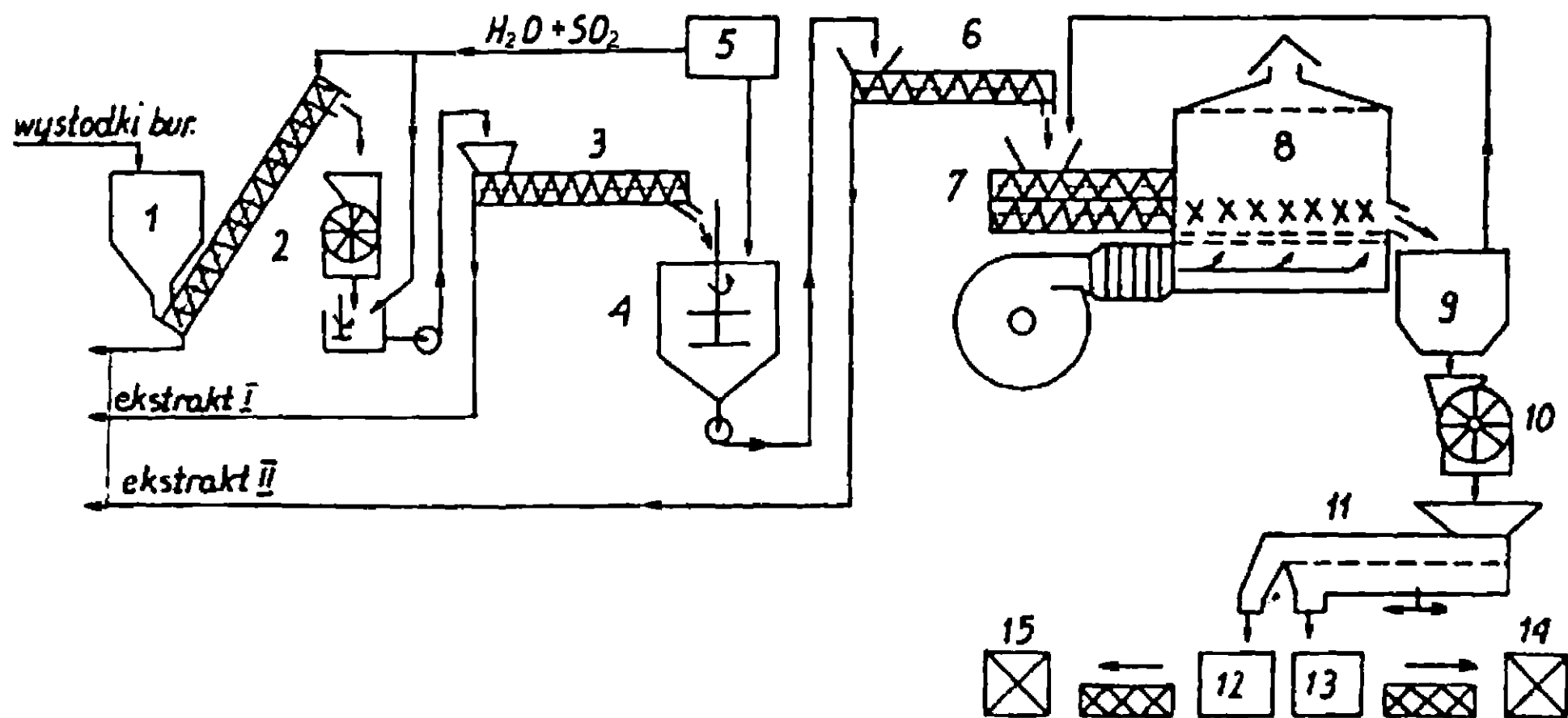
- 35 ÷ 37% celulozy,
- 20 ÷ 23% pektyn,
- 18 ÷ 20% lignin,
- 10 ÷ 12% związków azotowych,
- 4 ÷ 5% związków mineralnych.

Ze względu na dużą zawartość pektyn i celulozy wysłodki stały się łatwo dostępnym i cennym surowcem do produkcji preparatów wzbogacających dietę w błonnik pokarmowy. Produkt taki otrzymuje się po usunięciu przez ekstrakcję z wysłodków substancji zapachowych i smakowych, charakterystycznych dla tego materiału.

Schemat technologiczny tej produkcji jest skrótowo przedstawiony na rys. 4.86.

Skrócony opis procesów technologicznych otrzymywania preparatu błonnikowego

Świeże wysłodki o zawartości około 10% s.s. kieruje się do ekstraktora przeciwprądowego (1) i poddaje się ekstrakcji roztworem kwasu siarkawego ($\text{pH} = 4,5$) o temp. 60°C . Odsączona krajanka z ekstraktora jest kierowana do dezintegratora lub szarpaka (2), gdzie jest rozdrabniana na miazgę. Miazgę rozcieńcza się wodą gorącą w zbiorniku z mieszadłem i po wymieszaniu zawiesinę przepompowuje się do prasy ślimakowej lub filtru (3) celem maksymalnego oddzielenia ekstraktu. Wyciśniętą miazgę kieruje się z prasy ponownie do ekstraktora (4), po czym do drugiej prasy (6) celem oddzielenia drugiego ekstraktu. Ekstraktory są zasilane w gorącą i zakwaszoną wodę ekstrakcyjną ze zbiornika (5). Mokra miazga spotyka się z zawrotem suszu w mieszalniku (7) i w postaci wilgotnego proszku trafia do suszarki fluidyzacyjnej, pneumatycznej lub bębnowej (8), gdzie suszy się do zawartości wody około 10%. Wysuszony proszek poprzez silos (9)



Rys. 4.86. Uproszczony schemat technologiczny otrzymywania preparatu błonnikowego „Pectocel”

trafia do młynka bijakowego (10). Zmielony proszek jest frakcjonowany na odsiewaczu (11) na dwie frakcje (12) i (13), które są pakowane oddzielnie i kierowane do magazynu (14) i (15).

4.2. Przemysł ziemniaczany

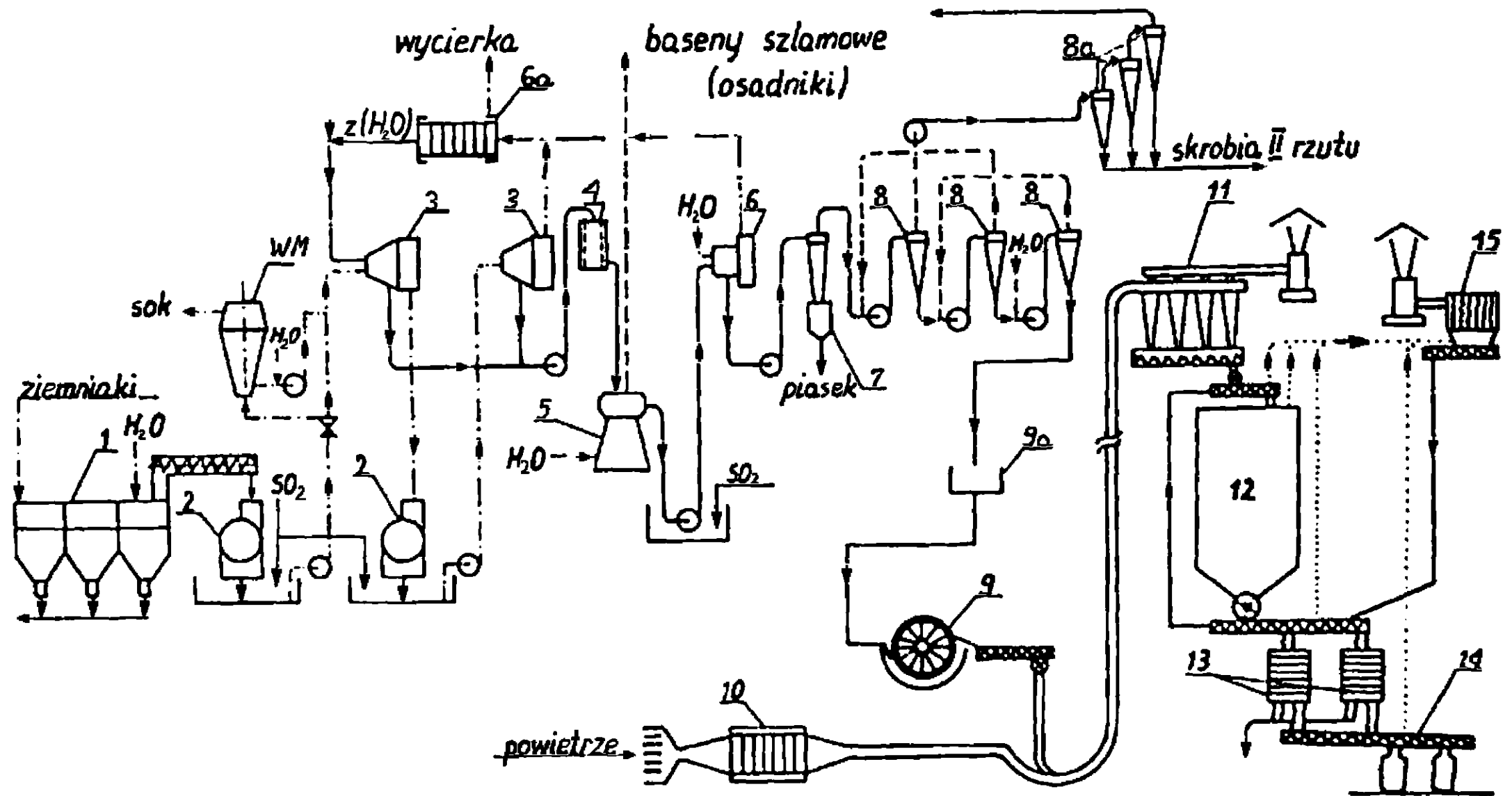
Spośród kilkunastu produktów przemysłu ziemniaczanego najważniejszymi produktami są:

- skrobia ziemniaczana,
- susze ziemniaczane,
- hydrolizaty skrobiowe, w tym syropy skrobiowe i glukoza krystaliczna.

4.2.1. Skrócony opis procesów technologicznych produkcji skrobi ziemniaczanej

Ziemniaki zmagazynowane w splawiakach są pompowane do wstępnego oczyszczania (rys. 4.87) z kamieni oraz liści, słomy itp., po czym są kierowane do płukania w płuczce (1), skąd po zważeniu są kierowane do rozdrabniania na miazgę w tarkach lub dezintegratorach (2). Zgodnie z dawniej ustalonym sposobem przerobu, który jest jeszcze stosowany, miazgę ziemniaczaną kieruje się (bezpośrednio) i w całości do procesu technologicznego wydzielania z niej skrobi. Metody unowocześnione, znajdujące się obecnie w stadium upowszechniania przewidują, że miazga ziemniaczana zanim trafi do przerobu jest pozbawiona dużej części soku ziemniaczanego za pomocą specjalnej wirówki sedymentacyjnej (WM), po czym jest rozcieńczana wodą z zawrotu, aby w tak zmodyfikowanej formie trafić do przerobu. Jak najwcześniejsze usunięcie soku z miazgi ułatwia rafinację skrobi oraz pozwala na wydatną oszczędność w zużyciu wody, jak też zmniejsza obciążenie ścieków.

Jednocześnie wydzielony, nierozcieńczony sok ziemniaczany może być łatwo wykorzystany jako surowiec do produkcji białka ziemniaczanego, podczas gdy bez jego wydzielenia sok jest rozcieńczony w procesie technologicznym i trafia w całości do ścieków. Tak więc



Rys. 4.87. Skrócony schemat technologiczny otrzymywania skrobi z ziemniaków

zmodyfikowana miazga, zakwaszona SO_2 jest kierowana do wymywacza strumieniowego (3), gdzie na zasadzie mokrego przesiewania jest wydzielana z niej zawiesina skrobi tzw. mleczo skrobiowe. Pozostała zawiesina grubszych cząstek jest kierowana do ponownego rozdrobnienia i drugiego stopnia wydzielania mlecza skrobiowego. Z wymywacza II stopnia, poza mlecziem skrobiowym wypływa zawiesina cząstek błonnikowo-skrobiowych z miazgi, która po oddzieleniu nadmiaru wody (zawrót wody) jest kierowana do magazynu produktów ubocznych jako tzw. wycierka. Wycierka ziemniaczana, zawierająca poza błonnikiem około 30% skrobi jest wykorzystana na paszę dla zwierząt, podobnie jak wysłodki buraczane. Mleczo skrobiowe w dalszym toku procesu technologicznego poddawane jest procesom rafinacji i odwodnienia. Rafinacja mlecza dokonuje się przez wielokrotnie powtarzane, przemienne zatężanie i rozcieńczanie. Po opuszczeniu wymywacza strumieniowego mleczo surowe za pośrednictwem odpieniacza (4) jest zatężane w wirówce sedymentacyjnej zwanej koncentratorem lub separatorem. Po wtórnym zakwaszeniu SO_2 zagęszczone mleczo skrobiowe jest pozbawiane drobnych włókienek na sicie wirowym (6). Drugim sposobem usuwania zanieczyszczeń stałych jest wydzielenie z mlecza piasku za pomocą specjalnego hydrocyklonu odpiaszczającego (najczęściej bihydrocyklon) (7). Wstępnie oczyszczone mleczo trafia na stację hydrocyklonów rafinujących (8), gdzie w trzech stopniach przeciwprądowego rozcieńczania i zatężania następuje dokładne usunięcie z mlecza zanieczyszczeń rozpuszczonych w wodzie towarzyszącej skrobi. Wydzielona z hydrocyklonów rafinujących zawiesina drobnych ziarenek skrobi, niosąca główną masę zanieczyszczeń jest kierowana do zestawu hydrocyklonów klarujących (8a), gdzie oddziela się skrobię drobną (II rzut) od zanieczyszczeń. Zanieczyszczenia z resztkami skrobi kieruje się do basenów szlamowych (osadników). Skrobię drugiego rzutu powinno się przerabiać oddzielnie i przeznaczać do celów specjalnych (hydrolizaty), a najczęściej w praktyce II rzut zawraca się do obiegu głównego produktu i po przejściu stacji hydrocyklonów rafinujących trafia w postaci gęstego mlecza na odwadniacz próżniowy (9) (filtr próżniowy), skąd jako mokra skrobia (40% H_2O) wprowadzana jest do przewodu pneumatycznego suszarni. W pneumatycznym transporcie skrobia suszona jest strumieniem powietrza, ogrzanym w nagrzewnicy (10) i po odparowaniu części wody skrobia o zawartości (20% H_2O) jest oddzielana od



wilgotnego powietrza suszącego w zestawie cyklonów (11), zakończonym wentylatorem ssącym. Skrobia w postaci mąki jest zbierana w silosie ujednolicującym (12), skąd trafia na odsiewacze (13), w których z mączki usuwa się bryłki, zlepy itp.

Układ aspiracji silosu, urządzeń odsiewacza i transporterów (14) jest podłączony do urządzeń odpylających, złożonych z odpylacza rękawowego (15) i wentylatora, który usuwa powietrze na zewnątrz budynku. Mączka ziemniaczana (skrobia) jako produkt główny jest pakowana w worki papierowe i kierowana do magazynu lub transportem pneumatycznym jest kierowana do silosów magazynowych (zewnętrznych), gdzie jest składowana luzem.

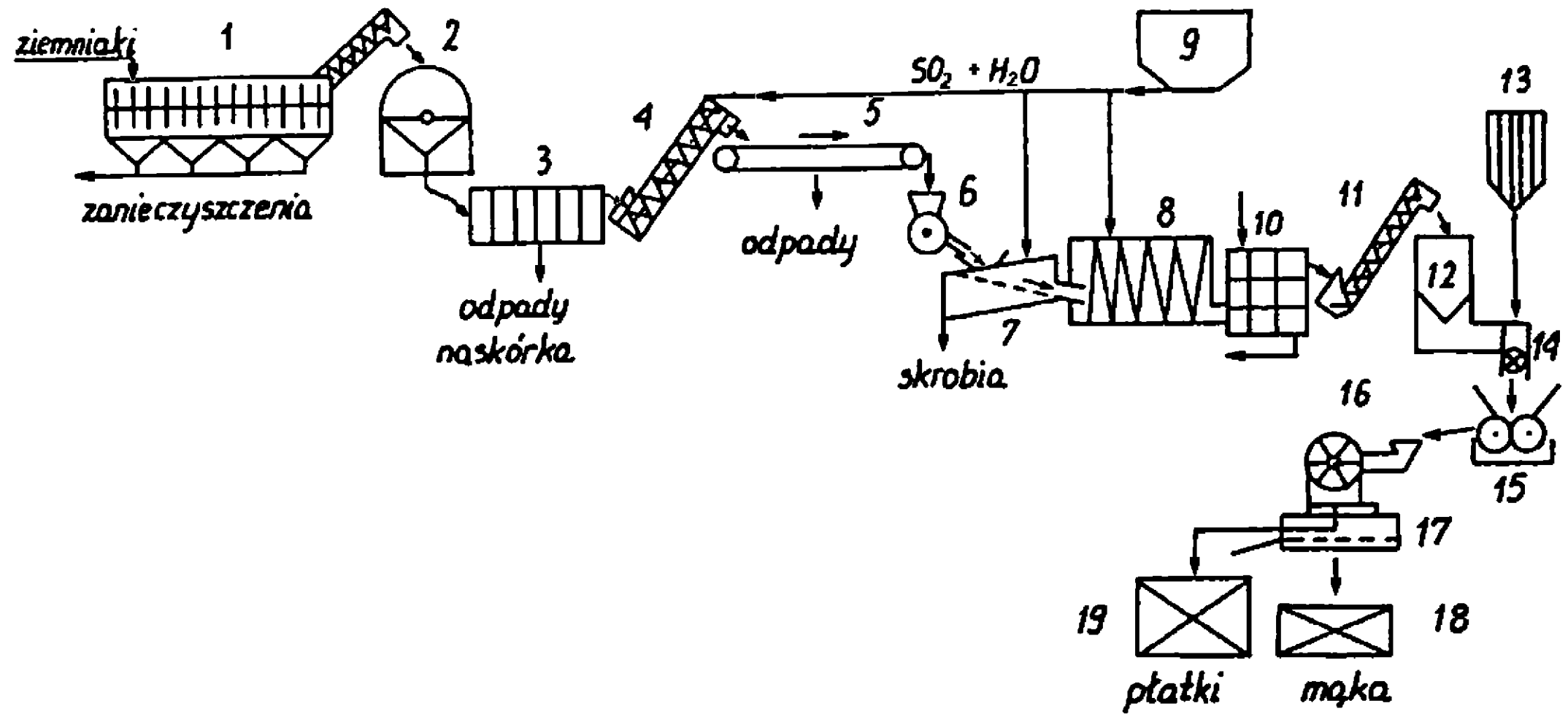
4.2.2. Spożywcze susze ziemniaczane

W polskim przemyśle ziemniaczanym produkuje się susze z ziemniaków surowych i uparowanych. Susze z ziemniaków surowych otrzymuje się w postaci krajanki uformowanej w kostkę lub plasterki. Przed wysuszeniem krajanka zawsze jest blanszowana dla uniknięcia niekorzystnych zmian powierzchniowych. Suszona krajanka ziemniaczana znalazła zastosowanie do otrzymywania sałatek oraz innych produktów garmażeryjnych. Część suszonych krajank ziemniaczanych w ostatniej fazie produkcji ulega zmieleniu na drobną kaszkę i w postaci tzw. grysu znajduje zastosowanie do produkcji mrożonek z ciasta ziemniaczanego. Susze ziemniaczane z ziemniaków parowanych w dwóch postaciach, tj. płatków oraz granulatu stosuje się do wytworzenia puree ziemniaczanego oraz do sporządzania bardzo licznych produktów odżywczych, pieczywa cukierniczego i deserów. Dla ilustracji sposobu produkcji suszów ziemniaczanych na rys. 4.88 jest pokazany schemat technologiczny produkcji płatków ziemniaczanych.

Opis schematu technologicznego

Wstępnie oczyszczone ziemniaki są kierowane do płuczki (1), gdzie zostają dokładnie umyte. Po tym, porcjami wprowadza się je do zaparzarki (2), gdzie pod wpływem gorącej pary następuje rozparzenie (zmiękczenie) naskórka. Zaparzone bulwy trafiają następnie do obieraczki bębnowej (3), w której usuwa się rozmiękczone parą naskórek i obmywa obrane bulwy zraszaniem wodnym.





Rys. 4.88. Uproszczony schemat technologiczny otrzymywania płatków ziemniaczanych

Obrane bulwy są zraszane roztworem wodnym SO_2 i podczas transportu w przenośniku ślimakowym lub kbelkowym (4) następuje ich odsączenie od nadmiaru wody. Na powierzchni transportera taśmowego (5) następuje selekcja zdrowych i nie uszkodzonych chorobami bulw. Wyselekcjonowane bulwy są poddawane rozdrabnianiu wyrównującemu w krajalnicy (6). Krajanka jest płukana i w ten sposób oddzielana od uwolnionej skrobi w płuczce (7), skąd bezpośrednio trafia do blanszownika ślimakowego (8), gdzie ulega ogrzaniu do temperatury 80°C parą wodną i gorącą wodą. Płuczka krajanki i blanszownik zasilane są roztworem SO_2 ze zbiornika (9) celem zabezpieczenia ziemniaków przed ciemnieniem. Zblanszowana krajanka jest gwałtownie chłodzona wodą w chłodnicy (10) i jest przenoszona do parownika (12), gdzie ulega uparowaniu. Uparowana krajanka jest rozdrabniana na miazgę w tzw. ryżowniku (14) z jednoczesnym zmieszaniem z szeregiem dodatków spulchniających i zabezpieczających produkt przed ciemnieniem oraz utlenianiem. Przyprawy te czerpane ze zbiorników (13) stanowią: roztwory siarczynów, hydroksyanizol, monoglicerydów itp. Przyprawiona miazga ziemniaczana wprowadzona jest do suszarni walcowej (15). Na powierzchni walców kształtuje się i wysycha półprodukt w postaci wysuszonej folii ziemniaczanej, która jest rozdrabniana na młynku bijakowym (16) na płatki. Rozdrobniony produkt jest przesiewany na przesiewaczu płaskim (17), z którego sływa główny produkt w postaci płatków do magazynu (19) oraz odpady użytkowe w postaci mąki ziemniaczanej (18).

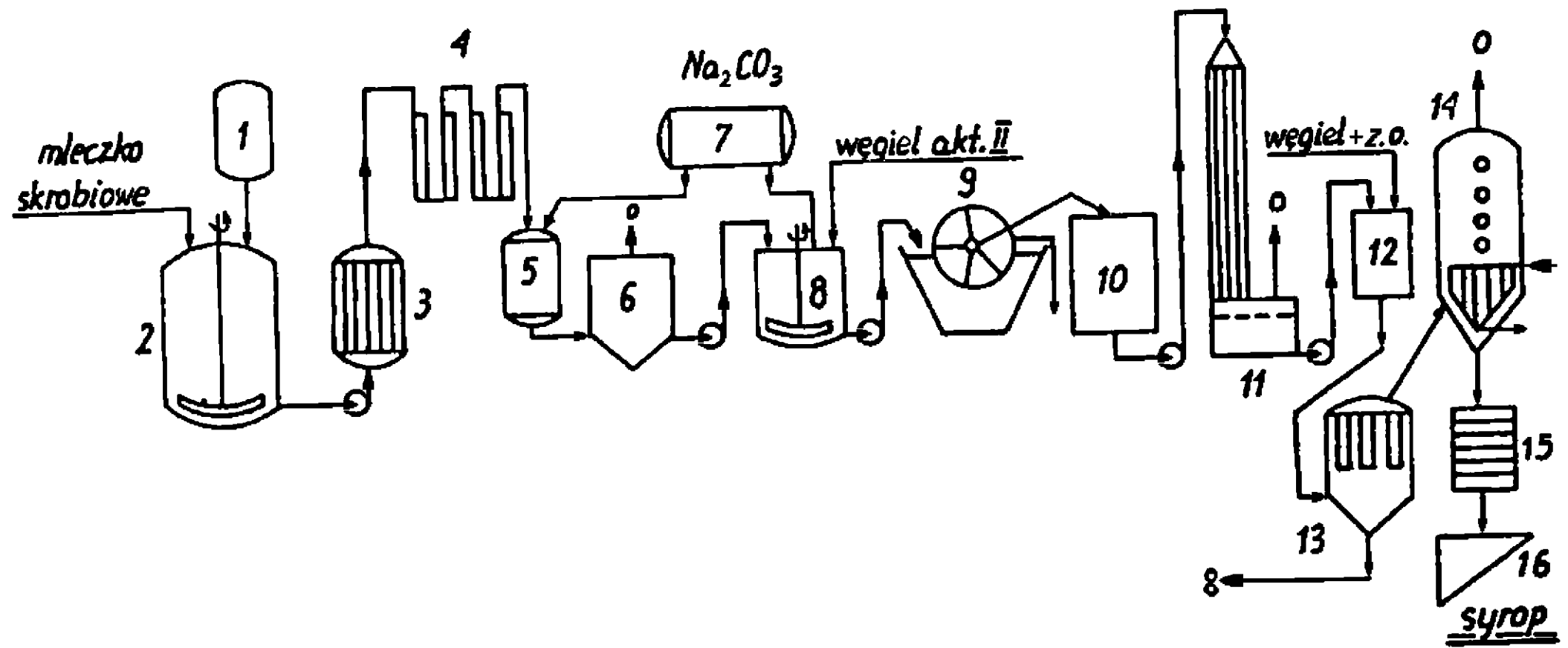
4.2.3. Hydrolizaty skrobi

Do tej grupy produktów należą:

1) syropy kwasowe i enzymatyczne używane w przemyśle cukierniczym i owocowo-warzywnym. Syropy skrobiowe powstają przez częściową hydrolizę kwasową lub enzymatyczną skrobi i zatężenie roztworu hydrolizatu do konsystencji syropu około 80% s.s.,

2) glukoza krystaliczna lub zestalona jako produkt wyczerpującej hydrolizy skrobi, prowadzonej ostatnio wyłącznie przy użyciu enzymów amylolitycznych.





Rys. 4.89. Schemat technologiczny otrzymywania syropu skrobiowego metodą ciągłej hydrolizy kwasowej

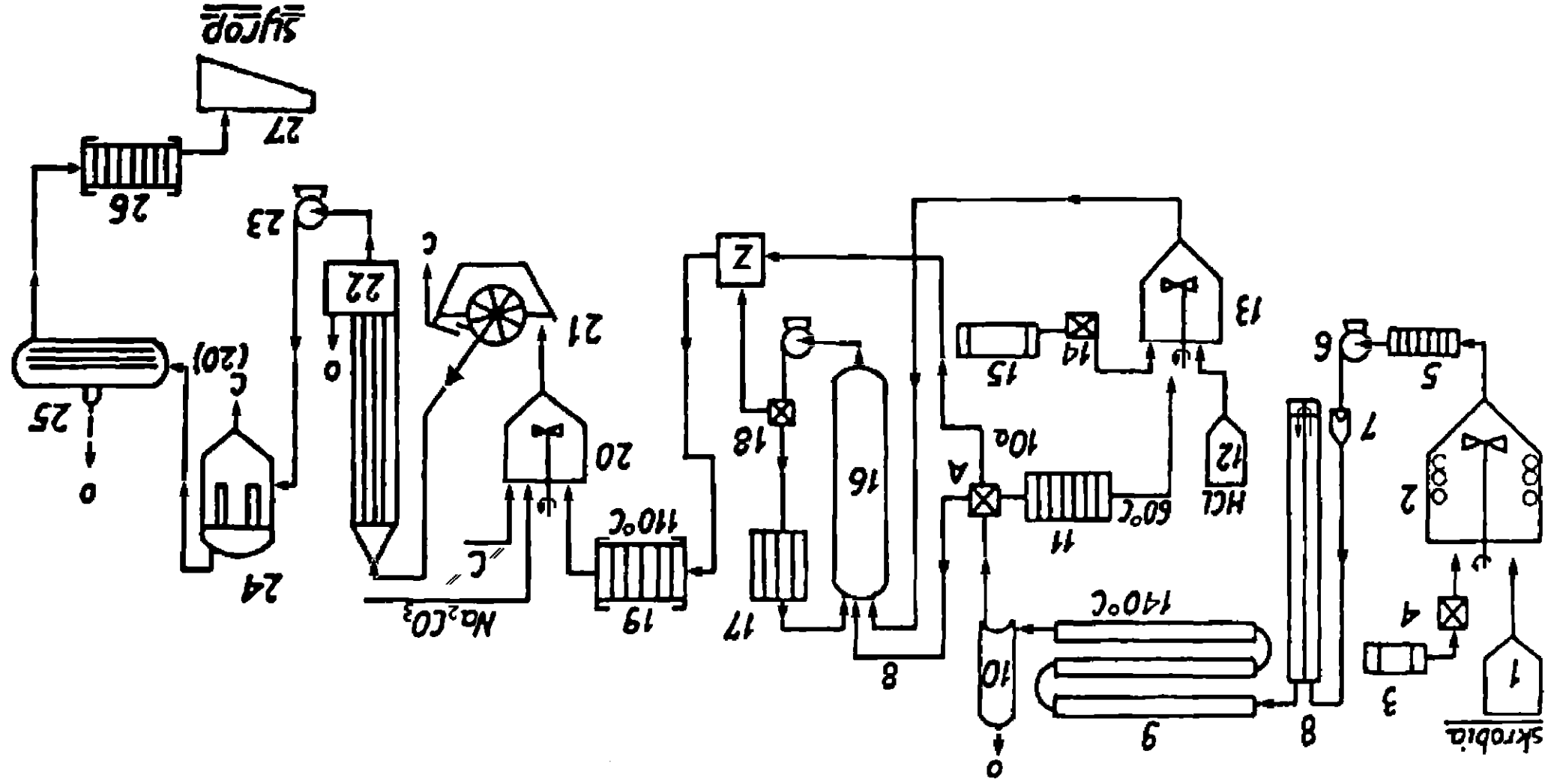
4.2.3.1. Skrócony opis procesów technologicznych produkcji syropu skrobiowego metodą ciągłej hydrolizy kwasowej

Mleczko skrobiowe (rys. 4.89) o stężeniu około 36% wprowadza się do kadzi kwaszącej (2), do której wprowadza się odpowiednią ilość roztworu kwasu solnego ze zbiornika (1) dla zakwaszenia mleczka do $\text{pH} = 1,7$. Zakwaszone mleczko pompa nurnikowa wtłacza przez ogrzewacz przeponowy (3) do rurowego konwertora (4), w którym następuje kleikowanie i hydroliza skrobi w temperaturze około 140°C , uzyskanej dzięki bezprzeponowemu ogrzewaniu roztworu parą wodną pod ciśnieniem. Opuszczający konwertor rurowy kwaśny hydrolizat jest częściowo neutralizowany w zbiorniku ciśnieniowym (5) roztworem Na_2CO_3 pompowanym ze zbiornika sody (7).

Częściowo zneutralizowany hydrolizat jest wprowadzany do zbiornika rozprężającego (6), gdzie następuje redukcja ciśnienia, a przez to częściowe zateżnienie i ochłodzenie hydrolizatu. Przy czym opary są wykorzystywane do wstępnego ogrzewania hydrolizatu. Przy czym opary są wykorzystywane do wstępnego ogrzewania mleczka. Dalej hydrolizat jest pompowany do kadzi neutralizacyjnej (8), gdzie jest zubożniany do $\text{pH} = 5,2 \div 5,6$. Do kadzi neutralizacyjnej wprowadza się też porcję węgla aktywnego, na którym absorbują się koloidy i barwniki powstałe w procesie hydrolizy. Zawiesinę hydrolizatu z węglem aktywnym kieruje się do filtru bębnowego (9) w celu wstępnego oczyszczania roztworu rzadkiego. Oczyszczony roztwór rzadki za pośrednictwem zbiornika (10) jest pompowany do dwudziałowej wyparki blonkowej o działaniu opadowym (11), w której następuje zateżnienie roztworu pod próżnią do stężenia 60% s.s. Zebrany w zbiorniku (12) roztwór gęsty miesza się z węglem aktywnym i ziemią okrzemkową, po czym w stanie zawiesiny jest wprowadzany do filtracji, zwykle prowadzonej za pomocą filtru świecowego (13). Oczyszczony roztwór gęsty hydrolizatu jest zateżniany w warniku (14) do stężenia 80–82% s.s. w temp. 80°C . Otrzymany w warniku syrop wypływa z warnika przez urządzenie chłodzące (15) i jest kierowany do beczek lub do zbiornika magazynowania luzem (16).



Rys. 4.90. Schemat technologiczny otrzymywania syropu skrobiowego metodą ciągłej hydrolyzy enzymatycznej



4.2.3.2. Skrócony opis procesów technologicznych otrzymywania syropów skrobiowych metodą hydrolizy enzymatycznej

Mleczko skrobiowe (rys. 4.90) o stężeniu około 35% s.s. ze zbiornika (1) jest wprowadzane do reaktora (2) wyposażonego w nagrzewnicę i mieszadło. W reaktorze (2) mleczko spotyka się z preparatem α -amylazy dozowanej regulatorem (4) ze zbiornika (3). W reaktorze mleczko ogrzewa się do temp. około 40°C i jest dozowane przez regulator (5) i pompę (6) do inżektora (7), gdzie kleikuje skrobia w kontakcie ze strumieniem gorącej pary. Skleikowana skrobia wpływa pod ciśnieniem do reaktora rurowego (8), w którym następuje upłynnienie skrobi przez enzym α -amylazę w temp. około 85°C. Roztwór upłynnionej skrobi przepływa dalej do rurowego wymiennika ciepła (9), gdzie przegrzewa się do temp. ponad 110°C celem inaktywacji enzymu. Gorący i będący pod ciśnieniem roztwór upłynnionej skrobi z podgrzewacza trafia do zbiornika rozprężnego (10), w którym rozprężając się ulega częściowemu ochłodzeniu i zatężeniu. Opary z rozprężacza są wykorzystywane do podgrzewania mleczka. W zbiorniku rozdzielczym (10a) następuje rozdzielanie roztworu upłynnionej skrobi na różne cele i mieszanki. Główna masa roztworu (ok. 70%) z rozdzielacza (10a) trafia przez chłodnicę (11) do kadzi kwaszącej (13), gdzie przy temp. 60°C miesza się z roztworem HCl (12) oraz z enzymem glukoamylazą dozowaną (14) ze zbiornika (15). Zakwaszony do pH = 4,5 roztwór skrobi wraz z glukoamylazą trafia do biokonwertora (16), gdzie skrobia ulega częściowemu scukrzeniu (DE = 50). Biokonwertor (16) jest wyposażony w zamknięty obieg chłodzenia roztworu (17, 18) oraz w dopływ gorącego roztworu upłynnionej skrobi z rozdzielacza (10a). Obiegi te pozwalają na niezbędną regulację temperatury i stopnia scukrzenia. Po zakończeniu scukrzenia roztwór hydrolizatu przez rozdzielacz (18) jest kierowany do zbiornika (z), w którym miesza się w założonej proporcji z roztworem upłynnionej skrobi, dozowanej z rozdzielacza (10a). W ten sposób uzyskuje się roztwór hydrolizatu o założonym stopniu scukrzenia i zawartości polisacharydów wielko-cząsteczkowych (dekstryn). Mieszany hydrolizat trafia do płytowego wymiennika ciepła (19), gdzie ogrzewa się do temp. 110°C, po czym trafia do kadzi neutralizacyjnej (20). Tu hydrolizat jest zobojętniany roztworem Na₂CO₃ i mieszany z węglem aktywnym. Zawiesina roztworu rzadkiego z węglem aktywnym trafia do filtra bębnowego (21),



a stąd do wyparki błonkowej (22). Roztwór gęsty hydrolizatu o stężeniu (60% s.s.) jest filtrowany na filtrach świecowych (24), zagęszczony na syrop w warniku (25) i po schłodzeniu (26) magazynowany w beczkach lub zbiornikach luzem (27).

4.3. Przemysł cukierniczy

W przemyśle cukierniczym występuje kilkaset różnych procesów i produktów cukierniczych.

Produkty te można usystematyzować w czterech zasadniczych grupach:

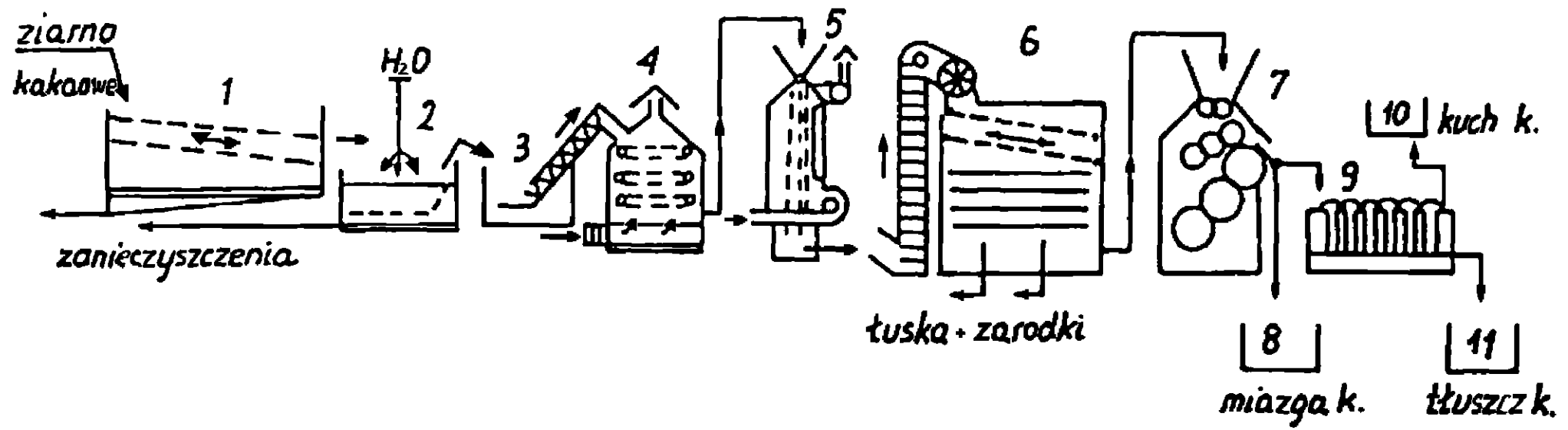
- 1) produkty karmelarskie i pomadowe,
- 2) produkty czekoladowe,
- 3) pieczywo cukiernicze i produkty żelowe,
- 4) nietrwałe produkty cukiernicze (ciasta kremowe, torty, desery).

4.3.1. Otrzymywanie czekolady

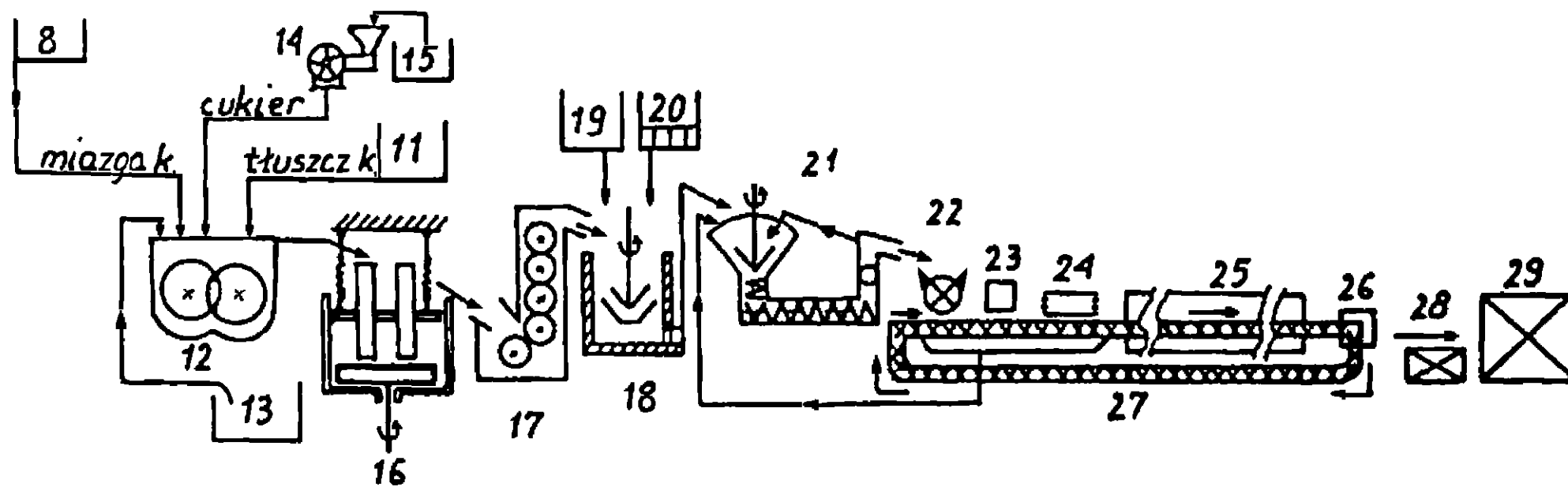
Ziarno kakaowe (rys. 4.91) w sortowniku sitowym (1) jest rozdzielane na frakcje według wielkości oraz pozbawiane jest części zanieczyszczeń. W zbiorniku-wannie ziarno kakaowe podlega procesom uszlachetnienia przez namakanie w gorącej wodzie, często z dodatkiem soli silnych zasad i słabych kwasów. Z roztworu wodnego ziarno jest przenoszone do zbiornika fermentacji (3), gdzie w stanie wilgotnym podlega przemianom fizykochemicznym w czasie kilku godzin. Wilgotne ziarno po fermentacji jest suszone w suszarni taśmowej (4), po czym trafia do przeciwprądowego prażalnika wieżowego (5) dla wyprażenia w temp. 130°C do wilgotności poniżej 2%. Wyprażone ziarno kakaowe trafia do zespolonego agregatu śrutownika-łuszcarki (6). W agregacie tym następuje rozdrobnienie ziarna na śrutę i usunięcie łuski oraz kielków. Śruta kakaowa kierowana jest do młyna ośmiowalcowego (7), w którym następuje upłynniające zmielenie śruty na miążgę kakaową, zbieraną jako półprodukt

w zbiorniku (8). Część miazgi kakowej przeznacza się na produkcję tłuszczu kakaowego i proszku kako, przeznaczonego do produkcji napojów. Tłuszcz i kuch kakowy otrzymuje się przez wyprasowanie miazgi w prasie (9). Tłuszcz kierowany jest do sporządzenia mas czekoladowych (11), natomiast kuch kakaowy gromadzony jest w zbiorniku (10) i służy do produkcji proszku kakaowego. Otrzymywanie mas czekoladowych rozpoczyna się od zmieszania miazgi kakaowej ze zbiornika (8) z cukrem pudrem ze zbiornika (15), otrzymanym przez zmielenie cukru krystalicznego w młynku bijakowym (14) i tłuszczu kakaowego ze zbiornika (11). W przypadku produkcji czekolady mlecznej dodatkowym składnikiem jest mleko w proszku ze zbiornika (13). Wszystkie te składniki mieszają się w zagniatarce (12) wytwarzając swoisty rodzaj ciasta. Mieszanina masy czekoladowej jest poddawana kolejnym fazom obróbki termiczno-mechanicznej. Obróbka ta rozpoczyna się mieszaniem w gniotowniku obiegowym (16) i odbywa się w młynie pięciowalcowym (17) oraz w procesie wielogodzinnego konszowania (emulgowania) w konszach rotacyjnych (18). Pod koniec procesu konszowania do masy czekoladowej dodaje się lecytyny jako środka upłynniającego (19) oraz przypraw smakowo-zapachowych (20) w rodzaju waniliny, olejków itp. Otrzymaną w ten sposób masę czekoladową poddaje się temperowaniu (21), czyli programowanemu chłodzeniu dla wykrystalizowania części tłuszczu. Tak przygotowana płynna masa czekoladowa jest formowana w agregacie o ciągłym obiegu kołowym form. W agregacie masa czekoladowa z rozlewaczki (22) trafia do będących w ruchu form, tam jest zgarniana i wygładzana (23) oraz odpowietrzana na klepaczce (24). Wypełnione masą formy trafiają następnie do tunelu chłodniczego (25), gdzie tabliczki czekoladowe zestalają się. Formy po wyjściu z chłodni są opróżniane w wywrotnicy (26) i wracają do obiegu kołowego (27), a tabliczki czekolady są automatycznie pakowane (28) i trafiają do magazynu (29).





Rys. 4.91. Uproszczony schemat technologiczny otrzymywania czekolady

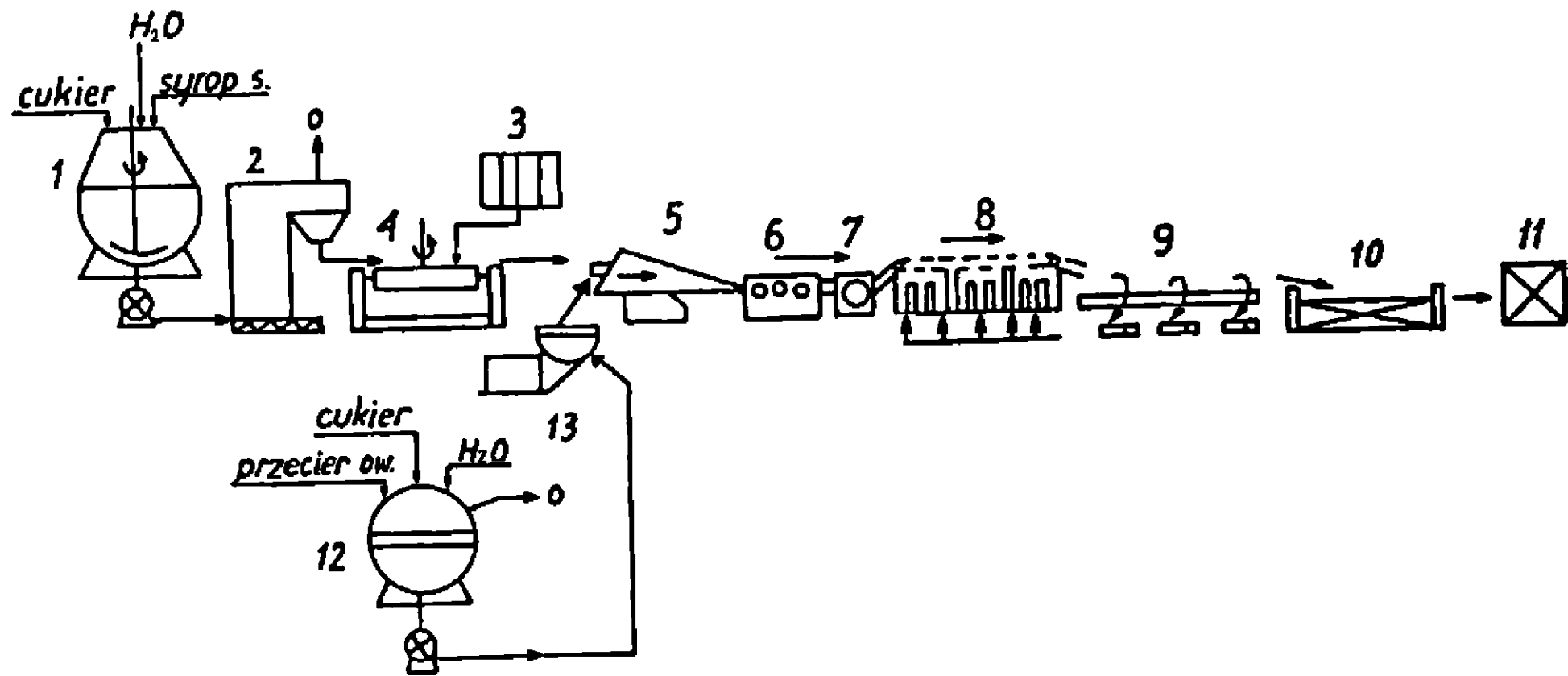


Rys. 4.91.a). ciąg dalszy

4.3.2. Otrzymywanie produktów karmelarskich

Podstawowymi surowcami produktów karmelarskich, nie licząc licznych przypraw i dodatków, są: cukier i syrop skrobiowy. W przypadku produkcji cukierków nadziewanych wewnątrz karmelków stanowią owoce lub ich przetwory, pomada lub likwory. Uproszczony schemat technologiczny otrzymywania karmelków jest przedstawiony na rys. 4.92.

Cukier krystaliczny rozpuszcza się z wodą w kotle karmelarskim (1), po czym do stężonego (80%) roztworu cukru wprowadza się syrop skrobiowy. Otrzymany w kotle roztwór cukrowo-syropowy przez sito pompuje się (pompą zębatą lub tłokową) do wyparki karmelarskiej (2), gdzie pod próżnią następuje odwodnienie roztworu i wytworzenie płynnej masy karmelowej (około 2% H₂O). Płynna masa karmelowa wylewana jest na stoły (4) chłodzona przeponowo wodą, na których następuje, podczas chłodzenia od 150°C do 90°C mieszanie masy z dodatkami smakowo-aromatyzującymi oraz z kwasem cytrynowym i barwnikami ze zbiorników (3). W temp. 85-90°C masa karmelowa przechodzi ze stanu płynnego w postać masy plastycznej i jest wprowadzona do agregatu formującego. Pierwsze stadium formowania odbywa się w rolowacze (5) wyciągającej bryłę masy w beton, który dalej jest kształtowany przez rozciągarkę (6). Baton trafia do głowicy formującej (7), która wyciska w sposób ciągły założone kształty cukierków. Ukształtowane, ale jeszcze elastyczne karmelki trafiają na transporter chłodzący (8), gdzie silnym strumieniem zimnego powietrza są chłodzone i całkowicie zestalone. Uformowane i zestalone karmelki podlegają automatycznemu opakowaniu na zawijarkach (9), po czym indywidualnie opakowane trafiają do pakowania zbiorczego (10) i są składowane w magazynie (11). W przypadku produkcji karmelków nadziewanych przetworami owocowymi (marmolady, dżemy), półpłynne nadzienie owocowe sporządza się w kotle (12) i pompą nurnikwą lub zębatą, za pośrednictwem temperówki (13) wprowadza się masę nadzieniową do wnętrza stożka masy karmelowej na rolowacze (5). Dalsze operacje technologiczne są identyczne jak przy otrzymywaniu karmelków twar-
dych.



Rys. 4.92. Uproszczony schemat technologiczny otrzymywania karmelków

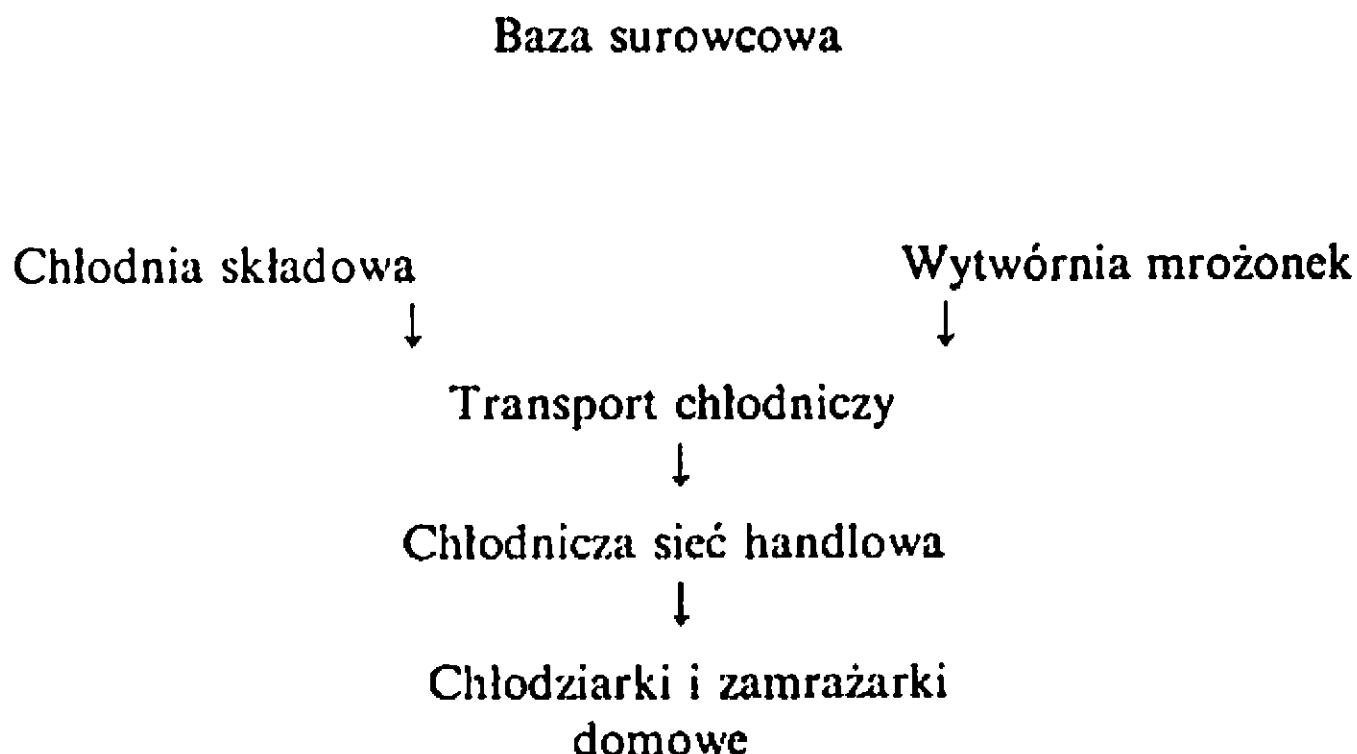
4.4. Chłodnictwo żywności

Pod pojęciem chłodnictwa żywności rozumiemy całokształt chłodniczego oddziaływania na surowce i produkty żywnościowe. Chłodnicze oddziaływanie na żywność obejmuje:

- chłodnicze utrwalanie surowców roślinnych i zwierzęcych,
- przystosowanie surowców do składowania chłodniczego,
- chłodnicze składowanie żywności,
- wytwarzanie mrożonej żywności,
- chłodniczy transport żywności,
- chłodnicza sieć handlowa,
- chłodziarki i zamrażarki domowe.

Zachowanie wysokiej jakości surowców i produktów żywności utrwalanej chłodniczo uwarunkowane jest utrzymaniem nieprzerwanego ciągu operacji chłodniczych poczynając od zbioru surowców a kończąc na chłodniach i zamrażarkach domowych. Ciąg takich operacji nazywa się łańcuchem chłodniczym. Przerwanie łańcucha chłodniczego w jakimkolwiek ogniwie przez nadmierne podwyższenie temperatury wywołuje nieodwracalne pogorszenie jakości żywności lub całkowite jej zniszczenie.

Schemat łańcucha chłodniczego



4.4.1. Chłodnicze utrwalanie żywności

Technologia chłodniczego utrwalania żywności obejmuje szereg procesów polegających na przystosowaniu żywności do chłodniczego składowania oraz zapewnieniu warunków składowania i transportu chłodniczego.

Chłodnicze utrwalanie żywności, zależnie od jej rodzaju oraz właściwości fizykochemicznych odbywa się:

a) przez trwałe, lecz łagodne obniżenie temperatury do poziomu kilku stopni powyżej zera (przechowalnie owoców),

b) przez utrzymywanie umiarkowanych warunków chłodniczych w zakresie temperatur ujemnych do -10°C .

c) przez głębokie zamrożenie żywności w temperaturze niższej od -15°C .

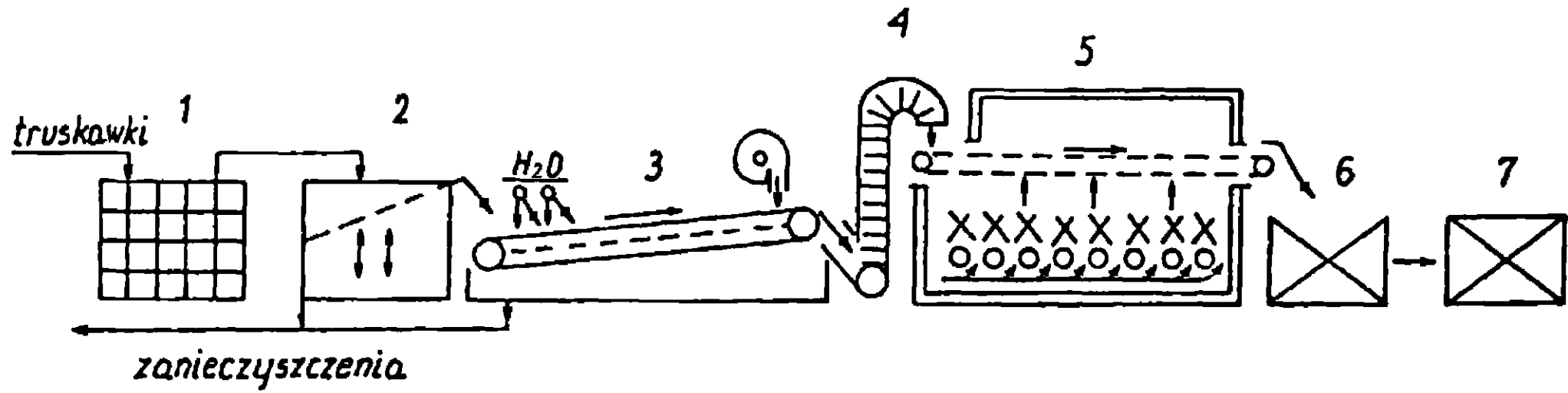
W celu zwiększenia skuteczności chłodniczego utrwalania żywności, zwłaszcza w przypadkach chłodnictwa wysokotemperaturowego (od -10°C do $+5^{\circ}\text{C}$), chłodzoną żywność umieszcza się w komorach kryptoklimatycznych. Komory te pozwalają, przy obniżonej temperaturze, na wytworzenie i utrzymanie skutecznej wilgotności.

Chłodnicze utrwalanie żywności ilustrują schematy technologiczne otrzymywania mrożonych owoców i drobiu na rys. 4.93 i 4.94.

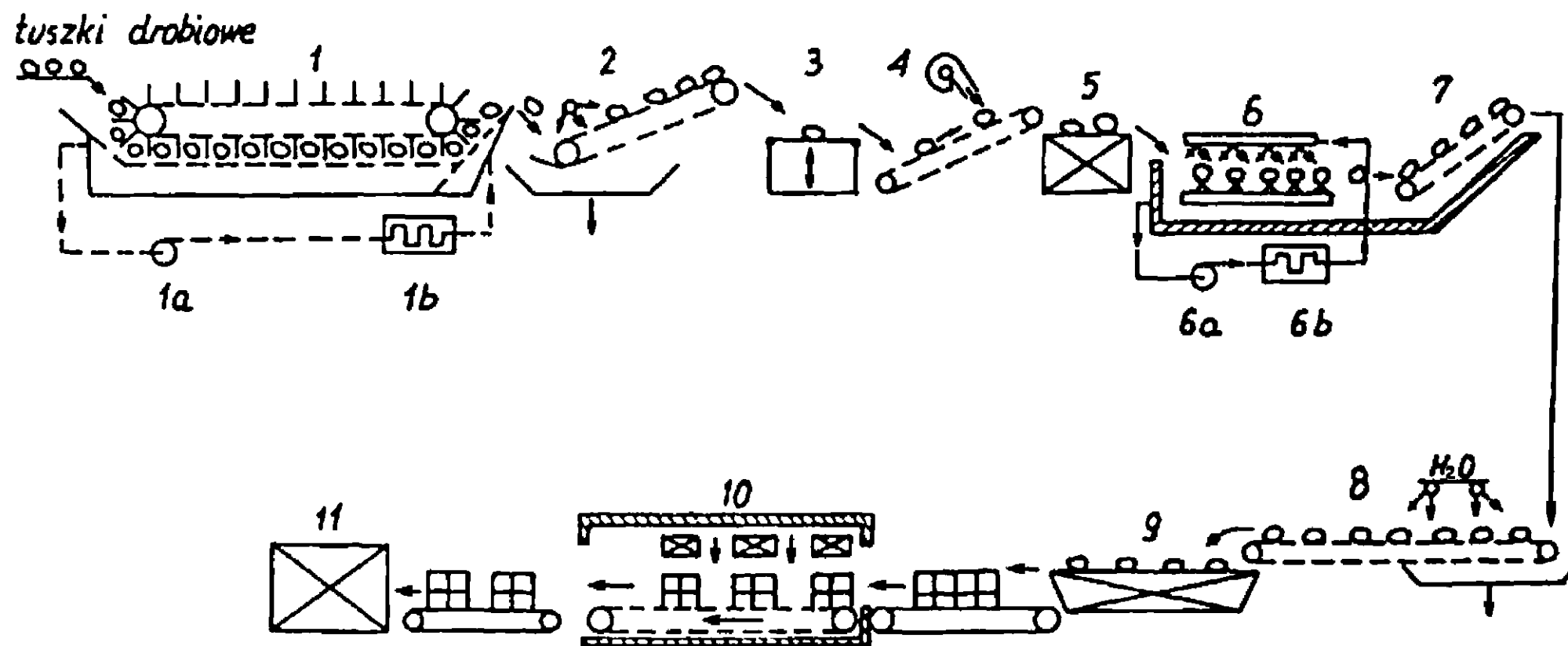
4.4.1.1. Proces technologiczny zamrażania owoców metodą fluidyzacyjną

Zgodnie ze schematem na rys. 4.93 owoce z opakowań paletowych (1) wprowadza się do płuczki wibracyjnej, skąd po wstępnym umyciu trafiają na taśmę ociekowo-kontrolną (3). Na początku taśmy owoce są myte silnym strumieniem wody. W końcowej strefie tego transportera odsączone od nadmiaru wody i wyselekcjonowane owoce są osuszane za pomocą wentylatorów. Osuszone owoce są podnośnikiem (4) dozowane na taśmę tunelowej zamrażarki fluidyzacyjnej (5), gdzie w warstwie fluidalnej zimnego powietrza owoce są zamrażane i taśma zamrażarki przekazuje produkt do pakowania (6). W stanie opakowanym zamrożone owoce są kierowane do chłodni magazynowej (7).





Rys. 4.93. Uproszczony schemat technologiczny zamrażania owoców metodą fluidyzacyjną



Rys. 4.94. Schemat technologiczny immersyjno-owiewowego zamrażania tuszek drobiowych

4.4.1.2. Proces technologiczny zamrażania tuszek drobiowych metodą immersyjno-owiewową

Zgodnie ze schematem na rys. 4.94. tuszki drobiowe są wprowadzane do wanny z wodą chłodzącą (1). Po wstępnym ochłodzeniu, na transporterze ociekowym (2) są obmywane natryskiem wodnym i odsączone od nadmiaru wody. Dodatkowo tuszki tracą wodę na urządzeniu wibracyjnym (3) i na taśmie owiewowej z wentylatorem (4). Opakowane w folię tuszki trafiają do wanny immersyjnej (6), gdzie natryskiem chłodzonej solanki są zamrażane wstępnie. Na taśmie ociekowej (7) tuszki są pozbawione nadmiaru solanki. Transporter ociekowy (8) służy do obmycia mrożonych tuszek natryskiem wodnym i ociekowym usunięciem wody. Dalej tuszki są pakowane w pakiety kartonowe (9) i w tej formie trafiają do owiewowego tunelu mroźnego (10), gdzie dokonuje się końcowa faza mrożenia. Zamrożone pakiety tuszek drobiowych kierowane są do chłodni magazynowej (11). Wanna chłodząca (1) posiada układ kołowego obiegu wody chłodzącej wywołany pompą (1a) przez chłodnicę lodową (1b). Analogicznie wanna immersyjna posiada kołowy obieg solanki mrożącej wymuszany pompą (6a) poprzez parownik agregatu chłodniczego (6b).

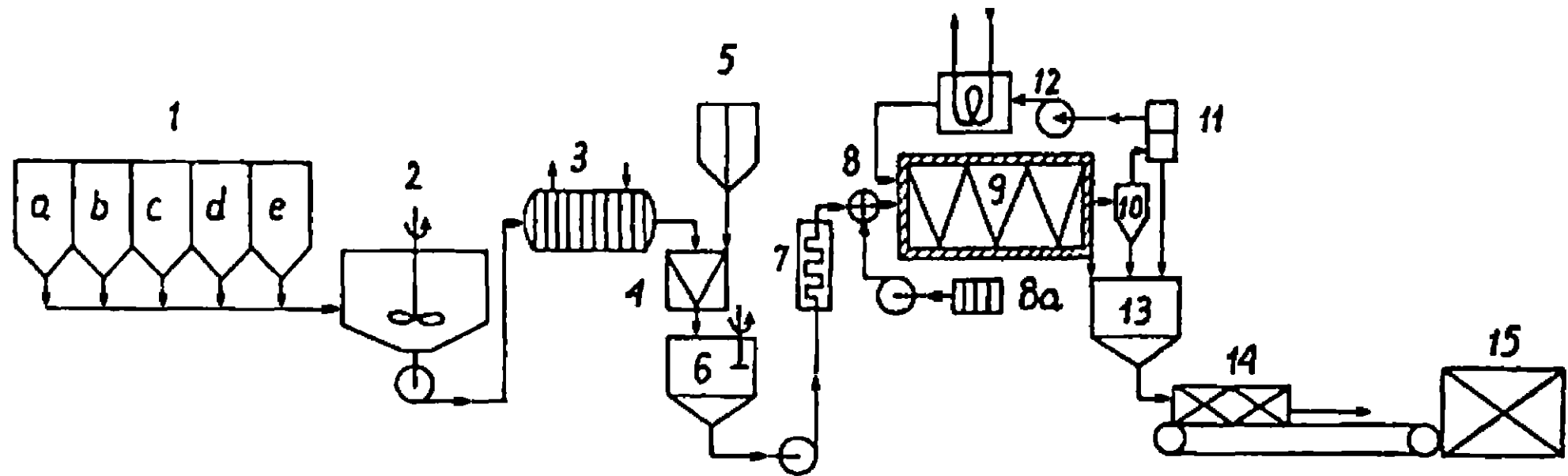
4.4.2. Technologia produkcji mrożonej żywności

W zakres produkcji mrożonej żywności wchodzi procesy technologiczne z udziałem techniki chłodniczej, które prowadzą do wytworzenia produktów posiadających właściwości i cechy charakterystyczne dla żywności mrożonej. Przykładami takiej produkcji i produktów mrożonej żywności mogą być:

- mrożone desery (lody, kremy itp.),
- pierożki i knedle mrożone,
- gotowe dania mrożone.

4.4.2.1. Otrzymywanie lodów

Składniki podstawowe (mleko, jaja, tłuszcze, cukier, owoce itp.) według ustalonego programu są dostarczane (rys. 4.95) ze zbiorników dobowych (1) do mieszalnika (2), w którym sporządzona jest płynna mieszanka.

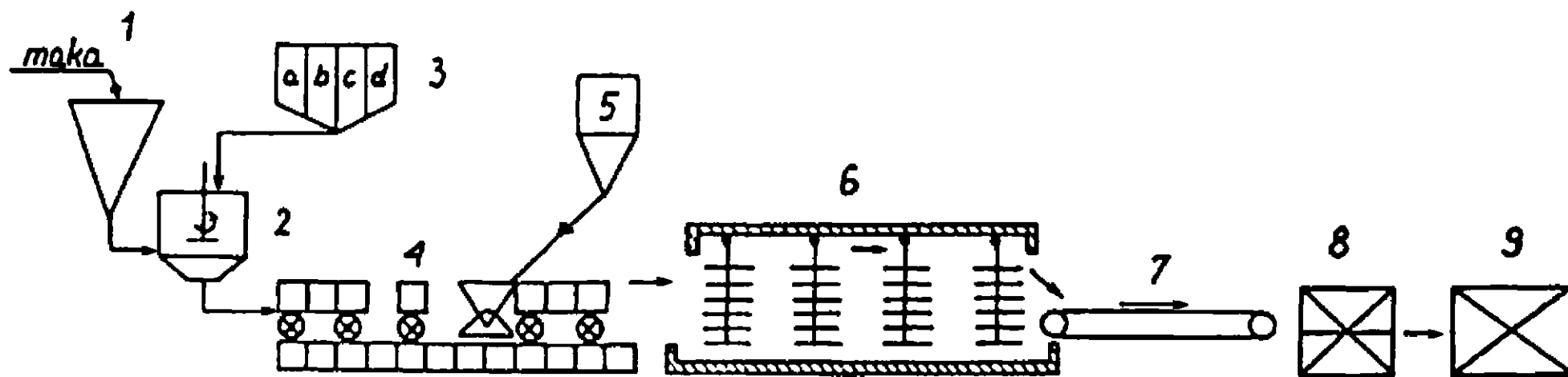


Rys. 4.95. Uproszczony schemat technologiczny otrzymywania deserów mrożonych (lodów)

Mieszanka jest pasteryzowana w pasteryzatorze płytowym (3) i trafia do miksera (4), w którym następuje zmieszanie podstawowej masy z przyprawami i barwnikami ze zbiorników (5), następuje przy tym wstępna homogenizacja mieszanki emulsja wodno-tłuszczowa). Emulsja kierowana jest do mieszadła (6) celem dojrzewania bez rozwarstwiania. Płynną emulsję pompuje się do chłodnicy wstępnej (7). Po ochłodzeniu emulsja przepływa przez homogenizator (8), gdzie kontaktuje się z zimnym powietrzem wtłaczanym pod ciśnieniem (8a). Wytworzona w homogenizatorze półpłynna masa jest wtłaczana do zamrażalnika (9) jednocześnie ze strumieniem zimnego powietrza, będącego w obiegu zamkniętym i płynącym przez cyklon (10), oddzielacz kropel (11), chłodnicę (12) do zamrażalnika. Zhomogenizowana i zamrożona (półpłynna) masa lodowa po opuszczeniu zamrażarki trafia do zasobnika pakowaczki (13) i jest porcjowana oraz pakowana indywidualnie w pakowaczce (14). Kartony zbiorcze produktów z pakowaczki (14) są kierowane do chłodni magazynowej (15).

4.4.2.2. Otrzymywanie mrożonych pierożków

Zgodnie ze schematem na rys. 4.96 do zagniatarki (2) wprowadza się systemem zautomatyzowanym według założonego programu mąkę z silosów (1) oraz inne składniki ciasta jak woda, sól, masa jajowa itp. ze zbiorników (3). W zagniatarce wytwarza się ciasto, z którego w agregacie wieloczynnościowym (4) formuje się pierożki. Do urządzeń formujących jest dostarczony farsz mięsny utworzony wcześniej i składowany w zasobniku (5). W odpowiednim stadium formowania są wytworzone z ciasta i farszu pierożki, które układa się na wielopółkowych wieszakach. Załadowane wieszaki wędrują w tunelu zamrażającym (6). Zamrożone pierożki po rozładowaniu z wieszaków półkowych trafiają na transporter kontrolny (7), gdzie następuje selekcja produktu. Zamrożone pierożki są pakowane w torebki foliowe i w opakowania zbiorcze w pakowaczkach (8), po czym trafiają do chłodni magazynowej (9).



Rys. 4.96. Uproszczony schemat technologiczny otrzymywania mrożonych pierożków

4.5. Biotechnologia żywności

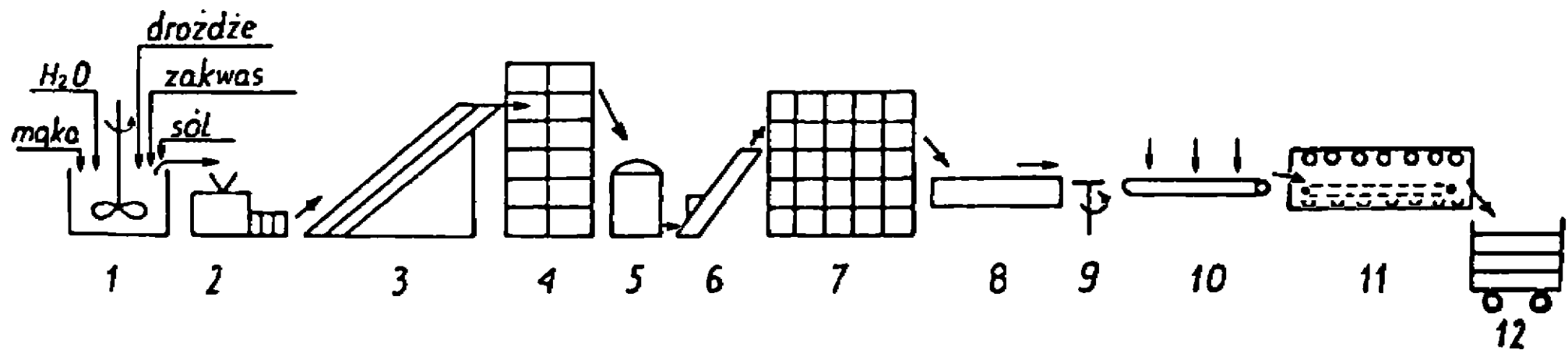
„Biotechnologia jest to zintegrowane zastosowanie wiedzy i techniki w dziedzinach: biochemii, mikrobiologii i nauk inżynierskich w celu technologicznego wykorzystania drobnoustrojów, kultur tkankowych lub części z nich”.

W przemyśle spożywczym procesy biotechnologiczne mają bardzo szerokie zastosowanie, a w wielu działach przetwórstwa mają znaczenie dominujące. Ze względu na konieczność skrócenia czasu przetwarzania materiału, w tym rozdziale zasygnalizowane zostaną tylko niektóre przykłady wytwarzania żywności powstałej z udziałem procesów biotechnologicznych.

4.5.1. Piekarstwo

Przemysł piekarski wytwarza pieczywo chlebowe z mąki pszennej, żytniej i mieszanej oraz niektóre gatunki pieczywa cukierniczego.

Zgodnie ze schematem technologicznym na rys. 4.97 pierwszym etapem procesów otrzymywania pieczywa jest proces wytworzenia ciasta. W tym celu, według wcześniej ustalonego programu, do mieszarki (1) o działaniu ciągłym lub periodycznym (dzieża) wprowadza się takie podstawowe surowce jak woda, mąka i sól oraz zależnie od rodzaju produkowanego pieczywa – świeżo rozwiniętą kulturę drożdży (1a), względnie tzw. zakwas (1b) czyli uaktywnioną na podłożu ciasta pierwotnego, kulturę mieszaną drożdży i bakterii kwasu mlekowego. Odpowiednio wyrobione w mieszarce ciasto jest kierowane do dzielarki (2), gdzie jest odpowiednio porcjowane. Otrzymane w ten sposób kęsy są formowane na specjalnym transporterze dwutaśmowym zwanym zaokrąglarką (3). Wstępnie uformowane kęsy są wprowadzane do komory wstępnej fermentacji (4) celem dokonania rozrostu wstępnego. Po zakończeniu wstępnej fermentacji kęsy są następnie rozwałcowywane (5) oraz zwijane (6) z jednoczesnym ułożeniem uformowanych kęsów do komory rozrostu końcowego (7). Proces rozrostu końcowego jest regulowany układem klimatyzacyjnym oraz cyklem obiegu pólki w komorze. Kęsy po fermentacji końcowej w czasie transportu (8) trafiają do nacinarki (9), po czym następuje smarowanie polewą powierzchni bochenków, względnie posypywanie przyprawami na transporterze (10) z podsypką mączną lub otrębową.



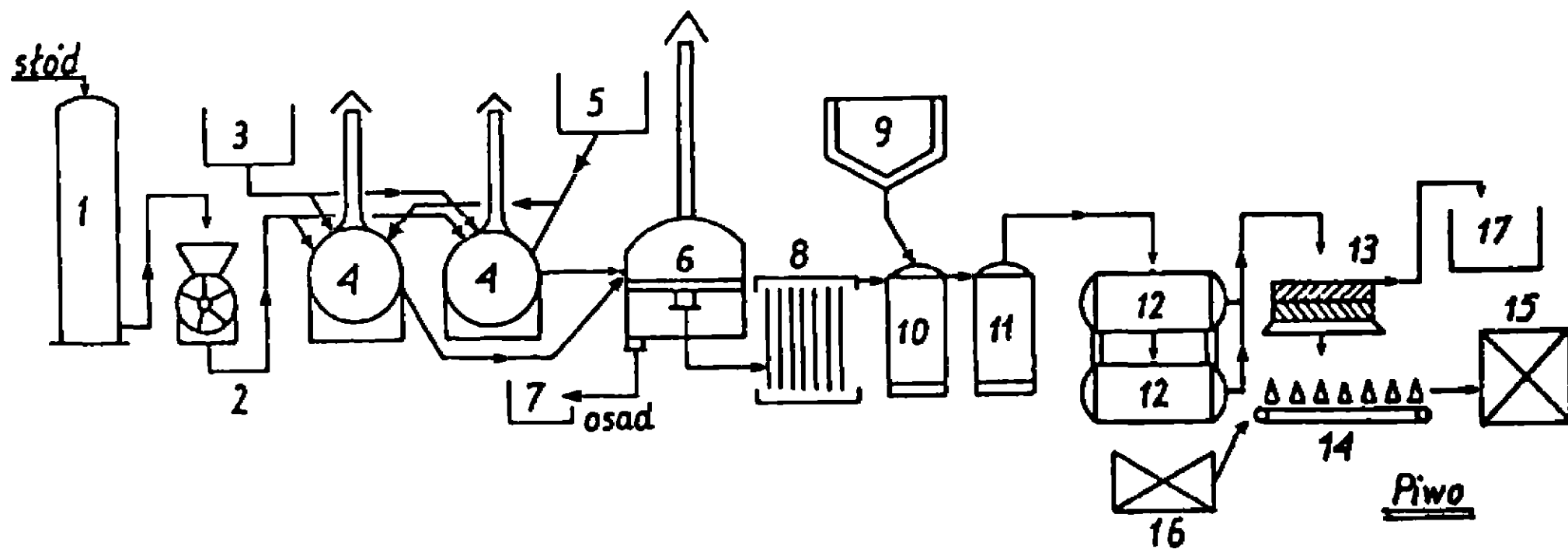
Rys. 4.97. Uproszczony i skrócony schemat technologiczny otrzymywania pieczywa chlebowego

Z transportera (10) oznakowane bochenki trafiają do cyklotermicznego pieca taśmowego (11). Wypieczone bochenki są układane na półkach siatkowych specjalnych stojaków (12), gdzie podlegają temperowaniu czyli programowemu chłodzeniu.

4.5.2. Piwowarstwo

Podstawowymi surowcami do produkcji piwa w browarach są: woda, słód czyli skielkowane ziarna jęczmienia, szyszki chmielowe oraz drożdże dolnej fermentacji. Zgodnie ze schematem na rys. 4.98 wyprodukowany w słodowni słód, magazynowany w silosach browaru jest poddawany rozdrabnianiu na śrutowniku (2). Zmielony słód jest kierowany do warzelni, której głównym wyposażeniem są kotły warzelne (4). Do kotłów warzelnych celem ugotowania brzezki, poza zmielonym słodem, wprowadza się wodę ze zbiornika (3) oraz szyszki chmielowe lub ekstrakt chmielowy ze zbiornika (5). Brzeczkę surową z kotłów warzelnych przetacza się do kadzi osadowo-wirowej (6), w której następuje wydzielenie tzw. gorących osadów brzezki i zebranie tych osadów w zbiorniku (7). Wstępnie sklarowana brzezka jest następnie chłodzona w płytowych wymiennikach ciepła (8) i trafia do kadzi zarodowych (10), a następnie do tanko-fermentatorów (11). W kadziach zarodowych następuje zaszczepienie brzezki drożdżami wprowadzonymi ze stacji propagacji nowych kultur drożdżowych (9). Po dokonanej fermentacji (8-10 dni) w tanko-fermentatorach, młode piwo jest kierowane dla dojrzewania (ok. 30 dni) w leżakowni (12). Odleżakowane piwo jest filtrowane na filtrach ciśnieniowych (13) z udziałem ziemi okrzemkowej. Przefiltrowane piwo jest zbierane w zbiornikach pośrednich (17) lub podlega rozlewaniu do beczek, względnie butelek na rozlewaczce (14) zasilanej naczyniami z oddziału myjni (16). Zapakowane w butelki lub beczki piwo jest kierowane do magazynu (15).





Rys. 4.98. Uproszczony schemat technologiczny otrzymywania piwa

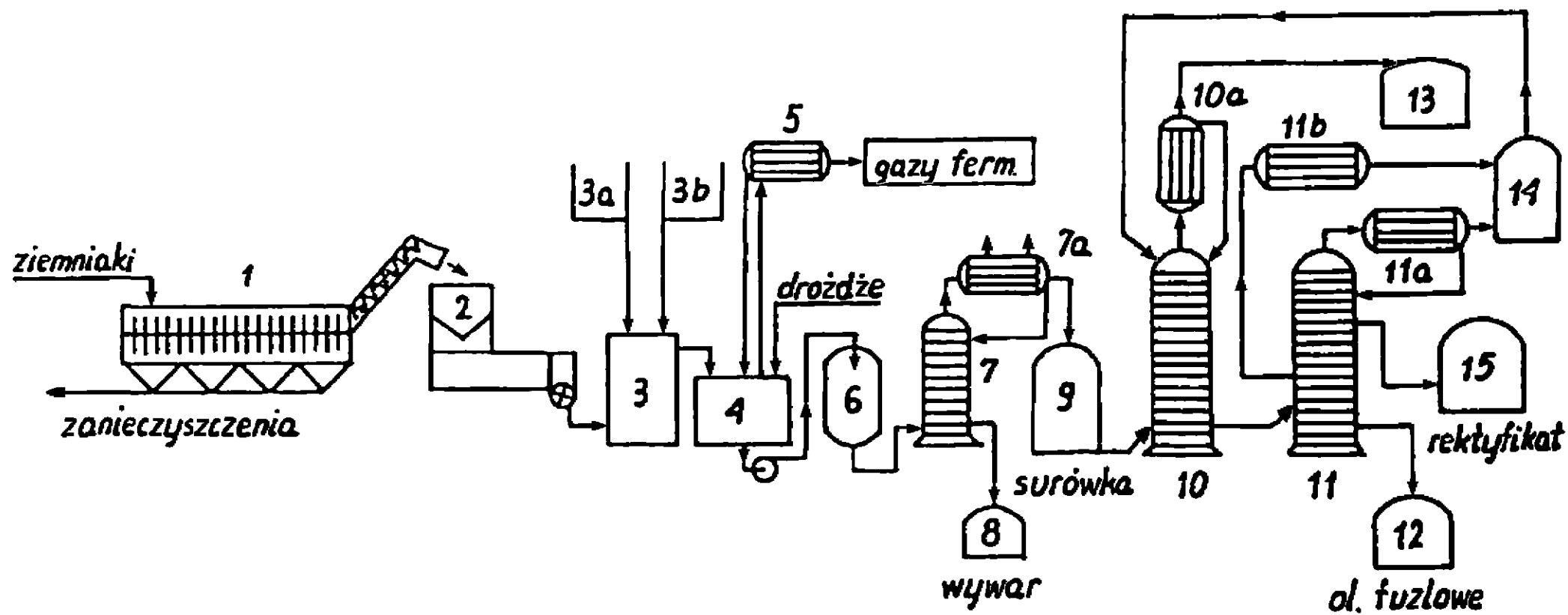
4.5.3. Gorzelnictwo i drożdźownictwo

Produktami głównymi tych dwu pokrewnych gałęzi przemysłu fermentacyjnego są: etanol w postaci spirytusu rektyfikowanego i drożdże. W gorzelnii i w drożdźowni procesem dominującym jest proces fermentacji alkoholowej surowców cukrowych. Różnica między gorzelnictwem a drożdźownictwem polega na zróżnicowanych warunkach fermentacji etanolowej, prowadzących do tego, że w gorzelnii fermentacja jest prowadzona celowo przy mniejszym napowietrzaniu brzezki po to, aby uzyskać maksymalną wydajność etanolu. Podczas gdy w drożdźowni proces fermentacyjny w warunkach maksymalnego napowietrzenia prowadzi do intensywnego gromadzenia biomasy drożdżowej przy niewielkiej wydajności etanolu. Produktami ubocznymi obu tych gałęzi przemysłu jest wytwarzany w dużych ilościach dwutlenek węgla oraz wywar, który – w przypadku wykorzystania do procesu surowców skrobiowych – stanowi bardzo cenną paszę.

4.5.3.1. Otrzymywanie spirytusu rektyfikowanego

Przemysł gorzelniczy produkuje dwa rodzaje spirytusu, a mianowicie spirytus rektyfikowany do celów spożywczych i leczniczych oraz spirytus bezwodny do celów przemysłowych. Surowcami głównymi do otrzymywania spirytusu rektyfikowanego są zwykle roślinne surowce skrobiowe (ziarna zbóż, ziemniak) lub owoce podczas, gdy najważniejszym surowcem do produkcji spirytusu bezwodnego jest melas czyli odciek przy produkcji cukru krystalicznego. W praktyce gorzelniczej z różnych powodów stosuje się melas również do produkcji rektyfikatu, zwłaszcza w postaci jednego ze składników cukronośnych obok surowców skrobiowych.

W gorzelnii ziemniaczanej (rys. 4.99), ziemniaki są płukane w płuczce (1), po czym podawane są do parownika (2), gdzie ulegają uparowaniu i zamianie na miazgę. Uparowana masa ziemniaczana jest wdmuchiwana do kadzi zaciernej (3) celem upłynnienia i scukrzenia skrobi za pomocą enzymów amylolitycznych dostarczanych do kadzi ze zbiornika (3b) jednocześnie z wodą wprowadzaną ze zbiornika (3a).



Rys. 4.99. Uproszczony echatemat technologiczny otrzymywania spirytusu rektyfikowanego z ziemniaków

Preparaty enzymatyczne mogą być wprowadzane pod postacią rozdrobnionego siodu względnie w postaci preparatu pochodzenia bakteryjnego i pleśniowego. Scukrzony w kadzi zaciernej zacier po ochłodzeniu jest wprowadzany do kadzi fermentacyjnej (4). Do kadzi fermentacyjnych wprowadza się również drożdże zarodowe rozmnożone w oddzielnych kadziach drożdżowych. Z kadzi fermentacyjnych odprowadza się gazy fermentacyjne (CO_2). Gazy te odprowadzane przez chłodnicę zwrotną lub płuczkę (5), pozwalającą na odzyskanie odparowanego etanolu. Po 2-3 dobach fermentacji zacier z baterii kadzi fermentacyjnych jest pompowany do zbiornika pośredniego (6), zasilającego kolumnę odpędową (7). W kolumnie odpędowej, wyposażonej w deflegmator i chłodnicę (7a) otrzymuje się spirytus surowy, gromadzący się w zbiorniku (9). Cieczą wyczerpaną kolumny odpędowej jest wywar, gromadzony w zbiorniku (8). Surówką ze zbiornika (9) jest zasilana kolumna epiuracyjna (10) służąca do wydzielania frakcji substancji niskowrzących, która przechodząc przez deflegmator i chłodnicę (10a) jest gromadzona w zbiorniku (13). Natomiast frakcja główna substancji wyżej wrzących z dołu kolumny epiuracyjnej zasila kolumnę rektyfikacyjną (11). Kolumna rektyfikacyjna wyposażona jest w cztery miejsca odbioru frakcji. Z górnych półek kolumny (11) odbiera się frakcję niskowrzącą, która przechodząc przez deflegmator i chłodnicę (11a) gromadzi się w zbiorniku pośrednim (14). Ze środkowych półek odbiera się główny produkt, czyli rektyfikat gromadzony w zbiorniku (15). Poniżej odbioru rektyfikatu odbiera się frakcję średnią, która poprzez chłodnicę (11b) zbiera się w zbiorniku pośrednim (14) i w całości powraca na górne półki kolumny epiuracyjnej (10). Na samym dole kolumny rektyfikacyjnej (11) odbiera się frakcję wysokowrzących olejów fuzlowych złożonych w większości z wyższych alkoholi, gromadzących się w zbiorniku (12).

4.5.4. Mleczarstwo

Przedmiotem produkcji przemysłu mleczarskiego jest wytwarzanie z mleka surowego napojów mlecznych zwykłych i fermentowanych, mleka skondensowanego, mleka w proszku, śmietany i masła oraz serów twarogowych i dojrzewanych.



W technologii większości tych przetworów i produktów dominują procesy o charakterze fizykochemicznym z wyjątkiem napojów mlecznych fermentowanych i serów a zwłaszcza serów dojrzewanych. Otrzymywanie ostatnich dwóch grup produktów odbywa się dzięki dominującej roli procesów biotechnologicznych.

4.5.4.1. Otrzymywanie mlecznych napojów fermentowanych

Przemysłowa produkcja mlecznych napojów fermentowanych obejmuje następujące procesy technologiczne:

- wybór surowca (mleka),
- normalizacja składu (tłuszcz, białko, cukry),
- homogenizacja,
- pasteryzacja,
- chłodzenie,
- przygotowanie zakwasów i szczepów,
- fermentacja i rozlew (lub odwrotnie).

Jak widać z powyższego zestawu pierwsze pięć procesów nosi charakter procesów fizykochemicznych lub fizycznych i może być określone mianem przygotowania surowca do zasadniczych operacji biotechnologicznych, wyrażonych skrótowo w ostatnich dwóch operacjach. Właściwy i specyficzny charakter mlecznym napojom fermentowanym nadaje się przez dobór odpowiednich szczepów drobnoustrojów. Skomponowanie właściwych zestawów tych szczepów. Otrzymanie zakwasów lub szczepionek liofilizowanych, zaszczepienie nimi uprzednio przygotowanego mleka, przeprowadzenie fermentacji i zabezpieczenie produktu. Najbardziej rozpowszechnionymi napojami fermentowanymi z mleka są:

a) jogurt – jest to napój pochodzenia azjatyckiego (Indie, Turcja) oparty na mleku krowim, bawolim. owczym lub innym – zależnie od regionu. Fermentację mleka wywołuje się hodowlą kwaszących drobnoustrojów ciepłolubnych, wśród których przeważają: *Lb.bulgaricus*, *Str.thermophilus*, *Lb.jogurti*.

b) kefir – napój wywodzący się z Kaukazu. Powstaje przez odfermentowanie mleka z udziałem ziarniaków (grzybków) kefirowych. Charakterystyczną cechą tego napoju jest to, że dzięki specjalnym uzdolnieniom ziarniaków kefirowych powstają w nim produkty fermentacji mlekowej i alkoholowej.



- c) inne mleczne napoje fermentowane to:**
- mleko ukwaszone (zsiadłe),
 - mleko acydofilne,
 - kumys z mleka kłaczy lub z mleka krowiego,
 - maślanka.

4.5.4.2. Sery twarogowe i dojrzewające

Sery twarogowe są to produkty powstałe przez podpuszczkowe lub kwasowe wydzielenie skrzepu z mleka i fizyczną obróbkę tego skrzepu.

Sery dojrzewające są to trwałe produkty mleczne, powstałe w wyniku biotechnologicznej obróbki podpuszczkowego lub kwasowego skrzepu mleka.

Ze względu na charakter skrzepu wyróżnia się sery podpuszczkowe, sery kwasowe i mieszane (podpuszczkowo-kwasowe).

W produkcji serów dojrzewających najbardziej uwidacznia się dominujący wpływ procesów biotechnologicznych w kształtowaniu walorów odżywczych, smakowych i trwałości tych produktów. Szczegółowa klasyfikacja serów dojrzewających jest w znacznym stopniu zróżnicowana u różnych autorów. Na ogół jednak przeważają następujące kryteria podziału:

- a) zawartość wody (s. twarde i miękkie),
- b) charakter czynników biorących udział w dojrzewaniu.

Sery dojrzewające możemy podzielić na:

1. Sery twarde dojrzewające z udziałem bakterii

- bardzo twarde; do 34% wody (parmezan, osiago, romano, sbirinz),
- twarde z oczkami; do 45% wody (ementalski, grojer),
- twarde bez oczek; do 45% wody (cheddar, cheshir, leicester),
- półtwarde z oczkami; do 50% wody (edamski, gouda).

2. Sery półmiękkie, dojrzewające powierzchniowo z udziałem bakterii

- do 55% wody (tylżycki, limburski, brick).

3. Sery półtwarde, dojrzewające wewnątrz z udziałem pleśni (produkty o zaawansowanych przemianach proteolitycznych i lipolitycznych)

- do 52% wody (requafort, stilton, blue itp.).

4. Sery miękkie, dojrzewające powierzchniowo z udziałem pleśni – do 55% wody (camembert, neufchatel, brie itp.).

5. Sery miękkie, konserwowane, dojrzewające z udziałem bakterii.

Procesy technologiczne w produkcji serów dojrzewających obejmują następujące etapy:

- fizykochemiczna obróbka i przygotowanie mleka,
- wytworzenie i wydzielenie skrzepu,
- zaszczepienie (zainicjowanie fermentacji),
- uformowanie,
- fermentacja czyli długotrwałe dojrzewanie,
- zabezpieczenie powierzchniowe (woskowanie, konserwowanie).

Procesy fermentacji i dojrzewania serów nadające właściwy charakter produktom, wywoływane są przez następujące drobnoustroje działające indywidualnie lub synergicznie, przeważnie jednak działające zespołowo:

- a) bakterie fermentacji mlekowej,
- b) bakterie fermentacji propionowej,
- c) bakterie dojrzewania powierzchniowego – (*Brevibacterium linens*),
- d) pleśnie z rodzaju *Penicillium* – (*P. roqueforti*, *P. candidum*, *P. camemberti*).

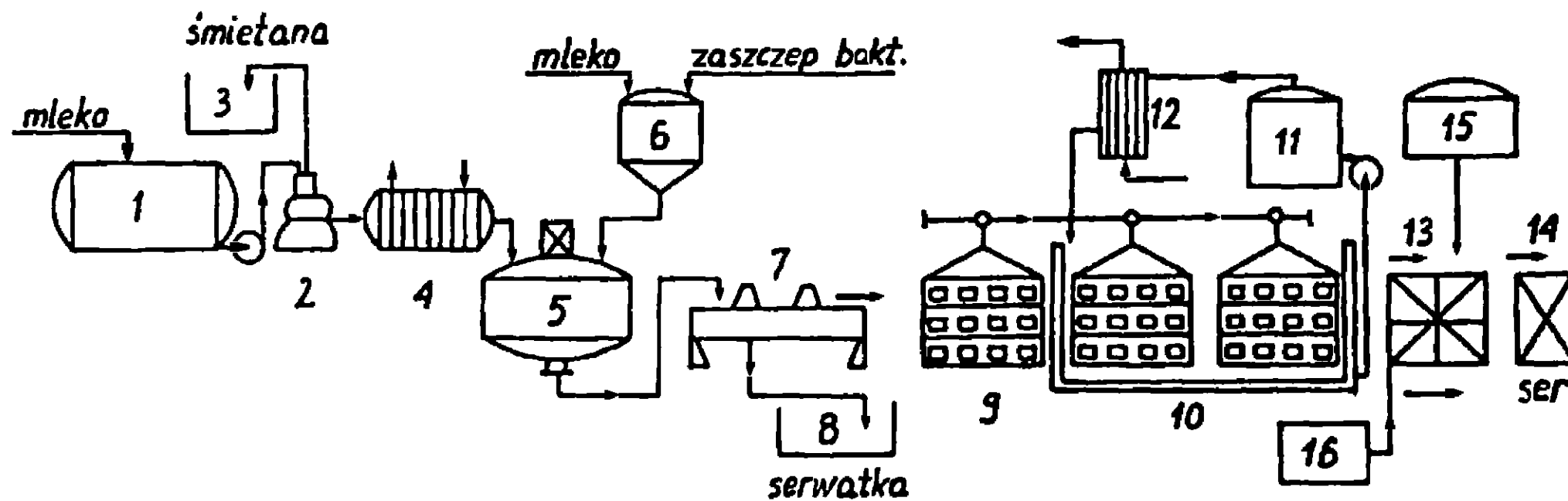
Proces technologiczny dojrzewania serów najczęściej jest dokonywany w formie długotrwałego przetrzymywania zaszczepionego i uformowanego sera w termostatowanych komorach. Wyjątek stanowi proces dojrzewania serów konserwowanych, których dojrzewanie prowadzi się przez zanurzenie i przetrzymywanie sera w specjalnej solance i zakonserwowanie uformowanych porcji przez zamknięcie w puszkach z udziałem zalewy solankowej. Jest to niewątpliwie specyficzny sposób dojrzewania i zabezpieczenia serów i dlatego przytaczamy na rys. 4.100 – schemat technologiczny otrzymywania sera konserwowanego „solan”.

Zgodnie z układem schematu na rys. 4.100 świeże mleko z tanków (1) jest kierowane do separatora (2), gdzie następuje wydzielenie śmietany i skierowanie jej do zbiornika (3), a odwirowane mleko przechodzi do pasteryzatora płytowego (4). Spasteryzowane mleko wprowadzane jest do baterii kotłów serowarskich (5), tam spotyka się z zakwasem serowarskim z młotecznika (6). W kotłach serowarskich następuje tworzenie sernika. Po całkowitej koagulacji następuje spuszczenie gęstwy serowej do skrzyni serowarskich (7) z jednoczesnym odprowadzeniem serwatki do zbiornika (8).



W skrzyni serwowarskiej następuje formowanie zwartej masy serowej, gdzie po uformowaniu zwartej warstwy następuje jej prasowanie i krojenie na kostki. Uformowany i pocięty na porcje ser jest ładowany do kontenerów (9) i wraz z nimi wprowadzany jest do basenu solankowego, gdzie ser dojrzewa. Basen solankowy jest zasilany kołowym obiegiem solanki poprzez zbiornik solanki (11) i chłodnicę (12). Po zakończeniu dojrzwania sera jest on wyładowywany z kontenerów solankowych i kierowany do agregatu pakującego porcje w puszki (13). Agregat pakujący jest zasilany w pasteryzowaną zalewę solankową ze zbiornika (15) oraz w puszki blaszane z zasobnika (16). Puszki zamknięte z serem w zalewie są pakietowane i kierowane do magazynu (14).





Rys. 4.100. Skrócony i uproszczony schemat technologiczny otrzymywania dojrzewającego sera „Solon”

5. WSPÓLCZESNE KIERUNKI ROZWOJU TECHNOLOGII ŻYWNOSCI POCHODZENIA ROŚLINNEGO

We współczesnych kierunkach rozwoju technologii żywności, na szczególne wyróżnienie zasługują zagadnienia związane ze zwiększeniem bazy surowcowej i ulepszeniem składu oraz udoskonaleniem poszczególnych procesów technologicznych w oparciu o najnowsze osiągnięcia nauki i techniki.

5.1. Zwiększenie i ulepszenie produkcji roślinnej

W produkcji żywności i energii podstawową rolę odgrywa zjawisko fotosyntezy, tj. biologiczny proces wytwarzania węglowodanów z dwutlenku węgla oraz wody przy udziale promieniowania słonecznego. Bezpośrednimi produktami fotosyntezy są triozy i heksozy, które w procesach metabolicznych zmieniają się w polisacharydy, białka, tłuszcze, witaminy. Substancje te stanowią materiały budulcowe komórek oraz są substancjami zapasowymi. Równocześnie rośliny stanowią pokarm dla zwierząt i człowieka. Stąd też produkty fotosyntezy stanowią bezpośrednie lub pośrednie pożywienie człowieka oraz bazę surowcową przemysłu spożywczego.

Analiza globalnych uwarunkowań zwiększenia produkcji roślinnej, a zwłaszcza produkcji rolnej wskazuje z jednej strony na określone rezerwy i wielki potencjał rozwojowy, oparty na biotechnologii, a z drugiej strony na narastające trudności i ograniczenie związane z eksplozją demograficzną i ekologiczną.

Większość zadań i celów, stawianych dla zwiększenia i polepszenia produkcji roślinnej można zgrupować następująco:

- a) podwyższenie plonowania,
- b) zwiększenie wartości odżywczej i technologicznej roślin,
- c) obniżenie kosztów i energochłonności produkcji rolnej.

Badania nad fotosyntezą i racjonalnym wykorzystaniem energii słonecznej stanowią jeden z najważniejszych kierunków poprawy plonowania i obniżenia kosztów produkcji rolnej. Badania te obejmują:

- inżynierię genetyczną podstawowych enzymów dwutlenku węgla i białek chloroplastowych celem zwiększenia ich poziomu w komórce i genetycznej modyfikacji aktywności biologicznej,
- poznanie mechanizmów regulujących wzrost i starzenie się,
- optymalizację rozpraszania asymilatów,
- wprowadzanie nowych odmian roślin uprawnych o takich cechach budowy anatomicznej, które zwiększają wykorzystanie energii słonecznej.

Wprowadzenie nowych odmian roślin uprawnych o zmodyfikowanych właściwościach genotypowych opiera się na unikalnej właściwości roślin wyższych tzw. totipotencji, tj. zdolności do pełnej regeneracji roślin z pojedynczej komórki przy zachowaniu określonych warunków wzrostu.

Hodowla roślin uprawnych zależy w dużym stopniu od intensywnego i kosztownego nawożenia azotowego. Szacuje się, że nawożenie azotowe pochłania około 30% energii zużywanej w rolnictwie i stanowi 30–40% całkowitej wartości plonów. Alternatywą dla nawożenia chemicznego jest biologicznie wiązanie wolnego azotu. Dlatego w ostatnich latach rozwinęły się intensywne badania nad wykorzystaniem i rozszerzeniem biologicznego wiązania azotu. W przyrodzie istnieje kilka typów układów wiązania wolnego azotu. Największe znaczenie mają układy symbiotyczne bakterii rodzaju *Rhizobium* z roślinami motylkowymi. Podejmowane są intensywne badania nad ulepszeniem istniejącego układu symbiotycznego oraz rozszerzenie zakresu symbiotycznego wiązania na inne rośliny. Tworzenie nowych układów symbiotycznych jest jednak bardzo skomplikowane.

W aspekcie technologii żywności najistotniejsze są zagadnienia związane ze zwiększeniem wartości odżywczych i technologicznych roślin. Badane są możliwości zwiększenia zawartości aminokwasów egzogennych w głównych frakcjach białkowych zbóż i roślin strącz-



kowych. Do osiągnięcia tego celu podejmuje się próby wprowadzania do genomu rośliny genów kodujących grupę żywieniowo korzystnych białek. Pośrednią metodą zwiększenia wartości odżywczej żywności jest jej wzbogacanie w aminokwasy egzogenne otrzymywane metodami biotechnologicznymi, tj. w drodze fermentacji lub z zastosowaniem enzymów. Obecnie rozwijane są technologie produkcji lizyny, kwasu glutaminowego i innych aminokwasów z użyciem aktywnych mutantów odpowiednich szczepów bakterii lub wyizolowanych z nich i unieruchomionych enzymów, Substratami są roztwory glukozy lub sacharozy oraz amoniak, mocznik lub sole amonowe.

Przykładem genetycznie ulepszonych surowca jest wyhodowanie tzw. niskoerukowych odmian rzepaku. W nieulepszonych odmianach rzepaku w jego nasionach powstaje blisko 50% trójglicerydów zawierających dwudziestodwuwęglowy kwas erukowy, który powstaje z kwasu stearynowego i reszty kwasu octowego przy udziale enzymu elongazy. Przez blokadę enzymu lub jego genetyczne usunięcie następuje zatrzymanie dalszej syntezy kwasów tłuszczowych na osiemnastym węglu i zwiększenie szybkości reakcji dehydrogenacji z utworzeniem pożądanych kwasów nienasyconych, tj. kwasu oleinowego i linolinowego. Dzięki temu olej z rzepaku odmian niskoerukowych jest zbliżony do oleju z oliwek.

Interesującym przykładem wyhodowania przez biologów nowego surowca roślinnego i konieczności opracowania technologii jego przetwarzania w żywność jest zagadnienie wykorzystania ziarna pszenżyta w przemyśle piekarskim.

W klimatycznych i glebowych warunkach naszego kraju pszenżyto rokuje nadzieję na poprawę bilansu zbożowego. Wynika to z faktu, że udało się wyhodować nową roślinę, która pod względem zawartości białka jest zbliżona do pszenicy, a pod względem wymagań glebowych podobna do żyta, które jest dotychczas zbożem powszechnie uprawianym w Polsce i najlepiej dostosowanym do warunków glebowo-klimatycznych.

Przeciętna zawartość białka ogólnego z ziarna pszenicy, żyta i pszenżyta wynosi odpowiednio: 12%, 10% i 13,5%. Zawartość zaś glutenu mokrego analogicznie: 30,7%, 0 i 18,6%. Ponadto ziarno pszenżyta ma najwyższą aktywność β -amylazy w porównaniu z ziarnem pozostałych zbóż.

O właściwościach wypiekowych mąki pszennej decyduje duża zawartość glutenu i jego pożądane cechy fizyczne oraz wysoka aktywność amylolityczna. Mąka z pszenżyta pomimo dużej zawartości białka zawiera jednak znacznie mniej glutenu. Z tego względu ziarno pszenżyta ma lepsze właściwości jako zboże paszowe niż pszenica. Cechy jakościowe mąki z pszenżyta wykazują przeciętnie pośrednią wartość pomiędzy mąką pszenną a żytnią. Struktura i właściwości ciasta z mąki pszenżyta są podobne do ciasta z mąki pszennej złej jakości. Właściwości reologiczne ciasta pszenżytniego są specyficzne i odmienne od ciasta pszennego i żytniego. Także pieczywo pod względem oragnoleptycznym ma cechy pośrednie pomiędzy pieczywem pszennym i żytnim. Przy zastosowaniu drożdży z dodatkiem kwasu mlekowego i odpowiednie prowadzenie fermentacji ciasta, mąka z pszenżyta nadaje się do wypieku chleba, którego cechy są podobne do chleba pszenno-żytniego.

Prace hodowlane nad ulepszeniem pożądanych cech pszenżyta są kontynuowane i można oczekiwać poprawy jakości mąki jako surowca do wyrobów piekarskich. Równolegle trwają prace badawcze nad optymalizacją procesu technologicznego.

W wielu krajach świata dąży do rozszerzenia bazy surowcowej o niekonwencjonalne źródła żywności. Najczęściej prowadzi się badania nad wykorzystaniem glonów z rodzaju *Chlorella* i *Spirulina* jako pokarmu dla zwierząt i ludzi. Obecnie mimo wysokiego dobowego plonu biomasy rzędu 100 kg s.s. w przeliczeniu na hektar, nie prowadzi się hodowli glonów na dużą skalę. Powodem tego jest wysoki koszt wyodrębniania białek z komórek glonów. Ściany komórkowe glonów są odporne na enzymy trawienne występujące w przewodzie pokarmowym większości zwierząt. Dlatego konieczne jest niszczenie ścian komórkowych, wirowanie, koncentracja i inne procesy prowadzące do otrzymania odpowiednio dyspozycyjnych koncentratów białkowych.

5.2. Udoskonalanie i unowocześnianie procesów technologicznych

Tradycyjne technologie wytwarzania produktów żywnościowych rozwinęły się na podstawach empirycznych i były doskonałe metodą



prób i błędów. Nowe zaś technologie oraz udoskonalenia tradycyjnych technologii w coraz większym stopniu opierają się na wynikach badań mechanizmów zjawisk zachodzących w produktach i surowcach, warunkujących wysoką jakość produktów oraz zapewniających minimalne zużycie energii i skuteczną ochronę środowiska. Postęp w technologii jako wynik badań podstawowych i stosowanych jest znakiem naszych czasów. Nowoczesne osiągnięcia fizyki, a zwłaszcza elektroniki są także stosowane do automatyzacji i sterowania procesami przemysłu spożywczego.

W technologii żywności postęp technologiczny jest mniej efektowny. Jedną z przyczyn takiego stanu jest mniejsze zaawansowanie badań podstawowych w tej dziedzinie. Niemniej jednak w oparciu o wyniki badań z wielu dziedzin nauk podstawowych rozwinęły się nowe procesy w technologii żywności takie, jak: procesy membranowe i chromatograficzne, ekstruzja, aglomeryzacja, mikrokapsułkowanie, teksturowanie, procesy biotechnologiczne, grzejnictwo mikrofalowe.

Charakterystyczną cechą nowoczesnej technologii żywności jest coraz wyraźniejsza integracja technologii z bazą surowcową. Dzięki coraz szerzej stosowanym w rolnictwie zdobyczom biotechnologii i inżynierii genetycznej następuje wspomniane wyżej udoskonalenie składu surowców w pożądanym kierunku i w związku z tym technologiczny przerób surowców jest znacznie dogodniejszy.

Istotnym zadaniem nowoczesnej technologii żywności jest zapewnienie wysokiej standaryzowanej jakości produktów oraz tworzenie nowej jakości wychodząc z surowców o zupełnie odmiennych cechach.

5.2.1. Procesy membranowe

Procesy membranowe są związane ze zjawiskiem przemieszczania się określonych składników roztworu przez półprzepuszczalne przegrody (membrany). W zależności od właściwości membrany, przez jej pory mogą przenikać cząsteczki o różnej masie molowej. W przypadku szczególnym przez półprzepuszczalną przegrodę może przenikać jedynie woda, która ma małą masę molową i jest najczęściej występującym rozpuszczalnikiem dla naturalnych roztworów, które są poddawane obróbce technologicznej w przemyśle spożywczym. W tym przypadku z zastosowaniem procesu membranowego może być prowadzone zatę-

żanie roztworów z uniknięciem odparowania. Siłą napędową procesów membranowych może być różnica stężenia, różnica ciśnienia, różnica temperatur oraz różnica potencjału elektrycznego. Największe znaczenie praktyczne w przemyśle spożywczym ma zjawisko oparte na różnicy ciśnienia jako sile napędowej procesu ultrafiltracji i odwróconej osmozy.

Osmoza jest zjawiskiem fizycznym związanym ze stanem równowagi termodynamicznej dwóch roztworów przedzielonych membraną przepuszczalną wyłącznie dla rozpuszczalnika. Dążność układu do osiągnięcia stanu równowagi prowadzi do przepływu rozpuszczalnika w kierunku roztworu o wyższym stężeniu. Ciśnienie równowagowe, zwane ciśnieniem osmotycznym, wyraża się wzorem

$$\Pi = \frac{c \cdot RT}{M};$$

gdzie: c — molarność roztworu jest wyrażona liczbą moli substancji rozpuszczonej w $[m^3]$ roztworu,

R — stała gazowa,

T — temperatura $[K]$,

M — masa cząsteczkowa.

W warunkach izotermicznych aktywność rozpuszczalnika zależy od stężenia i ciśnienia. Zwiększenie stężenia i ciśnienia zwiększa aktywność. Podziałanie na roztwór ciśnieniem zewnętrznym większym od ciśnienia osmotycznego, wytwarza różnicę aktywności rozpuszczalnika przeciwnie skierowaną w stosunku do różnicy jaka występuje przy ciśnieniu niższym od ciśnienia równowagi, tj. ciśnienia osmotycznego. W tym przypadku rozpuszczalnik z roztworu o wyższym stężeniu przechodzi przez membranę do roztworu o niższym stężeniu. Kierunek przepływu rozpuszczalnika jest więc odwrotny do kierunku przepływu rozpuszczalnika występującym przy zjawisku osmozy. Dlatego zjawisko to nazywa się odwróconą osmozą. Niezbędnym warunkiem przebiegu zjawiska odwróconej osmozy w przypadku dwóch roztworów przedzielonych przegrodą przepuszczalną wyłącznie dla rozpuszczalnika jest spełnienie nierówności:

$$p_1 - \Pi_1 > p_2 - \Pi_2,$$

gdzie: p_1 — ciśnienie zewnętrzne nad roztworem pierwszym,

Π_1 — ciśnienie osmotyczne roztworu pierwszego,



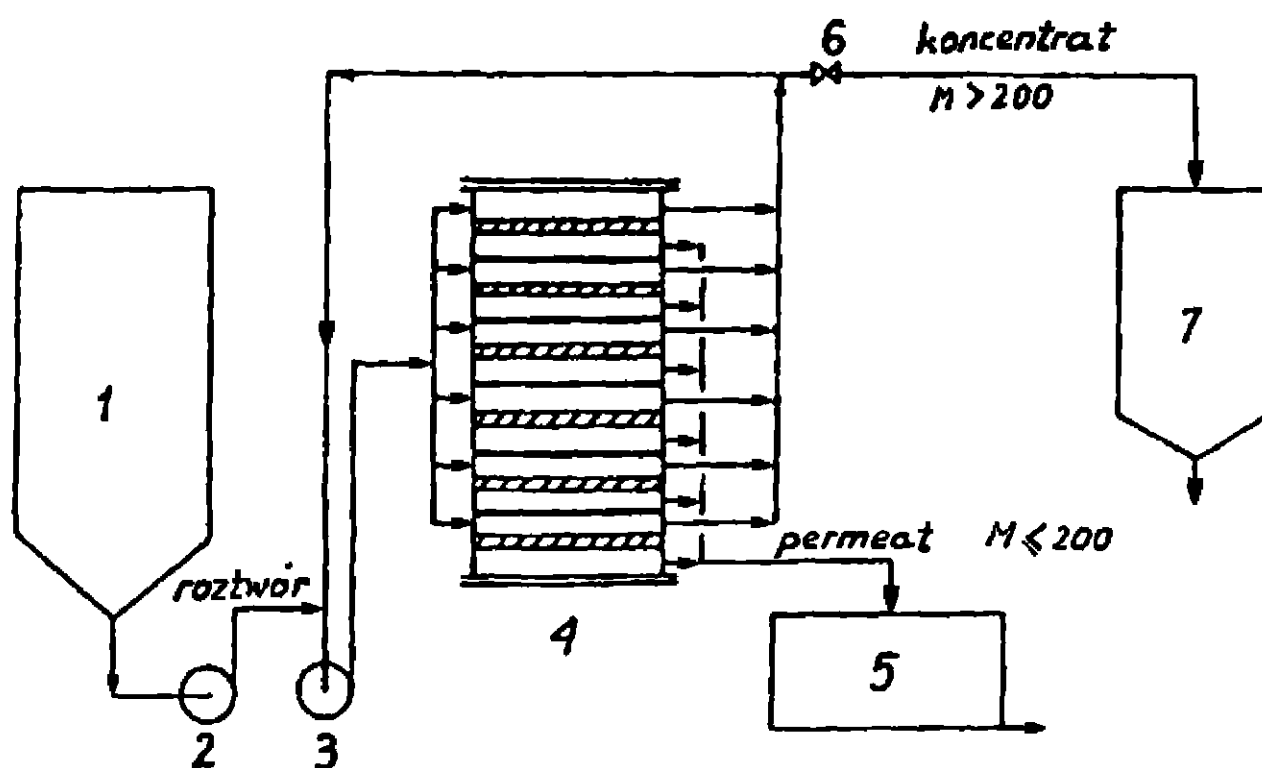
p_2 — ciśnienie zewnętrzne nad roztworem drugim,
 Π_2 — ciśnienie osmotyczne roztworu drugiego.

W przypadku gdy roztwór i czysty rozpuszczalnik przedzielone są przegrodą półprzepuszczalną i na roztwór działa ciśnienie zewnętrzne większe od ciśnienia osmotycznego, zachodzące zjawisko odwróconej osmozy umożliwia usuwanie rozpuszczalnika z roztworu i dzięki temu następuje zateżnienie. Metodą odwróconej osmozy można w praktyce zateżnić roztwory termolabilne do stężenia około 35% z użyciem energii równoważnej około 0,30 kg pary technologicznej w przeliczeniu na 1 kg usuniętej wody. Uzyskanie wyższego stężenia jest bardzo utrudnione ze względu na tzw. polaryzację stężeniową. Zwiększenie stężenia roztworu przy membranie zmniejsza siłę napędową procesu, rośnie bowiem ciśnienie osmotyczne i powstały gradient stężenia powoduje dyfuzję wsteczną. W celu zmniejszenia polaryzacji stężeniowej należy stosować odpowiednio duże liniowe prędkości przepływu cieczy. Zwykle stosuje się liniową prędkość przepływu $> 0,05$ m/s. W przypadku odwróconej osmozy produktów żywnościowych np. mleka, serwatki, soków owocowych polaryzacja stężeniowa wywołuje dodatkowe niekorzystne zjawiska takie, jak: wytrącanie się osadów i żelowanie. Zjawiska te są spowodowane przez zmianę rozpuszczalności białek i soli mineralnych w roztworach stężonych. Utworzona warstwa osadu stanowi zwykle dodatkowy opór ruchu masy oraz zmniejsza szybkość przepływu rozpuszczalnika.

Główne kierunki zastosowania odwróconej osmozy to: odsalanie wody i oczyszczanie ścieków, zateżnianie soków owocowych, serwatki i wodnych roztworów białek, np. jaja kurzego. Jakość produktu zateżnionego jest zwykle bardzo dobra i małe jest także zużycie energii. Mimo to metoda ta obecnie nie jest szeroko stosowana w technologii, główną przyczyną tego stanu jest trudność uzyskania wysokoselektywnych i sprawnych membran, tj. przegród półprzepuszczalnych z tworzyw sztucznych zdolnych do wybiórczego przepuszczenia jedynie wody z dostateczną prędkością oraz odpowiednio trwałych. Dotychczas wytwarza się membrany głównie z octanu celulozy, które zatrzymują do 99% chlorku sodowego i do 100% sacharozy, stosowanych jako substancje wzorcowe. Dopuszczalne ciśnienie robocze wynosi zwykle około 5 MPa, a szybkość strumienia przesączu wynosi $15 \div 50$ dm³/m² godz. Zwiększenie gęstości strumienia przez zwiększenie porowatości membran prowadzi do obniżenia selektywności membran.

Wadą dotychczas produkowanych membran jest dość szybkie zmniejszenie selektywności i przepuszczalności w toku eksploatacji oraz możliwość zateżnienia roztworów w optymalnym wąskim przedziale pH w granicach $4,5 \div 5,0$.

Istnieje wiele hipotez wyjaśniających zjawisko półprzepuszczalności membran. Uważa się, że membrany powszechnie stosowane w odwróconej osmozie działają według mechanizmu rozpuszczająco-dyfuzyjnego z mechanicznym odsiewem, tzn. że szybkość adsorpcji i desorpcji na powierzchni przegrody oraz mechanizm zatrzymywania cząstek składników roztworu w porach struktury membrany decydują o jej przepuszczalności i selektywności.



Rys. 5.101. Schemat instalacji do odwróconej osmozy i ultrafiltracji

1 – zbiornik roztworu; 2 – pompa; 3 – pompa recyrkulacyjna; 4 – moduł z membranami; 5 – zbiornik przesączu (permeatu); 6 – zawór regulacyjny; 7 – zbiornik koncentratu

Urządzenia do odwróconej osmozy są tak skonstruowane, że zapewniają łatwość mycia i dezynfekcji membran oraz ich wymienialności. Urządzenia do odwróconej osmozy składają się z pompy lub ich zespołu, pakietu membran, odbieralników koncentratu i przesączu oraz instalacji do przeciwprądowego mycia i dezynfekcji membran (rys. 5.101). Proces prowadzony jest zazwyczaj z częściową recyrkulacją koncentratu. Membrany są wykonane w postaci elementów rurowych lub elementów płytowo-ramowych wzorowanych na procesach filt-



racyjnych. Częściej są stosowane elementy rurowe wykonane w ten sposób, że wewnątrz porowatej rury z włókien sztucznych lub ze stali umieszczona jest membrana. Rury są zestawione w pakiety (moduły) o wspólnym zasilaniu roztworem i wspólnym kolektorze koncentratu oraz przesączu (rys. 5.101). Gęstość upakowania membran wynosi od 3 do 300 m²/m³.

Urządzenia w skali technicznej składają się z kolei z kilku lub kilkadziesiąt pakietów (modułów). Dzięki temu urządzenie nawet o powierzchni filtracji około 100 m² zajmuje niewielką powierzchnię i ma wydajność usuwania wody w granicach 2–5 m³/h w przypadku bardzo wysokiej selektywności filtracji i około 40 m³/h w przypadku niecałkowitego zatrzymywania się soli.

Zajawisko nie selektywnego przepuszczania rozpuszczalnika przez membrany ma, jak się okazało, duże znaczenie praktyczne. Umożliwia bowiem modyfikację składu suchej substancji bezpośrednio w roztworze. Jest to zwłaszcza korzystne w przypadku składników termolabilnych takich, jak np. białko. Proces rozdzielania suchej substancji roztworu z użyciem półprzepuszczalnych membran, przepuszczalnych również dla niektórych składników suchej substancji o określonej granicznej masie cząsteczkowej nazywa się ultrafiltracją.

Ultrafiltrację można traktować więc jako rodzaj odwróconej osmozy lub odwrotnie. Zasadnicza różnica między tymi procesami polega na tym, że w ultrafiltracji używane są membrany, które przepuszczają cząsteczki o małej masie molowej, a zatrzymują cząsteczki o dużej masie molowej. Powszechnie przyjęto, że proces w którym zatrzymywane są cząsteczki o masie molowej < 500 jest nazywany odwróconą osmozą. Proces zaś, w którym, zatrzymywane są cząsteczki o masie powyżej 500 nazywa się ultrafiltracją. Przepuszczanie przez membrany cząsteczek o masie < 500, a zatrzymywanie tylko cząsteczek o dużej masie, zwłaszcza wielkocząsteczkowych białek i polisaharydów, korzystnie wpływa na zwiększenie natężenia przepływu przesączu. Decyduje o tym głównie niskie ciśnienie osmotyczne występujące po obydwu stronach membrany. W przypadku równych stężeń wagowych ciśnienie osmotyczne wywierane przez małe cząsteczki, występujące w roztworze jest wielokrotnie wyższe niż w roztworze cząsteczek o dużej masie molowej, ponieważ o wartości ciśnienia osmotycznego decyduje molarność roztworu. Swobodne przechodzenie małych cząsteczek przez membranę sprawia, że w pobliżu membrany mała jest również polaryzacja

stężeniowa. W związku z powyższym do przebiegu ultrafiltracji wystarcza niewielkie ciśnienie zewnętrzne w granicach $0,1 \div 1$ MPa, tj. około pięć do dziesięciu razy mniejsze od stosowanego w procesie odwróconej osmozy.

Membrany stosowane w ultrafiltracji są produkowane również z octanu celulozy oraz z chlorku winylu, poliakrylonitrylu, poliamidu i poliestrów. Membrany tego rodzaju całkowicie przepuszczają sole nieorganiczne i organiczne, a zatrzymują głównie peptydy, białka i polisacharydy. Selektowność zatrzymywania średnich i dużych cząsteczek może być różnicowane przez wytworzenie określonej wielkości porów w membranie. Przykładowe warunki prowadzenia odwróconej osmozy membran zestawiono poniżej.

Rodzaj filtracji	Ciśnienie [MPa]	Zatrzymanie [%]			Natężenie przesączu $\text{dm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
		NaCl	sacharoza	M > 20 000	
odwrócona osmoza	3 ÷ 5	95	100	100	10 – 40
ultrafiltracja	0,3 ÷ 1	0 ÷ 5	5 ÷ 10	100	80 – 250

Sposób wykonania pakietów membran oraz sposób prowadzenia procesu ultrafiltracji jest analogiczny jak opisany wyżej w przypadku odwróconej osmozy.

Ultrafiltracja jest stosowana głównie do selektywnego zatrzymania na przegrodzie, a więc zateżnienia białek rozpuszczalnych, występujących w rozcieńczonych roztworach wodnych takich, jak: mleko, serwatka, wody sokowe. Praktyczny stopień koncentracji wynosi około 10. Znaczący to, że z 1% roztworu białka uzyskuje się koncentrat o stężeniu 10%. Niejednokrotnie w przypadku takiej koncentracji następuje już częściowe wytrącanie białka w postaci osadu.

Najbardziej efektywny jest proces ultrafiltracji stosowany do świeżej podpuszczkowej serwatki. Dzięki procesowi ultrafiltracji z tego odpadowego roztworu powstającego przy produkcji serów uzyskuje się preparat wartościowego koncentratu białkowego, wykorzystywanego m.in. także do produkcji serów dojrzewających oraz przesącz zawierający laktozę wraz z solami. Przesącz pozbawiony białek jest dogodnym surowcem do otrzymywania krystalicznej laktozy.

Zateżnianie mleka metodą ultrafiltracji wiąże się z nieuniknioną zmianą składu suchej substancji, która jest korzystna tylko w tym przypadku, gdy celem tego procesu jest otrzymanie mleka o zmniej-



szonej zawartości soli, a zwłaszcza jonów sodowych. Mleko takie jest produkowane dla otrzymania określonych produktów dietetycznych, które należą do kategorii żywności specjalnej. W toku ultrafiltracji większość soli rozpuszczalnych przechodzi do odcieku, zaś sole związane z białkiem, zwłaszcza sole wapniowe, zagęszczają się w takiej samej proporcji jak białko.

5.2.2. Procesy chromatograficzne

Związki chemiczne w produktach naturalnych występują zwykle w postaci mieszanin i jako mieszaniny są najczęściej otrzymywane na drodze syntezy, biosyntezy lub w reakcjach hydrolizy. Rozdzielanie mieszanin na składniki lub wyodrębnianie tylko jednego składnika z danego środowiska jest ważnym zabiegiem technologicznym. W procesach przemysłowych tradycyjnie do rozdzielania mieszanin na składniki wykorzystuje się różne właściwości fizyczne składników, a zwłaszcza ich lotność lub rozpuszczalność. Indywidualne związki chemiczne, substancje czyste, otrzymuje się w wyniku procesów np. rektyfikacji lub krystalizacji.

Do metod rozdzielania mieszanin na składniki należy również chromatografia jako sposób rozdzielania mieszanin na składniki w oparciu o różną szybkość ich migracji w ośrodkach porowatych. Początkowo metoda ta miała znaczenie analityczne i preparatywne. Rozwój i udoskonalenie metod chromatograficznych doprowadziło jednak do ich zastosowania w skali przemysłowej. Dotyczy to zwłaszcza m.in. wyodrębniania biologicznie czynnych substancji znajdujących się w dużej objętości roztworu o małym stężeniu oraz rozdzielanie mieszanin nawet kilkuskładnikowych o zróżnicowanym powinowactwie do fazy stacjonarnej układu chromatograficznego. Istotną zaletą metod chromatograficznych w porównaniu z metodami dotychczas stosowanymi do rozdzielania mieszanin jest ograniczenie liczby etapów technologicznych, obniżenie energochłonności oraz ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie ścieków. Dzięki temu procesy chromatograficzne należą do praktycznie bezściekowych metod produkcji.

W większości dotychczas stosowanych metod chromatograficznego rozdzielania fazę stacjonarną stanowi jednorodne pod względem wielkości cząstek złożone adsorpcyjne z tworzyw sztucznych. Są to odpowie-

dniej wielkości ziarna, kuleczki, o średnicy około 0,2 mm uformowane z żywicy polistyrenosulfonowych sieciowanych dwuwinylobenzenem. Żywice zawierają podobnie jak jonity odpowiednie grupy funkcyjne, które w sposób selektywny opóźniają migrację wybranych składników mieszaniny. Czynnikiem różnicującym szybkość migracji składników mieszaniny jest również efekt sita molekularnego, którego istotą jest różna zdolność cząsteczek o zróżnicowanej masie molowej do wnikania w pory matrycy żywicznej. Cząsteczki o małej masie molowej wnikają głębiej w pory żywicy i trudniej są wmywane przez rozpuszczalnik, i w związku z tym migrują wolniej w złożu chromatograficznym. W przypadku mieszaniny związków jonowych i niejonowych mechanizm rozdzielania takich mieszanin związany jest ze zjawiskiem ekсклюzji (wykluczania), które polega na tym, że związki chemiczne np. sole zawierające ten sam kation, który znajduje się w matrycy złoża żywicy, nie wnikają do por matrycy jonitowej i dzięki temu migrują szybciej w złożu niż związki niejonowe.

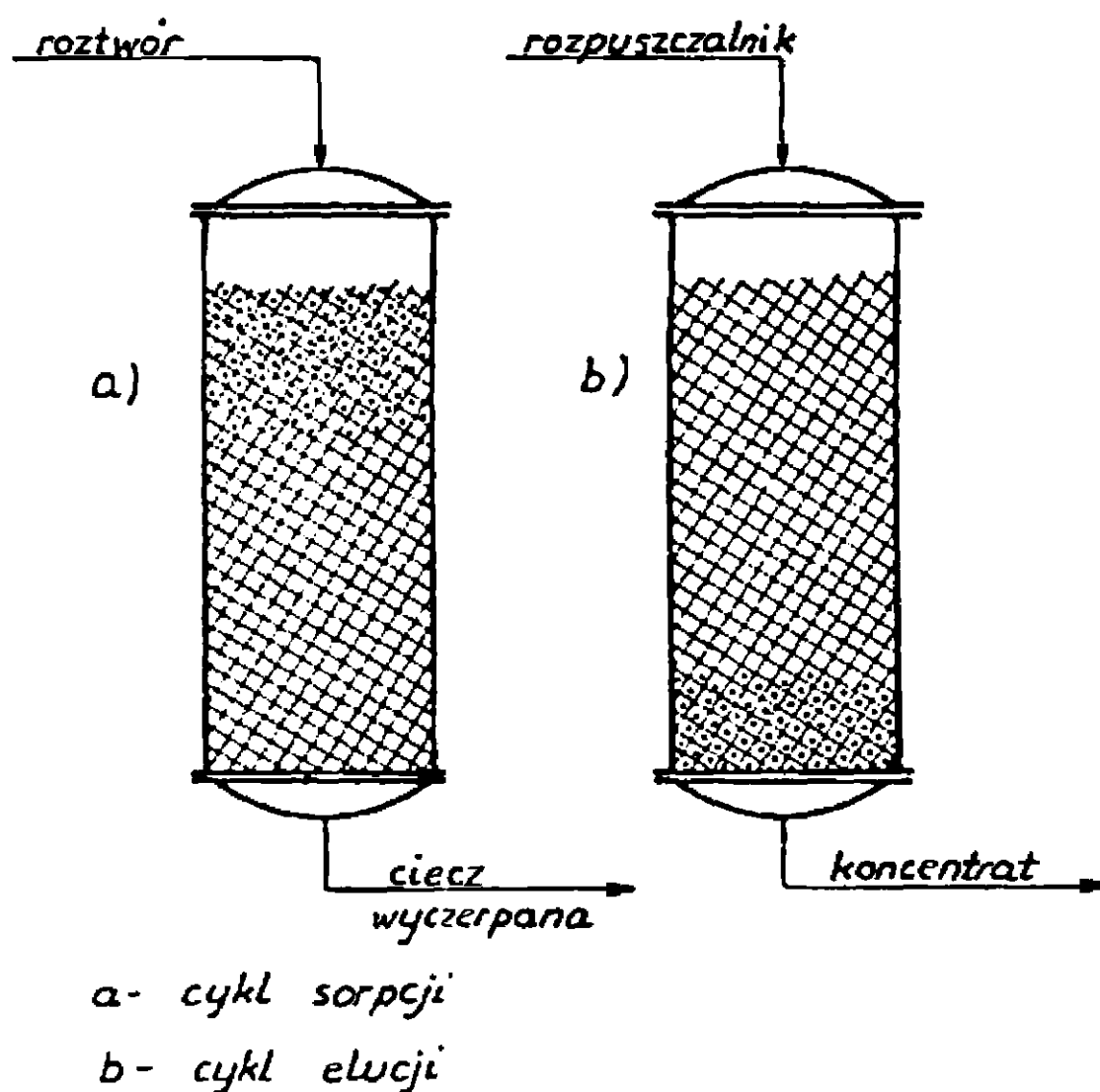
Proces chromatograficznego rozdzielania prowadzony jest sposobem elucji. Polega on na tym, że do złoża adsorbentu umieszczonego w kolumnie wprowadza się porcję mieszaniny składników w ilości $2 \div 10\%$ objętościowo w stosunku do objętości kolumny, po czym składniki z kolumny wmywa się rozpuszczalnikiem, odbierając w wycieku z kolumny frakcje zawierające indywidualne składniki mieszaniny wyjściowej. Proces przebiega w sposób ciągły z przemiennym wprowadzaniem mieszaniny składników i rozpuszczalnika. Do prawidłowego prowadzenia procesu niezbędne jest utrzymanie stałego natężenia przepływu oraz sprawnego detektora i układu rejestracyjnego składu wycieku z kolumny wraz z urządzeniem do technologicznego rozdysponowania uzyskanych frakcji.

Na rys. 5.102 przedstawiono schemat wyodrębniania steroidów z brzezki fermentacyjnej.

Biotransformacje zachodzą zwykle przy niewielkim stężeniu związku organicznego rzędu $2 \div 10 \text{ g/dm}^3$ roztworu. W przypadku klasycznej metody izolacji stosuje się ekstrakcję produktu z użyciem rozpuszczalników nie mieszających się z wodą w ilości współmiernej do objętości brzezki. W przypadku metody chromatograficznej zawartość fermentora poddaje się wirowaniu dla usunięcia wszystkich zawiesin, a następnie klarowny roztwór przepuszcza przez kolumnę zawierającą adsorbent w postaci złoża jonitowego odpowiedniego typu np. z użyciem



Amberlitu XAD-2. Po wykorzystaniu zdolności adsorpcyjnej złoża jonitowego nadmiar brzezki z przestrzeni między ziarnistej wypiera się wodą. Następnie zaadsorbowany produkt eluje się i wymywa rozpuszczalnikiem polarnym. Uzyskuje się koncentrat substancji w rozpuszczalniku. Ilość rozpuszczalnika jest około 20 razy mniejsza od ilości rozpuszczalnika do ekstrakcji. Po całkowitej elucji produktu z kolumny, rozpuszczalnik wymywa się ze złoża wodą i prowadzi następny cykl adsorpcji. W przypadku złożów chromatograficznych nie zachodzi potrzeba ich regeneracji, co jest niezbędne w przypadku użytkowania jonitów z wykorzystaniem ich zdolności jonowymiennej.



Rys. 5.102. Schemat wyodrębniania steroidów metodą chromatograficzno-sorpcyjną

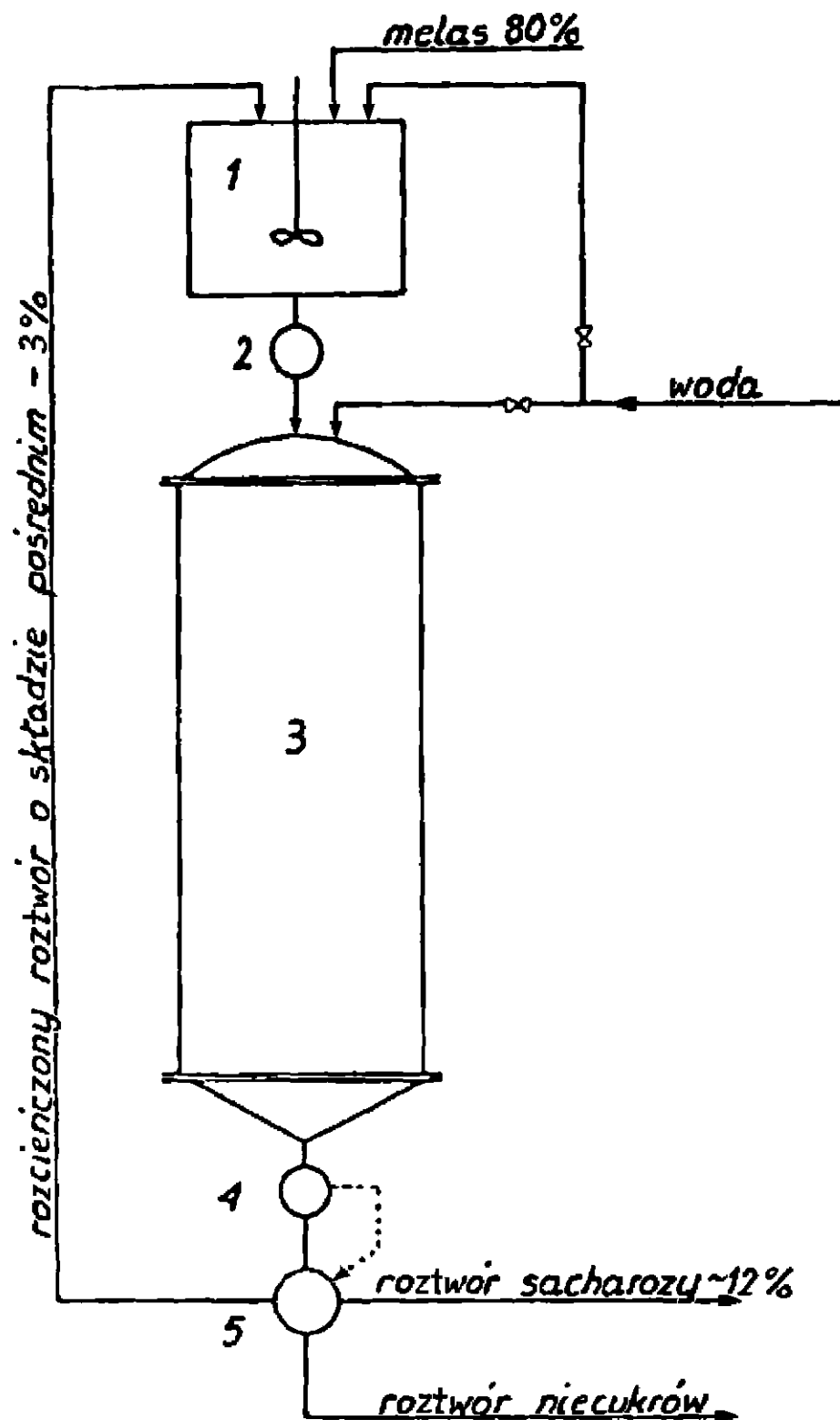
Na rys. 5.103 przedstawiono schemat przemysłowej instalacji do chromatograficznego rozdzielania melasu cukrowniczego na składniki. Melas jest mieszaniną zawierającą kilkadziesiąt indywidualnych związków chemicznych, które występują obok głównego składnika jakim jest

sacharoza. Tradycyjną metodą krystalizacji sacharoza nie może być już z tej mieszaniny wyodrębniona. Dzięki zastosowaniu procesu chromatograficznego z zastosowaniem kationitu w postaci soli sodowej lub potasowej, sucha substancja melasu może być rozfrakcjonowana na trzy główne frakcje, w których kolejno w największej ilości występują: sole nieorganiczne, sacharoza i związki azotowe. Trzy kolejne frakcje są następnie oddzielnie wykorzystywane, odpowiednio do otrzymywania koncentratu soli mineralnych, produkcji krystalicznej sacharozy oraz otrzymywania azotowych koncentratów paszowych. Dzięki temu melas jest utylizowany z maksymalnym wyczerpaniem sacharozy z wyjściowego surowca jakim są buraki cukrowe lub trzcina cukrowa.

Proces rozdzielania prowadzony jest metodą elucji z użyciem wody jako eluentu. Elucja jest prowadzona w temperaturze 60–80°C. Do rozdzielania kieruje się melas rozcieńczony do stężenia około 40–50% w ilości 5% na objętość kolumny, która zawiera od 10 m³ do 30 m³ jonitu umieszczonego w kolumnie o wysokości 6–10 m. W procesie odzyskuje się około 85% początkowej ilości sacharozy zawartej w melasie w postaci frakcji o stężeniu średnim około 12 ÷ 15% s.s. i czystości 90%. Skład tej frakcji jest więc zbliżony do składu soku rzadkiego.

Analogicznie metodą chromatograficzną rozdziela się na składniki cukier inwertowany oraz izomeryzowany syrop glukozowy. Izomeryzowany syrop glukozowy otrzymuje się w wyniku biotechnologicznej transformacji glukozy zawartej w około 40-procentowym roztworze glukozy za pomocą enzymu izomerazy, która jest zwykle stosowana w postaci immobilizowanej i jest umieszczona w reaktorze przepływowym. Roztwór po izomeryzacji zawiera w suchej substancji około 42% fruktozy, 50% glukozy i 8% oligosacharydów. W procesie chromatograficznym skutecznie oddziela się frakcję oligosacharydów od oddzielnie zbieranych frakcji glukozowej i fruktozowej, względnie uzyskuje się tzw. syrop wysokofruktozowy o zawartości fruktozy do 90% w suchej substancji, a frakcję glukozową zawraca się do izomeryzacji. Godny podkreślenia jest fakt, że względnie mały koszt produkcji syropów izomeryzowanych i dążność do podniesienia ich jakości, głównie przez zwiększenie udziału fruktozy w suchej substancji oraz zmniejszenie udziału oligosacharydów przyczynił się do rozwoju przemysłowego procesu chromatografii.





Rys. 5.103. Schemat instalacji do chromatograficznego rozdzielania melasu

1 – rozcieńczalnik melasu; 2 – miernik objętości;
3 – kolumna chromatograficzna; 4 – detektor frakcji sterujący pompą

5.2.3. Instancyzacja

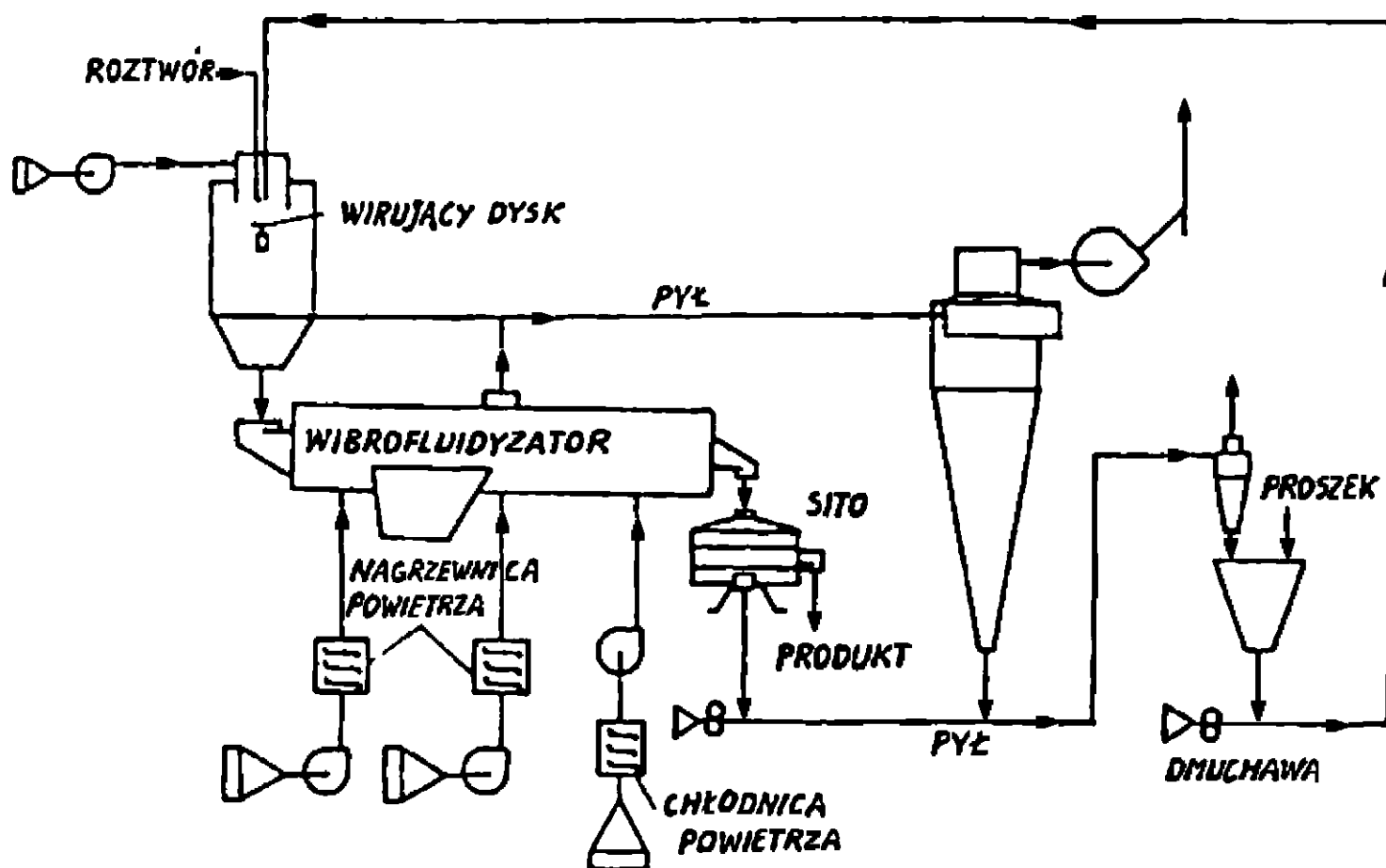
Instancyzacja jest to proces technologiczny, który ma na celu nadanie koncentratom w postaci proszku właściwości szybkiego prawie

błyskawicznego rozpuszczenia. Za produkt typu instant przyjęto nazywać taki produkt, który w zimnej wodzie, przy umiarkowanym standardowym mieszaniu, rozpuszcza się całkowicie w czasie krótszym niż 15 sekund. Instancyzacji poddaje się z reguły proszki otrzymane w wyniku suszenia rozpyłowego. Charakteryzują się one zwykle znaczną pylistością, małą zwilżalnością, znacznym rozdrobnieniem i małą porowatością. Wielkość pojedynczych cząstek mieści się w granicach $20 \div 240 \mu\text{m}$. W skali przemysłowej produkuje się zazwyczaj proszki z produktów bogatych w białko takie jak: mleko w proszku, kazeinian sodowy, białkowe preparaty sojowe, odżywki dietetyczne i odżywki dla dzieci oraz barwniki i preparaty wieloskładnikowe suszone z użyciem maltodekstryn jako nośników. Większość wymienionych proszków rozpuszcza się powoli w wodzie. Wynika to z tej przyczyny, że po wprowadzeniu porcji proszku do wody nawet w przypadku dobrej zwilżalności wytwarza się na granicy faz warstwa lepkiego syropu, który otacza zgrupowanie cząstek z utworzeniem lepkich grudek. Dostęp rozpuszczalnika do wszystkich cząstek proszku jest zatem ograniczony i rozpuszczenie wymaga długiego czasu, mieszania i ewentualnie rozdrabniania. Zwiększenie szybkości rozpuszczania można osiągnąć przez zwiększenie porowatości proszku oraz zwiększenie jego zwilżalności. Są to dwie drogi do instancyzacji. Zwiększenie porowatości proszku, a przez to zwiększenie dostępu wody do pojedynczych cząstek osiąga się w procesie aglomeracji. Zwiększenie zaś zwilżalności uzyskuje się przez powlekanie cząstek proszku substancją powierzchniowo-czynną. Najczęściej do tego celu stosuje się lecytyny, a proces określa się mianem lecytynizacji. W najprostszy sposób lecytynizację wykonuje się przez mechaniczne zmieszanie w odpowiednich warunkach proszku rozpyłowego o małej zwilżalności np. proszku z białka sojowego z proszkiem rozpyłowym uzyskanym w toku suszenia roztworu maltodekstryny z dodatkiem lecytyny. Skuteczniejszym sposobem instancyzacji proszków o małej zwilżalności jest połączenie procesu lecytynizacji z aglomerowaniem. W przypadku zaś proszków o małej zawartości białka i pozbawionych tłuszczów, które wykazują zwykle dobrą zwilżalność, wystarcza jedynie proces aglomerowania do uzyskania produktu typu instant. Większość sposobów aglomerowania polega na łączeniu suchych cząstek proszku za pomocą wody lub roztworów cukrowych z ewentualnym dodatkiem środków powierzchniowo-czynnych przy zapewnieniu odpowiednich warunków nawilżania. Najczęściej proszek



instant otrzymuje się przez aglomerowanie jego cząstek przy zawartości wody w granicach $6 \div 12\%$ i końcowe łagodne dosuszenie w suszarni fluidyzacyjnej do zawartości wody $3 \div 5\%$. Aglomerowanie prowadzi się metodą jednofazową, w której w jednym cyklu z płynnego mleka otrzymuje się proszek instant lub dwufazową, w której proszek uprzednio wysuszony rozpyłowo jest ponownie nawilżany i suszony.

Na rys. 5.104 przedstawiono pośredni sposób aglomerowania tzw. metodą tarczową, stosowaną do produkcji kawy instant. Proszek wysuszonego ekstraktu kawy jest pneumatycznie podawany do komory mieszania na wirującą tarczę, na którą równocześnie doprowadzana jest ciecz zwilżająca oraz strumień gorącego powietrza.



Rys. 5. 104. Schemat instalacji do produkcji kawy instant

Wielkość aglomeratów może być regulowana stopniem nawilżania, wysokością spadku proszku na tarczę oraz liczbą jej obrotów. Utworzone aglomeraty opadają na dno komory, skąd są wprowadzane do trójsekcyjnego wibrofluidyzatora, w którym następuje dalsze dosuszenie i schłodzenie produktu. Z wibrofluidyzatora susz wprowadzany jest do segregatora sitowego. Właściwa frakcja kierowana jest do pakowania, a cząstki drobne są zawracane do aglomerowania. Proszek aglomerowany ma postać ziarenek o średnicy około 0,2 mm, wykazuje

masę nasypową około $0,3 \text{ g/cm}^3$ wobec około $0,6 \text{ g/cm}^3$ w proszku wyjściowym i ulega rozpuszczeniu w czasie kilku sekund. Mała gęstość nasypowa jest wyróżnikiem dużej porowatości, tj. licznych kanalików w cząstkach aglomeratu, które warunkują szybką rozpuszczalność proszku bez możliwości zbrylania.

Proces instantyzacji jest doskonały w aspekcie technicznym i technologicznym. Występują tendencje do rozszerzenia asortymentu proszków aglomerowanych na produkty o złożonym składzie.

5.2.4. Mikrokapsułkowanie

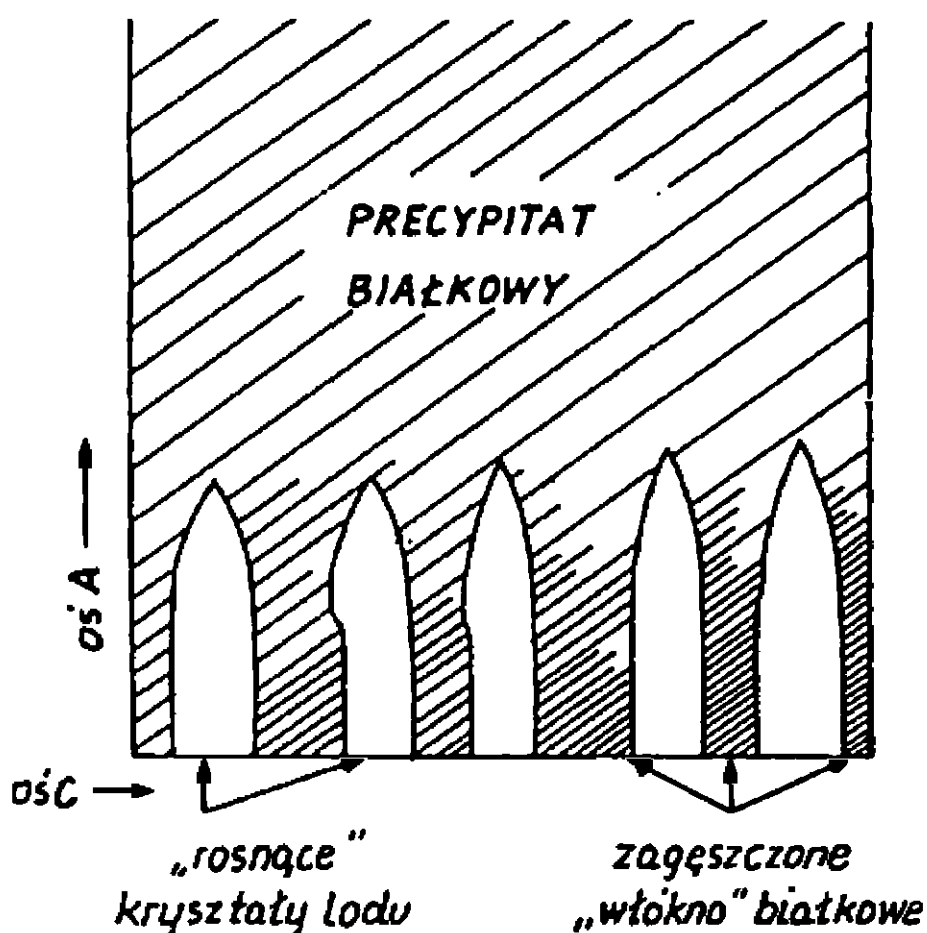
Wśród ogromnej różnorodności produktów żywnościowych szczególnie złożonym zadaniem jest zapewnienie niezmięnionej i wyrównanej jakości produktów wieloskładnikowych typu koncentratów zup, deserów, gotowych mieszanek do wypieku ciast itp., które zawierają substancje aromatyzujące, barwniki, enzymy, tłuszcze oraz różnego rodzaju substancje higroskopijne i nietrwałe. Pomimo zastosowania specjalnych opakowań i neutralnej atmosfery, zachowanie wysokiej i niezmięnionej jakości w toku dłuższego składowania jest praktycznie niemożliwe. Technologia mikrokapsułkowania reaktywnych składników takich mieszanych produktów radykalnie poprawia jakość i trwałość produktów tego typu.

Proces mikrokapsułkowania polega na otoczeniu reaktywnych lub labilnych cząstek w postaci proszku o średnicy do $200 \mu\text{m}$ ochronną powłoką zwykle maltodekstrynową lub żelatynową i wysuszeniu, po czym na powierzchni mikrokapsułki osadza się następny składnik mieszaniny, pokrywa powłokę, suszy i w miarę potrzeby proces powtarza, aż do uzyskania wieloskładnikowej mikrokapsułki stosownie do przewidywanego jej składu. Proces prowadzi się w odpowiednio skonstruowanej granulosuszarce. Technologia ta pozwala na umieszczenie obok siebie bardzo reaktywnych i labilnych składników, dzięki zastosowaniu odpowiednich powłok. Technologia ta została zapożyczona z przemysłu farmaceutycznego, w którym jest stosowana do wytwarzania leków o sekwencyjnym utrwalaniu się składników stosownie do środowiska, w którym dany składnik leku jest skuteczny w działaniu. Jest bardzo duże prawdopodobieństwo, że w przyszłości niektóre rodzaje żywności dietetycznej będą produkowane z zastosowaniem mikrokapsułkowania.



5.2.5. Teksturyzacja

Teksturowanie lub teksturyzacja jest to proces wytwarzania produktów o strukturze podobnej do struktury tkanki zwierzęcej z roztworu lub precypitatu białek różnego pochodzenia. Szczególnie interesujący jest proces teksturyzacji roztworu białek przez powolne kierunkowe wymrażanie. Dobrze znany jest destrukcyjny wpływ powolnego zamrażania na jakość żywności. Mianowicie tworzące się duże kryształy lodu niszczą delikatną tkankową strukturę wielu surowców i produktów żywnościowych. Ostatnio zjawisko to zostało wykorzystane jako czynnik strukturotwórczy. Zasadę metody teksturyzacji przez powolne wymrażanie ilustruje rys. 5.105. Zasada metody polega na tym, że roztwór białek fibrylarnych, tj. białek wyekstrahowanych w środowisku alkalicznym z tkanki mechanicznego odmięśniania kości zwierząt jest poddawany koagulacji przez obniżenie pH, z równoczesnym jednostronnym odprowadzeniem ciepła. Powoduje to tworzenie się i wzrost dużych kryształów lodu zorientowanych poprzecznie do chłodzonej powierzchni i jednocześnie następuje zagęszczanie i jednokierunkowa orientacja białek pomiędzy kryształami lodu. Po odtajaniu lodu i usunięciu wody powstaje niby-tkankowa struktura produktu z wolnymi przestrzeniami pomiędzy włóknami białkowymi.



Rys. 5.105. Zasada teksturyzacji białka przez powolne wymrażanie

Wielkość kryształów lodu może być regulowana przez zmianę szybkości odprowadzania ciepła oraz przez zmianę stopnia wstępnego przechłodzenia układu. Struktura nowego produktu jest negatywnym odbiciem struktury kryształów lodu w precypitacie białkowym.

5.2.6. Niektóre kierunki rozwoju przemysłu spożywczego w krajach wysokouprzemysłowionych

Stany Zjednoczone, które w latach trzydziestych zainicjowały produkcję żywności mrożonej, są nadal czołowym producentem i konsumentem. Wszystkie rozwinięte kraje świata wzorują się w tej dziedzinie na modelu amerykańskim, można więc przypuszczać, że perspektywa rozwoju tego przemysłu w USA będzie się w pewnym stopniu sprawdzać także w innych krajach tyle, że z pewnym opóźnieniem. Stan obecny i zarysowujące się tendencje w rozwoju form sprzedaży żywności i nawyków żywieniowych wyznaczają perspektywy rozwoju poszczególnych dziedzin przetwórstwa rolno-spożywczego, w tym również perspektywa produkcji żywności mrożonej.

Struktura produkcji zamrażalniczej przedstawiała się w USA w 1983 r. następująco (w tys. ton):

- warzywa – 949,
- produkty z ziemniaków – 1686,
- owoce (łącznie z sokami) – 1957,
- ryby i produkty morskie – 774,
- mięso wraz z dziczyzną – 668,
- produkty piekarskie – 418,
- drób – 1406,
- dania gotowe – 2110.

Łącznie zamrożono 9968 tys. ton produktów spożywczych. Wskaźnik spożycia wynosił 45,7 kg tych produktów na 1 mieszkańca. W USA zamraża się bardzo niewielką ilość produkowanego mięsa – około 3,7% w Polsce 20-25%). Również tylko 23% drobiu i około połowa ryb i produktów morskich jest rozprowadzana w stanie zamrożonym. Świadczy to o bardzo sprawnie zorganizowanym systemie dystrybucji produktów świeżych, mimo ogromnych odległości, np. w obrocie rybami.



Największy wzrost odnotowuje się w produkcji dań gotowych, których udział w ogólnej produkcji przekracza obecnie 20%. Nastąpił również duży wzrost produkcji mrożonek z ziemniaków oraz mrożonych warzyw, odpowiednio o 38% w ciągu 15 lat. Tendencję zniżkową ma natomiast produkcja owoców mrożonych (spadek o 11% w czasie 15 lat). Rośnie znaczenie soków schładzanych, uzyskujących przewagę nad sokami odtwarzanymi z koncentratów. Świadczy to również o usprawnieniu dystrybucji i postępie w technice pakowania i rozlewu. Dla porównania, w Szwecji soki schłodzone stanowią 65%, pakowane aseptycznie 25%, a koncentraty mrożone 10%. Przewiduje się, że podobne proporcje ustalą się w niedalekiej przyszłości, także w innych krajach rozwiniętych.

Na wybór techniki przerobu w przemyśle spożywczym, decydujący wpływ wywiera kilka czynników.

Opakowania. Dla 1/4 produktów żywnościowych i napojów w USA koszt opakowania przewyższa koszt samego produktu. Średnio opakowanie stanowi 33% ceny produktów detalicznych. Aż do połowy XX wieku przemysł spożywczy stosował kilka zaledwie materiałów opakowaniowych (szkło, blacha stalowa i aluminiowa, papier, celofan, drewno). W latach pięćdziesiątych nastąpiła prawdziwa eksplozja nowych materiałów, zwłaszcza tworzyw sztucznych. Wypierają one głównie stal i szkło. W produkcji tworzyw zużywa się o połowę mniej energii (w przeliczeniu na tonę), w porównaniu ze stalą i szkłem. Przede wszystkim jednak, stosowanie tworzyw sztucznych ułatwia organizację produkcji dzięki stosowaniu linii formujących opakowanie, napełniających je i zamykających (form-fillseal). Przemysł wyraźnie odchodzi od pojemników prefabrykowanych, dostarczanych przez fabryki opakowań, są one bowiem kłopotliwe w transporcie, magazynowaniu, dostawie do punktu napełniania, a ponadto wymagają mycia lub sterylizacji. W 1984 r. już 50% pojemników produkowano na liniach zakładów spożywczych, a przewiduje się, że w 2000 r. udział ich wzrośnie do 66%. Zmiany te następują mimo oporu producentów opakowań, którzy zainwestowali znaczne kapitały w swoje urządzenia. W kategorii opakowań sztywnych dominują obecnie pojemniki papierowe, wielowarstwowe, laminowane różnego rodzaju foliami. Są one o około 40% tańsze od pojemników metalowych lub szklanych. Przewiduje się intensywny rozwój tego rodzaju opakowań do 2000 r. zwłaszcza, że cena opakowań szklanych i metalowych może wzrosnąć do tego czasu dwukrotnie (z uwagi na wzrost kosztów energii).



Ogromny postęp jest notowany w produkcji żywic i tworzyw nadających opakowaniom doskonale cechy paro- i gazoszczelne. Zastosowanie mikroprocesorów w procesie laminowania papieru tymi kosztownymi materiałami znacznie obniżyło ich zużycie (o 25 do 50%). W rezultacie możliwe stało się produkowanie materiałów opakowaniowych z 3, 5 lub nawet 9-warstwowym natryskiem tworzywami. Pod względem gazoszczelności takie materiały dorównują blasze stalowej lub aluminiowej, przy znacznie niższych kosztach. Należy zauważyć, że stal jest zdecydowanie eliminowana z produkcji opakowań. Zużycie aluminium na razie rośnie z uwagi na wzrost produkcji napojów w puszkach (coca, piwo, pepsi, itp.). Aluminium jest natomiast wycofywane z produkcji mrożonek, ponieważ nie nadaje się do podgrzewania potraw w kuchenkach mikrofalowych.

W produkcji mrożonek rośnie znaczenie wszelkiego rodzaju woreczków z tworzyw. Najpowszechniej stosowane są woreczki z folii polietylenu (stanowią ok. 80% folii ogółem). Woreczki z polietylenu wysokociśnieniowego stosowane są w zakresie temperatury $-60^{\circ}\text{C} \div +120^{\circ}\text{C}$ a niskociśnieniowego $-60^{\circ}\text{C} \div +85^{\circ}\text{C}$.

Ostatnio zyskują na znaczeniu folie umożliwiające termiczną obróbkę produktów. Na rynku amerykańskim dostępne są następujące rodzaje opakowań z tych folii:

- woreczki do sterylizacji (retort pouches) wytrzymujące warunki sterylizacji pod ciśnieniem,
- woreczki żaroodporne (ovenable pouches) umożliwiające pieczenie opakowanego w nich produktu w normalnych piecach gazowych lub elektrycznych w temp. $170 \div 280^{\circ}\text{C}$,
- woreczki do gotowania (boil-in-bag pouches) wytrzymujące temp. do 140°C ,
- woreczki do rozmrażania (thaw-in-bag pouches) wytrzymujące temp. do 120°C .

Stosowanie woreczków do sterylizacji ogranicza się na razie do celów specjalnych (posiłki dla astronautów, porcje turystyczne, itp.), w których niemożliwe jest zastosowanie chłodnictwa. Nie przewiduje się (do 2000 r.) znacniejszego rozszerzenia stosowania tych opakowań. Natomiast pozostałe rodzaje woreczków szybko rozpowszechniają się. Ułatwiają one bowiem znacznie wykorzystanie produktów mrożonych i zachowanie ich jakości (ograniczenie strat wagowych i utraty wartości smakowych i odżywczych). W przypadku produktów o intensywnych zapachach, ułatwiają ich wspólne przechowywanie i przyrządzanie.



Sposób przyrządzania posiłków. Zarówno w gospodarstwach domowych jak i w zakładach zbiorowego żywienia upowszechnia się technikę mikrofalową. W połowie lat osiemdziesiątych blisko połowa gospodarstw domowych w USA była wyposażona w kuchenki mikrofalowe. Cena kuchenki (najtańsza za ok. 80 USD) nie przekracza średniego dziennego zarobku. Jeszcze szybciej rośnie liczba kuchenek mikrofalowych w Japonii, gdzie już w 1980 r. połowa gospodarstw domowych była w nie wyposażona. Ocenia się, że w 2000 r. 65% gospodarstw domowych w krajach wysokorozwiniętych będzie miała kuchenki mikrofalowe. Jest zrozumiałe, że będzie to miało decydujący wpływ na produkcję żywności, zwłaszcza mrożonej, bowiem kuchenki te znacznie upraszczają (eliminacje długotrwałego rozmrażania) posługiwanie się produktami mrożonymi. Technika mikrofalowa ogromnie ułatwia przygotowywanie posiłków w barach szybkiej obsługi w kantinach, samolotach i wagonach restauracyjnych. W przypadku potraw mrożonych ważne jest również to, że w kuchenkach następuje równomierne, szybkie podgrzanie produktu w całej jego masie. Jak wiadomo, współczynnik przewodzenia ciepła w warstwie rozmrożonej jest blisko 4-krotnie niższy niż w zamrożonej. Dostarczenie dużej ilości ciepła po to, aby ogrzać „wnętrze” produktu w kuchenkach konwencjonalnych prowadzi zwykle do przegrzania i przypalenia powierzchni. Należy również pamiętać o tym, że kuchenka mikrofalowa zużywa na jednostkę produktu o 70% mniej energii niż piec konwencjonalny. Upowszechnienie się kuchenek mikrofalowych wpływa na rodzaj materiałów opakowaniowych. Obecnie pewne problemy wynikają z faktu, że rynek wymaga opakowań uniwersalnych (przystosowanych zarówno do kuchenek mikrofalowych, jak i gazowych czy elektrycznych). Na razie nie ma materiałów, które spełniałyby tak wszechstronne wymagania. Problem próbuje się rozwiązywać przez zastosowanie różnych kombinacji papieru ze specjalnymi tworzywami sztucznymi. Np. produkowana jest tektura z dodatkiem materiałów dobrze przewodzących ciepło, a odpowiednie laminowanie jej tworzywami zapobiega przywieraniu produktu. Dużo uwagi poświęca się też formie i estetyce tych opakowań tak, aby przygotowane potrawy mogły być bezpośrednio z piecyka podawane na stół.

Przewiduje się, że do 2000 r. potrawy mrożone, przystosowane do kuchenek mikrofalowych będą pakowane głównie w opakowania papierowe (w różnych kombinacjach z tworzywem).

Rozwój innych technologii przetwarzania żywności. Silną konkurencję dla zamrażalnictwa mogą stanowić inne technologie konserwowania żywności, takie jak: pakowanie aseptyczne, napromieniowanie, pakowanie w atmosferze kontrolowanej i modyfikowanej z chłodzeniem. System pakowania aseptycznego jest obecnie stosowany głównie w odniesieniu do mleka. W Europie Zachodniej już około 30% mleka sprzedawane jest w opakowaniach aseptycznych. W USA w 1982 r. zużyto 750 mln sztuk opakowań aseptycznych, ale przewiduje się, że w 2000 r. liczba ich wzrośnie do 35 mld. Obejmą one być może całkowicie takie produkty jak jogurt, desery mleczne, śmietanę. Obok produktów mleczarskich, rozpowszechnia się aseptyczne pakowanie soków owocowych.

Przewiduje się, że technika pakowania aseptycznego zastąpi zamrażanie takich produktów jak: zupy, sosy i w pewnym stopniu koncentraty soków. Obecnie trudno jeszcze przewidzieć wpływ techniki aseptycznego pakowania na produkcję innych produktów mrożonych, ale wpływ ten będzie się nasilał w miarę doskonalenia tej techniki (opanowanie techniki aseptycznego pakowania produktów gruboziarnistych o średnicy przekraczającej 20 mm).

Należy tu podkreślić, że aseptyczne pakowanie w znacznie większym stopniu zagraża tradycyjnej produkcji konserw. Stosuje się tu bowiem tańsze materiały opakowaniowe (o 30–50% tańsze od metalowych i szklanych), a ponadto opakowania są znacznie lżejsze, ich kształt (zwykle prostopadłościenny) pozwala na zaoszczędzenie do 50% powierzchni magazynowej. Wady tego systemu polegają na krótszym niż dla konserw okresie przechowywania, ograniczonej wielkości pojemników i mniejszej wydajności linii napełniających. Te dwie ostatnie wady są szybko i z powodzeniem eliminowane. Co zaś do krótszego przechowywania, stwierdzono statystycznie, że i tak 99% pakowanej żywności spożywa się w okresie 1÷6 miesięcy, a ten okres przechowywania opakowania aseptyczne zapewniają.

W 1984 r. opracowano w USA około 200 linii aseptycznego pakowania. Do 1990 r. liczba ta powinna wzrosnąć do 600–900.

Nadal metodą kontrowersyjną (ze względu na odczucia konsumentów) jest konserwowanie żywności przez jej napromieniowanie. W niektórych krajach stosowane jest napromieniowanie niskimi dawkami (5–16 KGy), jednak w przeważającej liczbie krajów (w tym również w USA) wszelkie formy napromieniowania żywności są zakazane.



Obawy społeczeństwa wydają się przesadne wobec niewątpliwych zalet tej metody, która przede wszystkim daje możliwość taniego i prostego ograniczenia (lub zlikwidowania) ogromnych strat żywności, w skali świata ocenianych na 30% jej produkcji.

Biorąc pod uwagę korzystny wpływ napromieniowania na jakość niektórych produktów, należy się spodziewać, że napromieniowanie niskimi dawkami (tzw. pasteryzacja radiacyjna) będzie powoli znajdować zastosowanie w wielu dziedzinach konserwacji żywności. Jeżeli chodzi o napromieniowanie średnimi dawkami (100–1000 kGy) to będzie ono prawdopodobnie wprowadzane znacznie wolniej.

Obecnie za najbardziej obiecujące zastosowanie napromieniowania uzyskuje się: napromieniowanie mięsa wieprzowego w celu zabicia trychin (przewiduje się wprowadzenie tej metody po 1990 r.), napromieniowanie drobiu w celu niszczenia salmonelli (spodziewane powszechne zastosowanie tej metody ok. 2000 r.), napromieniowanie ryb z połowów morskich w celu zahamowania rozwoju bakterii chorobotwórczych (wprowadzenie metody utrudnione jest brakiem bezpiecznych urządzeń do napromieniowania, które można by instalować na statku). Napromieniowanie wysokimi dawkami (1000–5000 kGy), dające efekt sterylizacji, na pewno nie będzie wprowadzone do przemysłu spożywczego przed 2000 r.

Konkurencja dla produkcji zamrażalniczej ze strony metod radiacyjnych wydaje się na razie niewielka zwłaszcza, że konkurencję mogłyby tu stanowić jedynie napromieniowanie wysokimi dawkami. Natomiast napromieniowanie niskimi i średnimi dawkami może być traktowane jako technika uzupełniająca zamrażanie, dzięki możliwości poprawienia stanu surowców przed zamrożeniem.

Poważne ograniczenie ilości produktów obecnie zamrażanych może natomiast być spowodowane przez rozpowszechnienie techniki pakowania żywności w atmosferze modyfikowanej i kontrolowanej. Już obecnie w eksporcie mięsa z Australii i Nowej Zelandii do Japonii pakowanie w atmosferze gazów obojętnych (N_2 , CO_2) stosowane jest na dużą skalę. Elementy mięsa są schładzane do temperatury bliskiej zamarzaniu i pakowane w worki z folii gazoszczelnej, z których usuwa się powietrze i wprowadza gaz obojętny. Tak pakowany produkt przesyłany jest do odbiorcy ekspresowym transportem morskim i rozprowadzany na terenie całego kraju w temp. około $0^\circ C$ w okresie 3-6 tygodni.

W przybrzeżnym rybołówstwie morskim stosuje się coraz powszechniej „suchy lód” (natrysk ciekłym CO₂) zamiast lodu wodnego. Daje to znaczne (o ok. 25%) zmniejszenie masy ładunku jednostek transportowych, podniesienie poziomu higieny i ułatwienie pracy załóg.

Równolegle do pakowania w modyfikowanej lub kontrolowanej atmosferze rozwija się pakowanie próżniowe. Jest ono znacznie tańsze od pakowania w zmienionej atmosferze, a w zasadzie spełnia podobną rolę (ewakuacja tlenu). Inną zaletą pakowania próżniowego jest wyższa wydajność linii pakujących a ponadto zwiększenie trwałości zapakowanych porcji, co bardzo ułatwia składowanie i transport.

Udoskonalenie metody pakowania w atmosferze modyfikowanej i kontrolowanej wymaga prowadzenia wszechstronnych badań dotyczących ustalenia optymalnego, procentowego składu tej atmosfery dla różnych produktów. Wymaga również rozwoju produkcji opakowań o odpowiednich właściwościach gazoszczelnych. Już obecnie najbardziej nowoczesne zakłady przemysłowe w USA wprowadzają na rynek mięso, drób, ryby i inne produkty morskie pakowane w kontrolowanej atmosferze.

Ocenia się, że ten rodzaj pakowania jest bardzo efektywny, zarówno z technologicznego (zachowanie wyglądu i jakości produktów oraz przedłużenie okresu ich przechowywania), jak i ekonomicznego (oszczędność energii) punktu widzenia. Pewną konkurencją dla zamrażalnictwa stanowi również szybki rozwój produkcji żywności schładzanej. Dotyczy on zwłaszcza wyrobów garmazeryjnych (desery, salatkiki, dania typu pizza). Należy tu jednak podkreślić, że obrót produktami schłodzonymi wymaga znacznie sprawniejszej dystrybucji i ścisłej kontroli w toku przechowywania. Przekroczenie dopuszczalnego okresu sprzedaży może być w przypadku tych produktów groźne dla zdrowia konsumentów. Z obserwacji rynku amerykańskiego wynika, że produkty schładzane nie wyprą zamrażanych, lecz że zamrażane i schładzane będą rozwijać się równolegle.



LITERATURA

- [1] Aksielrud G.A., Molczanow A.D.: Rozpuszczanie ciał stałych. WNT, Warszawa 1981.
- [2] Błasiński H., Boss J., Rzycki E.: Aparatura przemysłu spożywczego. cz. I i II. WPL, Łódź 1977/78.
- [3] Boruch M., Sikora M.: Postęp techniczno-technologiczny w zakresie konszowania mas czekoladowych. ZNPŁ, Technologia i Chemia Spoż. 1987, 473, s. 73.
- [4] Boruch M., Nowakowska K.: Technologia spożywczych suszów ziemniaczanych. WPL, Łódź 1986.
- [5] Campbell J.R., Marshall R.T.: Podstawy produkcji mleka spożywczego i jego przetworów. PWN, Warszawa 1982.
- [6] Chwiej M.: Aparatura przemysłu spożywczego. PWN, Warszawa 1984.
- [7] Cieślak J., Lasik H.: Technologia wódek. WNT, Warszawa 1979.
- [8] Desrosier N.N., Tressler D.K.: Fundamentals of food freezing. A VI Publ., Westport, 1977.
- [9] Dobrzycki J.: Chemiczne podstawy technologii cukru. WNT, Warszawa 1984.
- [10] Dobrzycki J.: Poradnik inżyniera. Cukrownictwo. Wyd. II. WNT, Warszawa 1988.
- [11] Dobrzycki J.: Automatyzacja w przemyśle cukrowniczym. Wyd. II. WNT, Warszawa 1991.
- [12] Dylkowski W.: Browarnictwo. Wyd. II, WSz i P. Warszawa 1984.
- [13] Garbunowski J., Dobrowolski W.: Aparatura i urządzenia w przemyśle mleczarskim. WSz i P. Warszawa 1985.
- [14] Grabka J.: Aparaty w przemyśle cukrowniczym. WPL, Łódź 1983.
- [15] Gutkowski K.: Chłodnictwo. Wybrane zagadnienia obliczeniowe. WNT, Warszawa 1963.
- [16] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki. Wyd. IV. WNT, Warszawa 1971.
- [17] Jarociński J., Jarosz K.: Gorzelnictwo i drożdżownictwo. WSz i P. Warszawa 1980.
- [18] Koj F.: Podstawy technologii potraw. Wyd. II, WNT, Warszawa 1980.



- [19] Krówczyński L.: Zarys technologii postaci leku. WZWL, Warszawa 1974.
- [20] Lafferty R.M.: Fermentation. Springer-Verl., Wien 1988.
- [21] Laskowski H.: Zarys technologii octu spirytusowego. PWT, Warszawa 1953.
- [22] Lendi S., Mantovani G.: Sugar Technology Rev. 1975, t. 3.
- [23] Le Magner M., Jelen P.: Food engineering and process applications. vol. 2., Elsevier Applied S.P., LTD, 1986.
- [24] Mc Ginnis R.A.: Cukrownictwo. WNT, Warszawa 1976.
- [25] Mc Kenna B.: Engineering and food. Elsevier Applied S.P., LTD, 1984.
- [26] Obrusiewicz T.: Mleczarstwo. WSz i P. Warszawa 1984.
- [27] Olszewski J.: Maszynoznawstwo ogólne dla akademii rolniczych. WNT, Warszawa 1979.
- [28] Planowski A.N., Ramm W.M., Kagan S.Z.: Inżynieria chemiczna WNT, Warszawa 1974.
- [29] Pijanowski E.: Technologia produktów owocowych i warzywnych. PWRiL, Warszawa 1973.
- [30] Pijanowski E.: Zarys chemii i technologii mleczarstwa. PWRiL, Warszawa 1974.
- [31] Pijanowski E., Dłużewski M., Dłużewska A.: Ogólna technologia żywności. WNT, Warszawa 1984.
- [32] Postolski J., Gruda Z.: Zamrażanie żywności. WNT, Warszawa 1985.
- [33] Praca zbiorowa: Maszyny i urządzenia do przetwórstwa płodów rolnych. WPM-WEMA, Warszawa 1987, cz. A i B.
- [34] Praca zbiorowa: Linie i zestawy technologiczne. WPM-WEMA, Warszawa 1987.
- [35] Praca zbiorowa: Technologia przetwórstwa ziemniaczanego. WNT, Warszawa 1972.
- [36] Praca zbiorowa: Krachmał i krachmaloprodukty. Agropromizdat. Moskwa 1985.
- [37] Praca zbiorowa: Die Zuckerherstellung. VEB, Fachbuchverl. Berlin 1980.
- [38] Praca zbiorowa: Ion Exchange Technology. Ae.Pr.Inc., N. York 1956.
- [39] Praca zbiorowa: Brodilnyje proizvodstwa. Piszczepromizdat. Moskwa 1959.
- [40] Praca zbiorowa: Postęp techniczny w przemyśle spirytusowym i drożdżowniczym. WNT, Warszawa 1971.
- [41] Praca zbiorowa: Maszyny i urządzenia w przemyśle spirytusowym i drożdżowniczym. WPLiSp, Warszawa 1961.



- [42] **Praca zbiorowa: Inżynieria procesowa i aparatura przemysł. spożywczego.** WNT, Warszawa 1982.
- [43] **Praca zbiorowa: Procesy i aparaty w przemyśle spożywczym.** WNT, Warszawa 1978.
- [44] **Praca zbiorowa: Problemy biotechnologii.** Ossolineum, 1988.
- [45] **Rubik M.: Chłodnictwo.** PWN, Warszawa 1979.
- [46] **Schobinger U.: Płodowo-jagodnyje i owoszczyne soki. Lekka i puszczewaja prom.,** Moskwa 1982.
- [47] **Serwiński M.: Inżynieria procesowa. cz. I i II.** WPL, Łódź 1978.
- [48] **Smit P.: Ionenaustauscher und Absorber bei der Herstellung von Zuckern.** Akad. Verl., Berlin 1969.
- [49] **Spicer A.: Nowe metody zagęszczania i suszenia żywności.** WNT, Warszawa 1980.
- [50] **Stanbury P.F. and Whitaker A.: Principles of fermentation technology.** Pergamon Press, Oxford 1984.
- [51] **Strumiłło Cz.: Podstawy teorii i techniki suszenia. Wyd. 2,** WNT, Warszawa 1983.
- [52] **Szolec T.: Chłodnictwo.** WSz i P. Warszawa 1974.
- [53] **Warsza H.: Aparatura i urządzenia techniczne w zakładach cukierniczych.** WSz i P. Katowice 1975.
- [54] **Wesołowski A., Dworski F.: Automatyzacja urządzeń chłodniczych.** WNT, Warszawa 1984.
- [55] **Wyczański S.: Technologia cukiernictwa. WPLiSp. Warszawa 1964, cz. I, II i II.**
- [56] **Zagrodzki S.: Gospodarka cieplna cukrowni.** WNT, Warszawa 1979.
- [57] **Ziomba Z.: Podstawy cieplnego utrwalania żywności.** WNT, Warszawa 1980.
- [58] **Ziołkowski Z.: Destylacja i rektyfikacja w przemyśle chemicznym. Wyd. II,** WNT, Warszawa 1978.
- [59] **Žizikov W.A.: Filtracja. Teoria i praktyka rozdzielania zawiesin.** WNT, Warszawa 1985.



1606/W

