

Redakcja naukowa
Klaus Lösche

Chłodnictwo



 PWN

Redakcja naukowa
Klaus Lösche

Chłodnictwo

Przekład z języka niemieckiego
Agnieszka Błaszczak

TECHNOLOGIA W PIEKARNI



Dane oryginału

przekład z: Kältetechnologie in der Bäckerei, Klaus Lösche (Hrsg), 1. Auflage 2003
Copyright by B. BEHR`S Verlag GmbH & Co. KG, Averhoffstraße 10,
22085 Hamburg, Germany, www.behrs.de

Projekt okładki i stron tytułowych **Grzegorz Laskowski sixeightysix agency**

Ilustracja na okładce 152161253/**Petrovic Igor/Shutterstock**

Konsultant merytoryczny **Tomasz Błaszczak**

Wydawca **Katarzyna Kaźmierska**

Redaktor **Małgorzata Uba**

Produkcja **Mariola Grzywacka**

Łamanie **Polico-Art**

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo

Więcej na www.legalnakultura.pl

Polska Izba Książki

Copyright © for the Polish edition by Wydawnictwo Naukowe PWN SA
Warszawa 2015

ISBN 978-83-01-18134-5

Wydanie I

Warszawa 2015

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
02-676 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2
tel. 22 69 54 321; faks 22 69 54 288
infolinia 801 33 33 88
e-mail: pwn@pwn.com.pl; www.pwn.pl
Druk i oprawa Pabianickie Zakłady Graficzne S.A.

Spis treści

Słowo wstępne	15
Redaktor naukowy i autorzy	17
1. Przepisy prawa a głębokie mrożenie pieczywa (<i>H. Martell</i>)	19
1.1. Objaśnienie pojęć	19
1.2. Obowiązujące przepisy prawne	20
1.3. Wymagania fizyczne względem jakości głęboko mrożonego pieczywa	20
1.3.1. Jakość	20
1.3.2. Ogólnie przyjęte standardy jakości	21
1.3.3. Środek mrozący	21
1.3.4. Wyjątki	22
1.4. Obowiązek nadzoru i dokumentowania	22
1.4.1. Obowiązek nadzoru i dokumentowania podczas transportu produktów spożywczych głęboko mrożonych	22
1.4.2. Obowiązek nadzoru i dokumentowania podczas przechowywania	23
1.4.3. Kontrola temperatur podczas sprzedaży na miejscu, transportu i handlu detalicznego	24
1.5. Obowiązek pakowania pieczywa głęboko mrożonego	24
1.6. Oznaczanie produktów głęboko mrożonych dla konsumentów ..	25
1.6.1. Oznaczenia handlowe	25
1.6.2. Dodatkowe wymagania w kwestii oznaczania pieczywa głęboko mrożonego	26
1.6.3. Termin przydatności do spożycia	26
1.6.4. Skład ilościowy	27
1.6.5. Widoczność wszystkich informacji handlowych	29
1.6.6. Lista składników	29
1.6.7. Podmiot odpowiedzialny	31
1.6.8. Numer partii produkcyjnej	32
1.6.9. Sposób oznaczania	33
1.7. Inne oznaczanie produktów głęboko mrożonych	33
1.8. Kary i grzywny	34

2. Podstawy chłodzenia i głębokiego mrożenia produktów spożywczych (H.-A. Kurzhals)	35
2.1. Wprowadzenie	35
2.2. Chłodzenie produktów spożywczych	36
2.2.1. Cel chłodzenia	36
2.2.2. Chłodzenie płynnych środków spożywczych	38
2.2.2.1. Zachowanie produktu	38
2.2.2.2. Obliczanie odprowadzanej energii cieplnej	39
2.2.2.3. Rodzaje chłodzenia	41
2.2.2.4. Rodzaje chłodni dla płynnych środków spożywczych	42
2.2.3. Chłodzenie stałych produktów spożywczych w opakowaniach	48
2.2.3.1. Chłodzenie stałych produktów spożywczych w opakowaniach	49
2.2.3.2. Ustalanie czasu schłodzenia stałych produktów spożywczych w opakowaniach	52
2.2.3.3. Obliczanie wydajności chłodni do chłodzenia stałych produktów spożywczych w opakowaniach	55
2.2.3.3.1. Chłodzenie produktów	56
2.2.3.3.2. Ciepło oddychania owoców i warzyw	56
2.2.3.3.3. Chłodzenie opakowań	57
2.2.3.3.4. Chłodzenie i osuszanie nowo wtłaczanego powietrza	58
2.2.3.3.5. Przedostawanie się ciepła przez ściany, sufit oraz podłoże chłodni	59
2.2.3.3.6. Przedostawanie się ciepła przy otwieraniu drzwi	60
2.2.3.3.7. Ekwiwalenty ciepła w postaci ludzi, maszyn oraz oświetlenia	60
2.2.3.3.8. Kondensacja pary wodnej, która dostała się do chłodni z zewnątrz	60
2.2.3.3.9. Zamarzanie powierzchni parownika w jednostkach chłodzących	60
2.2.3.3.10. Ustalanie całkowitej wydajności chłodzenia	61
2.2.3.4. Parametry powietrza w chłodniach	64
2.2.3.4.1. Temperatura powietrza	64
2.2.3.4.2. Skład powietrza	64
2.2.3.4.3. Wilgotność powietrza	65
2.2.3.4.4. Doprowadzanie powietrza i jego prędkość	67
2.2.3.5. Urządzenia służące chłodzeniu stałych środków spożywczych w opakowaniach	68

2.2.3.5.1. Urządzenia chłodzące działające z wykorzystaniem powietrza	68
2.3. Głębokie mrożenie produktów spożywczych	71
2.3.1. Cel głębokiego mrożenia	71
2.3.2. Procesy zachodzące podczas głębokiego mrożenia	72
2.3.3. Procesy zachodzące podczas przechowywania w głębokim mrożeniu	77
2.3.4. Parametry urządzeń do głębokiego mrożenia	84
2.3.4.1. Obliczanie czasu zamrażania	84
2.3.4.2. Obliczanie wydajności głębokiego mrożenia	92
2.3.5. Zachowanie produktów podczas głębokiego mrożenia	97
2.3.5.1. Uwagi ogólne	97
2.3.5.2. Zachowanie produktów podczas głębokiego mrożenia	100
2.3.5.2.1. Mrożenie przy użyciu wtłaczanego zimnego powietrza	100
2.3.5.2.2. Mrożenie przy użyciu substancji płynnych	108
2.3.5.2.3. Mrożenie przez bezpośredni kontakt z zimną powierzchnią	112
2.3.5.2.4. Mrożenie z wykorzystaniem urządzeń próżniowych	115
2.3.5.3. Przechowywanie w głębokim mrożeniu	116
3. Charakterystyka zbóż i produktów zbożowych (<i>M. Molitor</i>)	119
3.1. Żyto zwyczajne	119
3.2. Pszenica zwyczajna	120
3.3. Budowa i składniki ziaren	120
3.4. Jakie możliwości daje metoda opisu pośredniego i co z niej wynika?	122
3.4.1. Wilgotność [ICC nr 110/1]	122
3.4.2. Zawartość składników mineralnych [ICC nr 104/1]	123
3.4.3. Mokry gluten [ICC nr 137]	123
3.4.4. Wartość sedymentacji [ICC nr 116]	123
3.4.5. Liczba opadania [ICC nr 107]	123
3.4.6. Białka [ICC nr 105]	124
3.4.7. Farinogram (wodochłonność) [ICC nr 115/1]	124
3.4.8. Ekstensogram [ICC nr 114/1]	124
3.4.9. Amylogram [ICC nr 126/1]	124
3.5. Proces produkcji	127
4. Wpływ głębokiego mrożenia na ciasto i produkt gotowy (<i>K. Lösche</i>) ..	133
4.1. Wprowadzenie	133
4.2. Wpływ głębokiego mrożenia na ciasto	136
4.2.1. Powstawanie kryształków lodu	136

4.2.2. Ciasto w systemie trójfazowym	140
4.2.2.1. Właściwości reologiczne	140
4.2.2.2. Głębokie mrożenie ciast	141
4.2.2.3. Zawartość CO ₂ w ciastach	145
4.2.3. Drożdże piekarnicze a CO ₂	148
4.2.3.1. Właściwości funkcjonalne drożdży piekarniczych	148
4.2.3.1.1. Stymulatory wzrostu	149
4.2.3.1.2. Wartość A _w i ciśnienie osmotyczne	150
4.2.3.1.3. Temperatura	151
4.2.3.1.4. Koloidy ochronne	155
4.2.3.1.5. Wartość pH	155
4.2.3.1.6. Powstawanie CO ₂	156
4.2.3.2. Głębokie mrożenie i rozmrażanie ciast	159
4.2.3.2.1. Straty aktywności fermentacyjnej drożdży	159
4.2.3.2.2. Rozpuszczalność CO ₂ w wodzie w zależności od temperatury	161
4.2.3.2.3. Przekazywanie ciepła w cieście	165
4.2.4. Wpływ składników na stabilność ciasta	169
4.2.4.1. Utlenianie	169
4.2.4.2. Enzymy	171
4.2.4.3. Inne składniki	176
4.2.5. Zmiany zachodzące na skutek głębokiego mrożenia ciasta. Podsumowanie.	178
4.3. Głębokie mrożenie produktów gotowych (wypieczonych)	179
4.3.1. Wyrównanie ciśnienia po wypieku	179
4.3.2. Retrogradacja skrobi	182
4.4. Przebieg procesu produkcji przy obróbce twardych owoców z wykorzystaniem głębokiego mrożenia	185
5. Przebieg procesu produkcji dla głęboko mrożonych wygarowanych kęsów ciasta – projekt „Quick Step” firmy Puratos (F. Devos, C. Wirtz) ..	193
5.1. Wprowadzenie	193
5.2. Założenia projektu dla głęboko mrożonych wygarowanych kęsów ciast	194
5.3. Przyczyny straty jakości w przypadku głęboko mrożonych kęsów wygarowanych ciast	196
5.4. Wskazówki praktyczne przy produkcji głęboko mrożonych wygarowanych kęsów ciast	197
5.4.1. Składniki podstawowe	198
5.4.1.1. Mąka	198
5.4.1.2. Woda	198
5.4.1.3. Polepszacze	198
5.4.1.4. Drożdże	198

5.4.2. Przerabianie	199
5.4.2.1. Miesienie	199
5.4.2.2. Wyrabianie	199
5.4.2.3. Garowanie	199
5.4.2.4. Mrożenie	200
5.4.2.5. Wypiek	201
5.4.3. Polepszacz „Quick Step”	201
6. Nowatorskie chłodzenie ciasta podczas miesienia przy użyciu CO₂ (D. Sikken, G. Dirksen, K. Lösche)	203
6.1. Wprowadzenie	203
6.2. Poziom zaawansowania techniki	203
6.3. Iniektor suchego lodu (śniegu CO ₂)	213
6.4. Badania techniczne	219
6.5. Podsumowanie	231
7. Kontrola garowania oraz mrożenie drobnego pieczywa pszennego przy zastosowaniu specjalnych chłodni oraz pieców piekarniczych (M. Pittroff, H. Späth)	233
7.1. Wprowadzenie	233
7.2. Sposoby prowadzenia ciast oraz metody prowadzenia gary	234
7.2.1. Konwencjonalny sposób prowadzenia ciasta (produkcja bezpośrednia)	235
7.2.2. Długie prowadzenie garowania	235
7.2.3. Odroczone garowanie (GV)	239
7.2.4. Przerwane garowanie (GU)	239
7.2.5. Mrożenie (przebieg)	240
7.2.6. Inne czynniki	241
7.3. Wyznaczanie celu – potencjał kontroli procesu garowania	242
7.4. Warunki garowania	245
7.4.1. Właściwa wilgotność	246
7.4.2. Odpowiednia cyrkulacja powietrza	249
7.4.3. Geometria przestrzenna i rozprowadzanie powietrza	250
7.4.4. Rodzaje urządzeń	251
7.5. Piece piekarnicze a przebieg procesu wypiekania	252
7.5.1. Wymagania technologiczne	252
7.5.2. Wymagania techniczne	253
7.5.3. Łączenie w sieć – system CAB	256
7.6. Perspektywy	258
8. Kontrola garowania przy produkcji drobnego pieczywa żytniego (O. Bauermann)	259
8.1. Wprowadzenie	259
8.2. Różnice we właściwościach wypiekowych mąk pszennych i żytnich	260
8.3. Jakość surowców	261
8.3.1. Udział mąki a jej jakość	261

8.3.2. Drożdże piekarnicze	262
8.3.3. Zakwas	263
8.3.4. Polepszacz	264
8.3.5. Inne składniki	266
8.4. Tworzenie receptur	267
8.5. Technologia produkcji drobnego pieczywa żytniego	268
8.5.1. Przygotowanie ciasta	268
8.5.2. Dojrzewanie ciasta	268
8.5.3. Dzielenie i wyrabianie ciasta	269
8.5.4. Wstępne garowanie kęsów	269
8.6. Kontrola przebiegu procesu garowania	270
8.6.1. Wydłużone prowadzenie gary	270
8.6.2. Odroczone garowanie	270
8.6.3. Przerwane garowanie	271
8.6.4. Mrożenie szokowe kęsów ciasta bez gary	273
8.6.5. Mrożenie szokowe kęsów ciasta z garą	274
8.7. Przechowywanie w głębokim mrożeniu	275
8.8. Proces wypieku	277
8.8.1. Przygotowanie kęsów ciasta	277
8.8.2. Wypiek w różnych piecach piekarniczych	277
8.8.2.1. Wypiek w piecach obrotowych lub wsadowych	277
8.8.2.2. Wypiek kęsów ciasta z garą w sklepowych stacjach wypieku ze zintegrowaną fazą rozmrażania	278
8.9. Omówienie błędów przy wypieku	279
8.10. Podsumowanie	281
9. Chłodzenie próżniowe Zeovac jako alternatywa dla mrożenia szokowego (A. Cermak)	285
9.1. Wprowadzenie	285
9.2. Objaśnienie pojęć	286
9.2.1. Ciśnienie	286
9.2.2. Czas	287
9.3. Prawa fizyki	288
9.4. Technologia procesowa	289
9.4.1. Budowa	289
9.4.2. Funkcje	289
9.4.3. Zakres stosowania chłodzenia próżniowego Zeovac	290
9.5. Metoda Unterbruch-Backmethode – nowa definicja	290
9.5.1. Popularność produktów z półzapiek	291
9.5.2. Opis techniczny metody Zeovac-Unterbruch-Backmethode	292
9.5.2.1. Faza 1 – wstępny zapiek	292
9.5.2.2. Faza 2 – szybkie schładzanie próżniowe	292
9.5.2.3. Faza 3 – przechowywanie	293
9.5.2.4. Faza 4 – dystrybucja	293
9.5.2.5. Faza 5 – wypiek końcowy	294

9.6. Zalety metody Zeovac w porównaniu z głębokim mrożeniem produktów z półzapięku	294
9.6.1. Zalety dla zakładu piekarniczego	294
9.6.2. Zalety dla sklepów	295
9.7. Wpływ receptury i przebiegu procesu produkcji na jakość	297
9.8. Dehydratacja/ rehydratacja/ smak	297
9.8.1. Straty wody na skutek chłodzenia próżniowego	297
9.8.2. Rehydratacja	298
9.8.3. Smak	299
9.9. Koszty/ zużycie energii	299
9.10. Inne zastosowania	300
9.10.1. Wstępne schładzanie produktów do głębokiego mrożenia	300
9.10.2. Schładzanie i zmniejszanie liczby drobnoustrojów	302
9.11. Podsumowanie	302
10. Nowatorski proces mrożenia pieczywa z użyciem próżni i entalpii (R. Dollinger)	305
10.1. Wykorzystanie próżni – rys historyczny	305
10.2. Próżnia	305
10.3. Entalpia a prężność pary wodnej	306
10.4. Budowa i funkcje urządzenia chłodniczego wykorzystującego zjawiska entalpii i próżni	308
10.5. Zastosowanie metody chłodzenia z użyciem próżni i entalpii w piekarnictwie	311
10.5.1. Schładzanie pieczywa przed pakowaniem lub krojeniem	312
10.5.2. Przechowywanie pieczywa z półzapięku w warunkach chłodniczych	314
10.5.3. Przechowywanie produktów spożywczych w głębokim mrożeniu	316
10.5.4. Inne zastosowania w piekarnictwie	316
10.6. Rehydratacja a strata masy	316
10.7. Zakres zastosowania technologii	317
11. Mrożenie ciast i produktów gotowych przy użyciu gazów (T. Wolf) . .	319
11.1. Proces zamrażania	320
11.2. Chłodzenie konwencjonalne	322
11.3. Chłodzenie przy użyciu dwutlenku węgla	323
11.4. Chłodzenie przy użyciu azotu	324
11.5. Aspekty termodynamiczne	326
11.6. Urządzenie kriogeniczne	327
11.7. Koszty	330
11.8. Kontrolowanie temperatury	333
11.8.1. Chłodzenie mąk	333
11.8.2. Chłodzenie w miesiarkach	333
11.8.3. Chłodzenie podczas transportu	334

12. Metoda półzapięku BIB-Ulmer Spatz do produkcji chlebów z udziałem żyta (S. Keller, T. Enders)	335
12.1. Wprowadzenie	335
12.2. Szczegółowy opis metody półzapięku BIB-Ulmer Spatz	338
12.2.1. Fazy wypięku	338
12.2.1.1. Wstępny zapięku	339
12.2.1.2. Wypięku końcowy	339
12.2.1.3. Łączny czas pieczenia w porównaniu do produkcji bezpośredniej	340
12.2.2. Przechowywanie	341
12.2.2.1. Czas przechowywania	341
12.2.2.2. Pakowanie	342
12.2.2.3. Temperatury przechowywania	342
12.2.3. Przechowywanie po wypięku końcowym	343
12.3. Metoda półzapięku BIB-Ulmer Spatz w praktyce	344
12.3.1. Przebieg temperatur w jądrze	344
12.3.2. Pomiar temperatur w jądrze	345
12.3.3. Przegląd parametrów wypięku	346
12.3.4. Wyniki dla różnych rodzajów chleba	347
12.3.5. Możliwości zastosowania	348
12.4. Podsumowanie	349
13. Chłodzenie adiabatyczne pieczywa krojonego (H. Wolkenhauer, K. Lösche)	351
13.1. Zmniejszenie ryzyka zanieczyszczenia mikrobiologicznego przy produkcji i obróbce pieczywa	351
13.1.1. Wprowadzenie	351
13.1.2. Zasada należytej staranności wynikająca z przepisów prawa żywnościowego	352
13.1.3. Źródła zanieczyszczenia przy produkcji pieczywa	352
13.2. Działania zmierzające do zmniejszenia ryzyka zanieczyszczenia	356
13.2.1. Aspekty technologiczne	357
13.2.2. Działania ogólne/ Hygienic Processing	361
13.3. ADIAcool – chłodzenie adiabatyczne produktów spożywczych	364
13.3.1. Wprowadzenie	364
13.3.2. Przebieg procesu chłodzenia	365
13.3.2.1. Chłodzenie z udziałem i bez udziału wilgoci	366
13.3.2.2. Chłodzenie z udziałem parowania / chłodzenie adiabatyczne	367
13.3.3. Chłodzenie swobodne a adiabatyczne produktów spożywczych	368
13.4. Proces chłodzenia pieczywa	370
13.4.1. Schładzanie w naturalnych warunkach atmosferycznych	370
13.4.2. Technologia chleba tostowego	370
13.4.3. Chłodzenie próżniowe	370

13.4.4. Tunel chłodniczy	371
13.4.5. Chłodzenie powietrzem z zewnątrz przy zachowaniu wymogów <i>clean room</i>	371
13.4.6. Chłodzenie adiabatyczne (ADIAcool)	371
13.4.7. Zestawienie parametrów dla różnych rodzajów chłodzenia	371
13.5. Badania empiryczne na przykładzie produktów pełnoziarnistych	372
13.5.1. Czas chłodzenia	372
13.5.2. Spadek masy	373
13.5.3. Przydatność do spożycia	375
13.6. ADIAcool w produkcji pieczywa	377
13.6.1. Schemat instalacji	377
13.6.2. Opis urządzenia modelowego	378
13.6.3. Opis urządzenia przemysłowego	383
13.6.4. Wymagania <i>clean room</i>	385
13.7. Uwagi końcowe	387
14. Ustalenie zapotrzebowania mocy chłodniczej w zakładach piekarniczych (<i>U. Dienstuhl</i>)	389
14.1. Wprowadzenie	389
14.2. Aspekty teoretyczne przy ustalaniu zapotrzebowania mocy chłodniczej	391
14.2.1. Zapotrzebowanie mocy chłodniczej netto dla żywności mrożonej	391
14.2.2. Zapotrzebowanie mocy chłodniczej dla urządzeń transportowych	394
14.2.3. Zapotrzebowanie mocy chłodniczej w przypadku wnikania ciepła z zewnątrz	395
14.2.4. Zapotrzebowanie mocy chłodniczej w przypadku wymiany powietrza na skutek otwierania drzwi	396
14.2.5. Zapotrzebowanie mocy chłodniczej przy silnikach elektrycznych	398
14.2.6. Podsumowanie obliczeń zapotrzebowania mocy chłodniczej	398
14.3. Decyzje inwestycyjne	399
14.3.1. Dobór urządzeń	399
14.3.2. Porównanie kosztów chłodniczych urządzeń konwencjonalnych i kriogenicznych	400
14.3.3. Podsumowanie	401
15. Analiza rentowności sklepowych stacji wypieku na podstawie wybranych współczynników (<i>C. Schmidt</i>)	403
15.1. Wprowadzenie	403
15.2. Metodyka badań	404

15.3. Analiza danych na podstawie jednego z produktów	405
15.3.1. Dobór i ocena danych	405
15.3.2. Analiza wybranych współczynników	408
15.3.3. Obliczanie i analiza kosztów jednostkowych dla danego produktu	410
15.3.4. Obliczanie i analiza prognozy rentowności danego produktu	411
15.4. Obliczanie i analiza na płaszczyźnie stacji wypieku	414
15.5. Wnioski końcowe	416
16. Zapewnienie utrzymania jakości podczas przechowywania, transportu oraz w całym łańcuchu chłodniczym (O. Orzełski)	419
16.1. Wprowadzenie do teorii gwarancji jakości w handlu	419
16.2. Utrzymanie jakości od momentu wyprodukowania do sprzedaży	421
16.3. Kontrola przy odbiorze produktów piekarniczych głęboko mrożonych	423
16.4. Przechowywanie produktów piekarniczych głęboko mrożonych	425
16.4.1. Chaotyczne przechowywanie produktów piekarniczych głęboko mrożonych	425
16.4.2. Systematyczne przechowywanie produktów piekarniczych głęboko mrożonych	426
16.5. Standardy higieniczne	426
16.5.1. Higiena otoczenia	426
16.5.2. Higiena urządzeń	427
16.5.3. Higiena osobista	427
16.5.4. Higiena produkcji	427
16.6. Transport do klientów	428
16.6.1. Transport z wykorzystaniem pojemników termicznych do produktów głęboko mrożonych	428
16.6.2. Transport w samochodach z systemem chłodzenia	429
16.7. Perspektywy na przyszłość dla kontrolowania temperatur	430
Indeks	433

Słowo wstępne

Niniejsza książka jest bezpośrednim nawiązaniem do publikacji *Odroczony rozrost. Technologia w piekarni* (WN PWN, Warszawa 2014) przygotowanej pod redakcją naukową dr. Hansa Hubera. Opisane w niej reformy piekarstwa w zakresie stosowania technologii chłodzenia przy produkcji pieczywa uległy od tego czasu dalszym zmianom i ulepszeniom. Zagadnienie głębokiego mrożenia ciast, pieczywa wypieczonego i innych środków spożywczych spotkało się z pozytywnym przyjęciem ze strony profesjonalistów z branży. Ponadto zaczęto brać pod uwagę już nie tylko aspekty techniczne czy technologiczne, lecz także ekonomiczne, prawne, logistyczne i wiele innych. Dlatego też zadaniem tej książki jest przedstawienie obecnego stanu rozwoju technologii chłodniczych w piekarstwie. Naszym celem jest również przybliżenie Czytelnikom – na tle dotychczasowych badań w tej dziedzinie – fizyczno-przyrodniczych podstaw chłodzenia i mrożenia produktów spożywczych oraz głębokiego mrożenia ciast i pieczywa wypieczonego. Nowe wyniki badań pomogą wyjaśnić i zrozumieć uprzednio nie do końca doprecyzowane tezy, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania w zakładach piekarniczych technik chłodzenia konwencjonalnej i kriogenicznej, zarówno w ujęciu teoretycznym, jak i praktycznym.

Przedstawimy także nowości w zakresie chłodzenia, prowadzenia gary i głębokiego mrożenia ciast oraz pieczywa odpieczonego. Pokażemy nowe rozwiązania technologiczno-produkcyjno-techniczne i nowe możliwości produkcyjne płynące z zastosowania specjalnych polepszaczy przy pracy z głębokim mrożeniem.

Chęć zastosowania technologii chłodzenia w zakładzie piekarniczym wiąże się z przeorganizowaniem procesu produkcji, poczynając od miesienia ciast a kończąc na sposobach dostarczania zamrożonych produktów do sklepów. Jednak wiele możliwości, które zapewnia ta technologia, jest w dalszym ciągu niewykorzystanych, co z kolei może stanowić potencjał rozwoju zakładu zarówno pod względem technologiczno-jakościowym, jak i pod względem ekonomicznym (niższe koszty energii/ produkcji). Dlatego też znajomość technologii chłodzenia może stanowić solidną podstawę rozwoju danego zakładu i być kluczem do jego sukcesu na rynku piekarniczym.

Autorami książki są uznani mistrzowie piekarstwa, technolodzy, naukowcy, inżynierowie, ekonomiści i prawnicy, których wiedza i doświadczenie przyczyniły się do powstania kompendium na temat technologii chłodniczych.

Ponadto należą się wyrazy uznania współautorom, którzy służyli radą podczas redagowania książki i wyrażali konstruktywną krytykę na podstawie własnego doświadczenia.

Należy także wspomnieć i podziękować samemu wydawnictwu za udaną współpracę podczas prac redakcyjnych.

dr Klaus Lösche

Bremerhaven, listopad 2002 r.

Nowatorski proces mrożenia pieczywa z użyciem próżni i entalpii

R. Dollinger

10

10.1. Wykorzystanie próżni – rys historyczny

Historia chłodzenia próżniowego i jego zastosowania w praktyce sięga starożytnego Egiptu. Egipcjanie stawiali w nocy terakotowe garnki z wodą na dachach. Część wody, która przedostawała się przez ścianki garnka na zewnątrz, odparowywała pod wpływem zimnego wiatru wiejącego nocą, dzięki czemu pozostała w garnku woda była schładzana.

Mówiąc o historii wykorzystania zjawiska próżni w nauce, należy wspomnieć o słynnym eksperymencie półkul magdeburgskich, przeprowadzonym w 1654 r. przez Ottona von Guericke (1602–86). Doświadczenie polegało na tym, że dwie miedziane półkule o średnicy 30 cm każda, o starannie zeszlifowanych krawędziach Von Guericke docisnął jedna do drugiej i uszczelnił. Następnie wypompuwał ze środka tak powstałej kuli powietrze. Okazało się, że sam nie jest w stanie oddzielić półkul – potrzeba była do tego siła aż ośmiu par koni.

Po wielu latach okazuje się, że próżnia, a w szczególności chłodzenie próżniowe ma zastosowanie w wielu różnych dziedzinach. Jedną z nich jest produkcja pieczywa.

10.2. Próżnia

Próżnia jako zjawisko fizyczne dzieli się na różne podgrupy. Biorąc pod uwagę jakość próżni, wyróżnia się:

próżnię niską

10^2 – 10^5 Pa (1 – 10^3 mbar)

próżnię średnią

10^{-1} – 10^1 Pa (10^{-3} – 1 mbar)

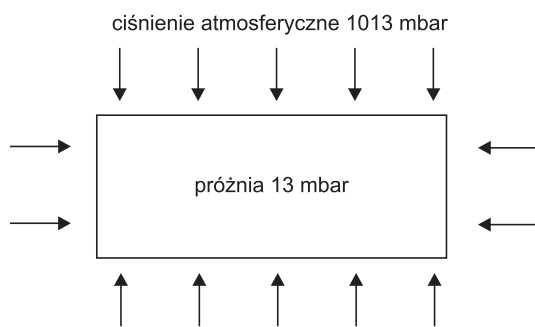
próżnię wysoką

10^{-5} – 10^{-1} Pa (10^{-7} – 10^{-3} mbar)

próżnię bardzo wysoką

$< 10^{-5}$ Pa ($< 10^{-7}$ mbar)

Nacisk powierzchniowy, który jest wywierany na ciało w próżni podczas pracy urządzenia, jest wielokrotnie niedoceniany, ponieważ maksymalna różnica ciśnienia w stosunku do ciśnienia atmosferycznego wynosi jedynie 1 bar (rys. 10.1), co na pierwszy rzut oka może wydawać się niedużo. Należy przypomnieć, że przez ciśnienie (Pa) rozumie się określoną siłę (N), która oddziałuje na określoną powierzchnię (m^2). Dla ciała w próżni oznacza to, że ciśnienie atmosferyczne z zewnątrz wywiera nacisk na powierzchnię w wysokości $100\ 000\ N/m^2$ (ok. $10\ ton/m^2$). Taki nacisk odpowiada naciskowi pięciu samochodów osobowych średniej klasy na $1\ m^2$ powierzchni.



Rys. 10.1. Schemat graficzny siły nacisku na ciało w próżni

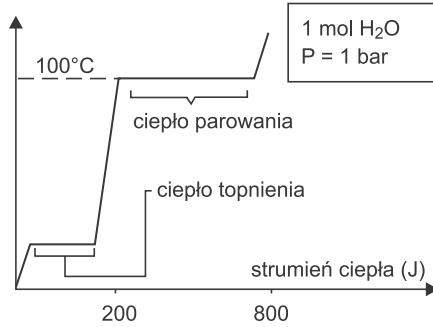
10.3. Entalpia a prężność pary wodnej

Pod pojęciem entalpii rozumie się energię wewnętrzną danej substancji. Metoda chłodzenia z wykorzystaniem próżni i entalpii zakłada, że pieczywo jest schładzane dzięki zjawisku entalpii parowania wody w próżni. W zależności od stanu skupienia zmienia się każdorazowo także entalpia wody:

entalpia tworzenia	15 882,8 kJ/kg
entalpia topnienia	333,9 kJ/kg
entalpia parowania	2258,4 kJ/kg
ciepło właściwe	4,1855 J/gK

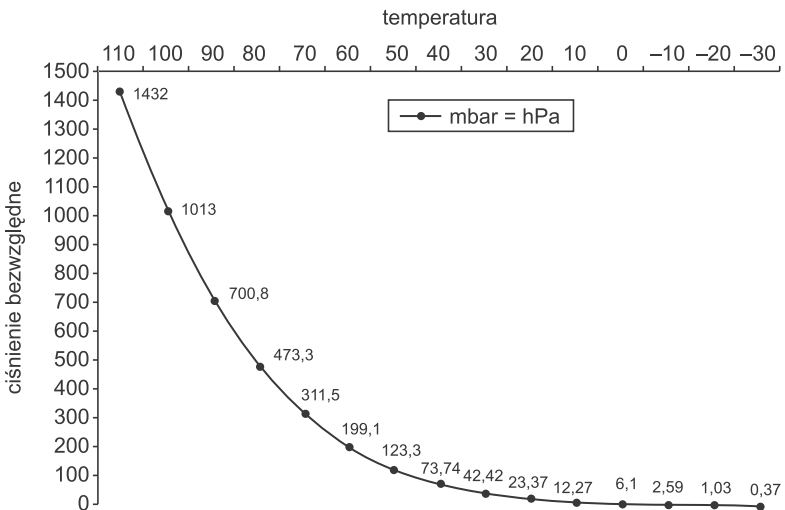
Porównując ze sobą różne parametry entalpii wody można zauważyć, że ciepło parowania jest o wiele wyższe niż ciepło właściwe oraz ciepło topnienia. W praktyce można to zobrazować następująco.

Dzięki energii (rys. 10.2), potrzebnej do przemiany 1 litra wody o temperaturze $100^{\circ}C$ w parę wodną, można podgrzać ok. 6,74 litra wody z $20^{\circ}C$ do $100^{\circ}C$ lub zamienić odpowiednią ilość lodu ($0^{\circ}C$) w 6,76 litra wody o temperaturze $0^{\circ}C$.



Rys. 10.2. Entalpia – strumień ciepła w przypadku wody

Z tego zjawiska korzysta metoda chłodzenia wykorzystująca próżnię i entalpię. Polega ona na tym, że przez stworzenie odpowiednich warunków próżniowych obniża się temperaturę parowania wody (rys. 10.3). Oznacza to, że wraz ze wzrostem ciśnienia w próżni opada temperatura parowania, np. przy ciśnieniu bezwzględnym w wysokości 12,27 hPa (mbar) woda zaczyna parować w temperaturze 10°C i powstaje para wodna. Na skutek zmiany stanu skupienia wody – przejście do pary wodnej (entalpia parowania) – produktowi zawierającemu wodę (np. bulkom) jest odbierane dużo energii. Dzięki temu można uzyskać pożądaną do przechowywania pieczywa temperaturę chłodzenia.



Rys. 10.3. Krzywa ciśnienia pary nasyconej wody w próżni

10.4. Budowa i funkcje urządzenia chłodniczego wykorzystującego zjawiska entalpii i próżni

Takie urządzenia chłodnicze działają w trybie wsadowym i składają się z dwóch głównych części.

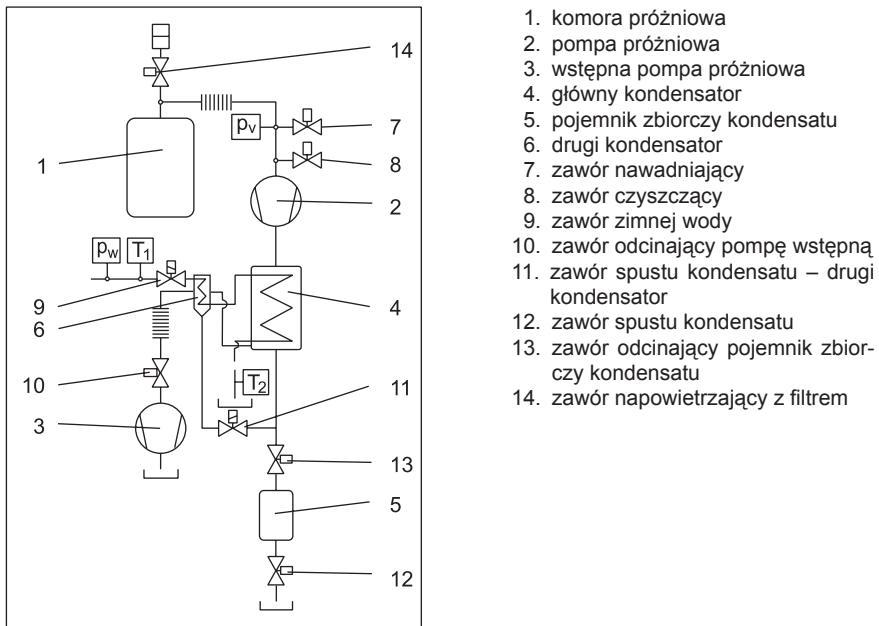
Komora próżniowa jest pomieszczeniem, do którego trafiają wózki z produktami przeznaczonymi do schłodzenia. Ze względu na niesłychanie wysoki nacisk, który jest wywierany na ściany zewnętrzne urządzenia podczas powstawania próżni, komora próżniowa i drzwi muszą być wykonane w bardzo staranny i trwały sposób.

Stacja pomp jest konstrukcją, w której znajdują się agregaty pompowe, kondensatory, system zaworów oraz system sterowania urządzeniem.

Zgodnie z założeniem działanie urządzenia chłodniczego wykorzystującego zjawiska entalpii i próżni polega na tym, że komora próżniowa jest napędzana przez stację pomp.

System pracy takiego urządzenia przebiega w trybie wsadowym, jak zostało przedstawione na rys. 10.4.

Wózek z pieczywem z półzapięku (np. bułkami) trafia bezpośrednio z pieca wsadowego przez rampę najazdową do komory próżniowej (1); rys. 10.5.



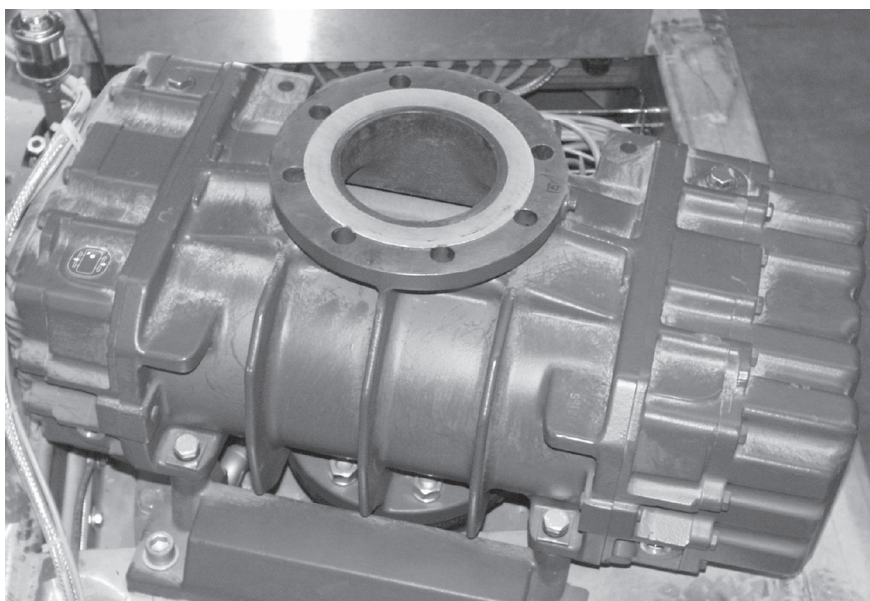
Rys. 10.4. Schemat działania urządzenia chłodniczego wykorzystującego zjawiska entalpii i próżni autorstwa Fa. Werner & Pfleiderer Lebensmitteltechnik



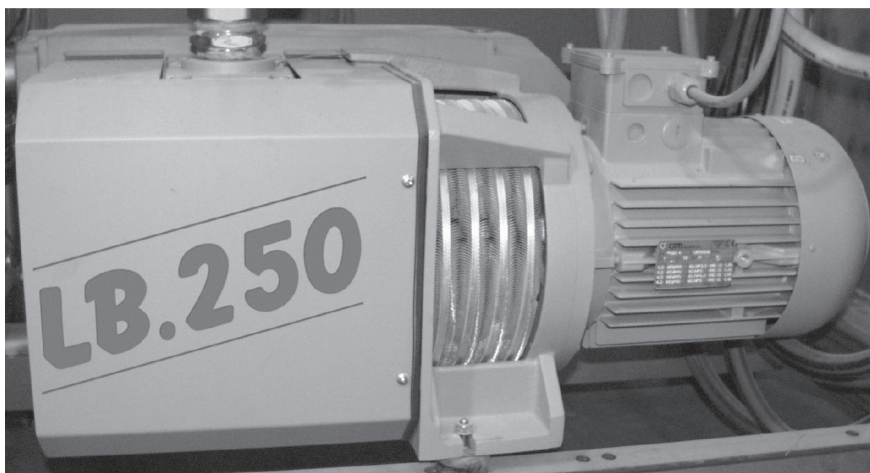
Rys. 10.5. Zdjęcie komory próżniowej do pracy w trybie wsadowym

Po wprowadzeniu wózków do komory próżniowej i wybraniu odpowiedniego programu urządzenie zaczyna pracę. Zawór napowietrzający (14), zawór spustu kondensatu (12), zawór spustu kondensatu – drugi kondensator (11) oraz zawór nawadniający (7) są zamykane, a zawór odcinający pompę wstępną (10) i zawór zimnej wody (9) są otwierane. Pompa próżniowa (2) – rys. 10.6 oraz wstępna pompa próżniowa (3) – rys. 10.7 rozpoczynają pracę i sukcesywnie odprowadzają powietrze, tworząc próżnię w komorze próżniowej. Czujnik ciśnienia (p_v) jest odpowiedzialny za ustanowienie ciśnienia bezwzględne w komorze próżniowej. Przebieg jego pracy z opcją sterowania można śledzić na panelu sterującym Touch Screen.

Czujniki temperatury (T1, T2) mierzą temperaturę zimnej wody przy wejściu i wyjściu z kondensatora (4). Sterowanie temperaturą odbywa się za pośrednictwem otwierania i zamykania zaworu zimnej wody (9), dzięki czemu jej zużycie jest minimalizowane.



Rys. 10.6. Zdjęcie pompy próżniowej w stacji pomp



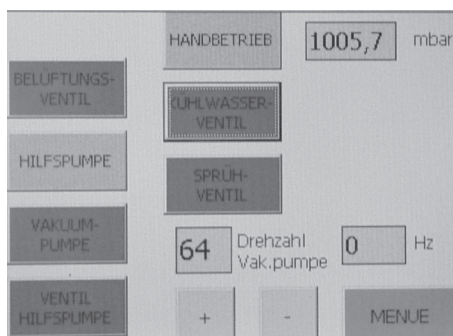
Rys. 10.7. Zdjęcie wstępnej pompy próżniowej w stacji pomp

Praca kondensatora wspomaga działanie obydwu pomp próżniowych, przy czym powstała para wodna kondensuje się do postaci wody na wężownicy w kondensatorze. Nagła zmiana objętości powoduje działanie pomp kondensatora. Powstający kondensat jest gromadzony w pojemniku zbiorczym kondensatu (5). Efektywność działania zależy od możliwości

ustawiania najniższej temperatury zimnej wody. Po osiągnięciu pożądanej temperatury w próżni, która jest o 5°C wyższa niż początkowa temperatura zimnej wody, dochodzi do zamknięcia zaworu odcinającego pojemnik zbiorczy kondensatu (13).

Pozostałości kondensatu są zbierane w drugim kondensatorze (6) i gromadzone w pojemniku zbiorczym drugiego kondensatora. Podczas wytwarzania próżni w komorze próżniowej program sterujący stale dokonuje pomiarów ciśnienia i porównuje je z wartością ciśnienia bezwzględnego.

W momencie gdy ciśnienie w komorze osiągnie pożądaną wartość, system sterowania (rys. 10.8) wyłącza pompę próżniową (2). Następnie dochodzi do zamknięcia zaworu odcinającego pompę wstępną (10) i do otwarcia zaworu napowietrzającego (14).



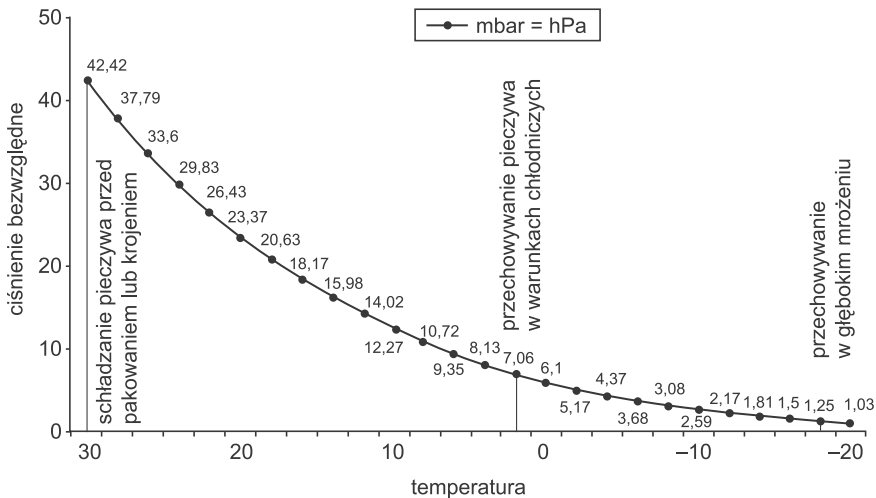
Rys. 10.8. Zdjęcie panelu sterującego urządzenia

Potem, w możliwie jak najkrótszym czasie, następuje wyrównanie ciśnienia w komorze próżniowej. Zawór spustu kondensatu – drugi kondensator (11), zawór odcinający pojemnik zbiorczy kondensatu (13) oraz zawór spustu kondensatu (12) są otwierane i kondensat jest odprowadzany. Wówczas można otworzyć drzwi komory próżniowej i wyciągnąć wózki z produktami. Urządzenie jest znowu gotowe do kolejnego procesu schładzania próżniowego.

10.5. Zastosowanie metody chłodzenia z użyciem próżni i entalpii w piekarnictwie

Możliwości zastosowania metody chłodzenia z użyciem próżni i entalpii w piekarnictwie są rozmaite. Zasadniczo wyróżnia się trzy podstawowe zakresy zastosowania (rys. 10.9), które są możliwe po zakończeniu proce-

su chłodzenia próżniowego. Należy jednak pamiętać, że występuje jeszcze wiele innych zastosowań tej metody zarówno w piekarnictwie, jak i w technologii żywności.



Rys. 10.9. Możliwości zastosowania metody chłodzenia z użyciem próżni i entalpii w piekarnictwie

10.5.1. Schładzanie pieczywa przed pakowaniem lub krojeniem

Jedną z możliwości zastosowania tej metody jest schładzanie pieczywa do temperatury jądra w wysokości +30°C. Po osiągnięciu takiej temperatury jest możliwe krojenie lub pakowanie schłodzonego pieczywa. Dzięki temu produkcja może odbywać się na krótko przed wysłaniem pieczywa do sklepów firmowych, czyli szybciej niż było to w przypadku stygnięcia w koszach lub na wózkach.

Z uwagi na brak konieczności odstania pieczywa aż do momentu ostygnięcia, jest możliwe efektywniejsze wykorzystanie przestrzeni produkcyjnej. Ponadto zastosowanie metody chłodzenia próżniowego wpływa pozytywnie na strukturę skórki i chrupkość pieczywa, np. chleba krojonego. Efekt ten jest osiąganym dzięki ustabilizowaniu skórki, jednak bez zmiany jej grubości. Dlatego też produkt końcowy cechuje wyższa jakość (rys. 10.10).

Stabilizowanie skórki dzięki metodzie chłodzenia próżniowego przy ciastach, np. panettone, przekłada się na znaczny wzrost objętości produktu końcowego.



Rys. 10.10. Chleb żytni mieszany schłodzony po wypieku do temperatury odpowiedniej do jego pokrojenia

Stabilizowanie skórki jest efektem szybkiego a jednocześnie ostrożnego chłodzenia z wykorzystaniem próżni i entalpii. Szybsze twardnienie skórki zewnętrznej ciasta, np. panettone (rys. 10.11), powoduje większą objętość i porowatość produktu w porównaniu do klasycznego studzenia na wózkach czy w koszkach. Wzrost objętości może sięgać nawet 20%.



Rys. 10.11. Wzrost objętości panettone dzięki zastosowaniu chłodzenia próżniowego (nawet o 20%)

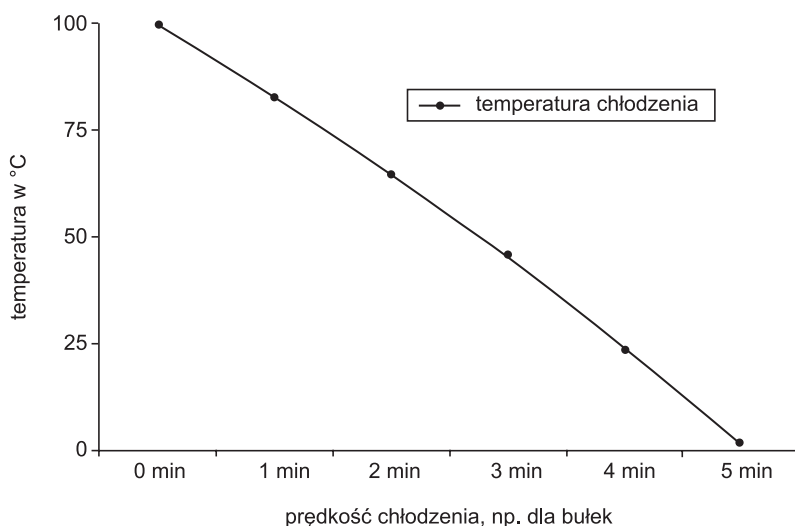
10.5.2. Przechowywanie pieczywa z półzapieku w warunkach chłodniczych

Innym zastosowaniem chłodzenia z wykorzystaniem próżni i entalpii jest przechowywanie pieczywa z półzapieku w warunkach chłodniczych (od $+2$ do $+4^{\circ}\text{C}$). Wybór czasu przechowywania w tym zakresie temperatur jest uzależniony od pewnych faktów.

Większość drobnoustrojów ginie po osiągnięciu temperatury jądra produktów w wysokości 94°C . W przypadku późniejszego zastosowania chłodzenia próżniowego dochodzi do szybkiego przejścia krytycznego zakresu temperatur, tj. od $+65$ do $+4^{\circ}\text{C}$ (rys. 10.12), dzięki czemu jest możliwe zatrzymanie wzrostu drobnoustrojów. Tak schłodzone pieczywo z półzapieku (np. bułki) może być przechowywane w temperaturze od ok. $+2^{\circ}\text{C}$ do $+4^{\circ}\text{C}$ nawet przez 21 dni.

Zastosowanie tej metody schładzania i przechowywania pieczywa daje piekarczywi możliwość wykorzystania nowych sposobów produkcji i dystrybucji produktów do sklepów firmowych przy jednoczesnym wzroście jakości i wydajności produkcji.

Poniżej przedstawiono przykładowy przebieg procesu produkcji bułek z wykorzystaniem schładzania próżniowego.



Rys. 10.12. Prędkość chłodzenia w urządzeniu chłodniczym wykorzystującym zjawisko próżni i entalpii

Bułki są wypiekane w piecu wsadowym w pierwszej kolejności, przy temperaturze ok. 230°C , przez 50% całkowitego czasu pieczenia. Tempe-

ratura jądra ze względu na drobnoustroje musi wynosić minimum 94°C. Następnie, możliwie jak najszybciej, bułki są schładzane w komorze próżniowej aż do osiągnięcia temperatury jądra w wysokości ok. +4°C (tj. po osiągnięciu ciśnienia 7 mbar w komorze).

Utrata masy na skutek odparowywania wody podczas chłodzenia próżniowego jest minimalizowana przez proces rehydratacji. Jednak dzięki chłodzeniu z wykorzystaniem próżni i entalpii dochodzi do stabilizacji skórki pieczywa.

Mimo krótszego czasu pieczenia oraz słabszego zbrązowienia skórki produkty z półzapeku (rys. 10.13) utrzymują swój kształt – w przeciwieństwie do innych stosowanych metod chłodzenia.



Rys. 10.13. Zdjęcie bułki wyprodukowanej z udziałem chłodzenia próżniowego o temperaturze jądra 4°C

Bułki z półzapeku po osiągnięciu odpowiedniej temperatury są przechowywane w chłodniach w temperaturze ok. +4°C. Czas przechowywania powinien wynosić przynajmniej 2 dni, żeby mogło dojść do wyrównania poziomu wilgotności w bułce, a maksymalny czas przechowywania – zazwyczaj 21 dni.

W przypadku konieczności ręcznego przekładania schłodzonych bułek z półzapeku należy zwrócić szczególną uwagę na to, żeby nie zanieczyścić bułek żadnymi drobnoustrojami, tzn. dopuszcza się kontakt z pieczywem jedynie w sterylnych rękawicach, a samo urządzenie chłodnicze jest wyposażone w sterylny filtr na ponownym dopuszczaniu powietrza do komory próżniowej.

Po zakończeniu przechowywania bułki mogą być od razu wypiekane. W przypadku transportu schłodzonego pieczywa do sklepów można zastosować logistykę MOPRO. Alternatywnie dopuszcza się transport w izolowanych pojemnikach w temperaturze ok. +4°C.

Następnie pieczywo jest dopiekane na miejscu, w sklepie, w temperaturze 240°C.

Wypieczone w ten sposób pieczywo cechują chrupiąca skórka oraz intensywny aromat. Nie jest to efekt grubszej skórki, lecz pozostałej w pieczywie w okolicach skórki wilgoci.

10.5.3. Przechowywanie produktów spożywczych w głębokim mrożeniu

Dzięki zastosowaniu chłodzenia z wykorzystaniem próżni i entalpii możliwe jest osiągnięcie w krótkim czasie temperatur poniżej -18°C . Dlatego też ma ono wiele zastosowań w technologii żywności.

10.5.4. Inne zastosowania w piekarnictwie

Innym zastosowaniem metody chłodzenia z wykorzystaniem próżni i entalpii jest wstępne schładzanie produktów przeznaczonych do głębokiego mrożenia do temperatury ok. $+2^{\circ}\text{C}$. W tym przypadku technologia ta służy ekonomizacji procesu schładzania (oszczędność energii) i zwiększeniu wydajności procesu produkcji towarów głęboko mrożonych.

W przerwach w produkcji chłodzenie próżniowe może być wykorzystywane przy produkcji łamanego lodu, sterylizowaniu kast lub koszyków rozrostowych czy też suszeniu pieczywa.

10.6. Rehydratacja a strata masy

Podczas chłodzenia próżniowego z produktów woda jest odprowadzana i odparowywana. W technologii chłodnictwa próżniowego pod pojęciem rehydratacji rozumie się ponowne dostarczenie wody do schłodzonych produktów.

Średnia utrata masy bez wykorzystania procesu rehydratacji jest zróżnicowana i zależy od wielkości, receptury, rodzaju produktu oraz docelowej temperatury schłodzenia. Zazwyczaj wynosi ona 4–8% masy produktu.

Dzięki zastosowaniu procesu rehydratacji tę utratę masy można zmniejszyć nawet o 30%, np. przez rozpylanie mgły wodnej podczas schładzania i podczas ponownego wtłaczania powietrza do komory próżniowej. Ze względu na zjawisko kapilarne na powierzchni skórki (analogiczne do gąbki) utracona woda powraca do produktów.

Dodatkowo stratę wody można pomniejszyć poprzez dodanie do receptury lipidów i lecytyny. Stratę wody można też wyrównać podczas wypieku przez wielokrotne zaparowywanie.

10.7. Zakres zastosowania technologii

Urządzenie do chłodzenia z udziałem entalpii i próżni potrzebuje do działania jedynie wody i prądu. Dlatego też nie ma tu mowy o stosowaniu kosztochłonnnych czynników chłodniczych dodatkowo zanieczyszczających środowisko.

Sama obsługa urządzenia jest prosta i przejrzysta dzięki zastosowanemu panelowi sterującemu. Ponadto jest możliwe zastosowanie tej oszczędnej i chroniącej środowisko technologii także w innych branżach niż piekarnictwo, np. w chłodzeniu dań gotowych, napojów, ciast, makaronów, liofilizacji produktów, oraz w medycynie. Chłodzenie próżniowe można byłoby bowiem stosować przy sterylizacji urządzeń medycznych. Z pewnością ma ono przed sobą przyszłość.