

MOŻLIWOŚCI WPŁYWU TEMPERATURY SUSZĄCEGO POWIETRZA NA JAKOŚĆ ZIARNA SUSZONEGO

J. KREYGER

Instytut Magazynowania i Technologii Produktów Rolnych Wageningen — Holandia

Powszechnie wiadomo, że ziarno jest wrażliwe na temperaturę. Przy suszeniu ziarna należy brać pod uwagę granicę temperatury (w związku z zawartością wilgoci i długotrwałością nagrzewania).

Znaczną część suszarni, używanych w praktyce, charakteryzuje to, iż ziarno jest suszone w warstwie, przez przepływ poprzecznego strumienia podgrzanego powietrza. System ten został powszechnie przyjęty głównie ze względu na jego prostą konstrukcję i niską cenę.

Jednak przy zastosowaniu tych suszarni występują trudności w odniesieniu do takich problemów jak: przebieg temperatury ziarna podczas suszenia, stosunek pomiędzy temperaturą powietrza i temperaturą ziarna, wpływ temperatury ziarna lub temperatury powietrza na jakość suszonego ziarna itp.

Informacje zawarte w literaturze, ogólnie biorąc, nie wyczerpują dokładnie okoliczności towarzyszących suszeniu w wyżej wspomnianych suszarniach. Z tych względów przeprowadzono studia i dokonano pewnych badań w Instytucie Magazynowania i Technologii Produktów Rolnych w Wageningen. Publikacja na ten temat ukaże się w czasopiśmie „Conserva“. Niniejszy referat jest jej skrótem.

ZASADY SUSZENIA ZIARNA

W czasie suszenia wilgotność musi być przeniesiona z wewnętrznej części ziarna do jego części zewnętrznej, a następnie wydaloną na zewnątrz. Przeniesienie wilgotności do otoczenia ma miejsce wówczas, gdy ciśnienie parowania ziarna jest wyższe niż ciśnienie otoczenia. W tym przypadku zewnętrzne części ziarna stają się bardziej suche i stopień wilgotności w poszczególnych ziarnach zostaje ustalony w wyniku przemieszczania się wilgotności z ich wnętrza do części zewnętrznych.

Suszenie można dokonywać na następujących zasadach:

- A. Przez zwiększanie ciśnienia parowania ziarna.
- B. Przez zmniejszenie ciśnienia parowania otoczenia.
- C. Przez zastosowanie obydwu metod wymienionych w A i B.

We wszystkich przypadkach musi być dostarczone ciepło, ponieważ ilość ciepła przy stadium parowania jest wyższa niż w stanie płynnym.

Tak jak to się dzieje we wszystkich substancjach zawierających wodę, ziarno posiada pewne ciśnienie parowania, które jest niższe niż ciśnienie parowania wody o tej samej temperaturze. Ciśnienie parowania ziarna waha się w zależności od zawartości wilgoci w granicach od $\pm 0,1$ ps do $\pm 0,95$ ps (ps = ciśnienie nasyconej pary wodnej).

Tak samo jak w wodzie, ciśnienie parowania ziarna wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, przy czym w ziarnie wzrasta stosunkowo bardziej, niż w wodzie.

Metoda wspomniana w punkcie A wymaga zwiększenia temperatury. Należy przy tym zwrócić uwagę, aby parowanie nie spowodowało zbyt dużego wzrostu ciśnienia pary w środowisku otoczenia. Przy suszeniu powietrzem, w którym to wypadku powietrze ma podwójne zadanie (dostarczenie ciepła i usunięcie ulatniającej się pary), należy zapewnić przemieszczanie się mas powietrza. Podczas suszenia ciepło jest zabierane z ziarna. Przez dostarczanie i zabieranie ciepła ustali się pewna równowaga, która będzie się charakteryzować między innymi określoną temperaturą ziarna. Temperatura poszczególnego ziarenka w danym momencie zależy od:

- a) szybkości dostarczania w danym momencie ciepła do tego ziarna,
- b) szybkości wydzielania wilgotności, inaczej mówiąc szybkości suszenia w danym momencie.

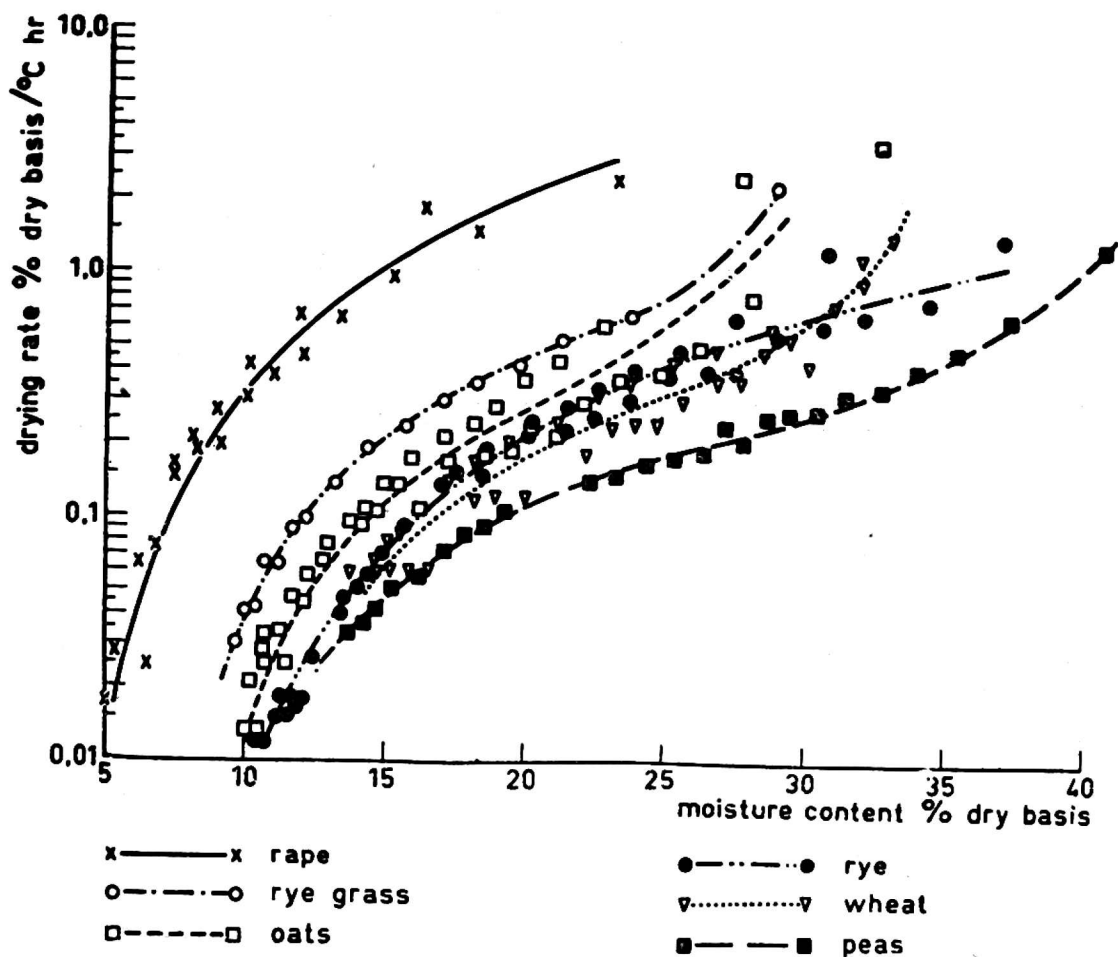
Dostarczanie ciepła może się odbywać zasadniczo trzema odmiennymi sposobami:

1. przez bezpośredni kontakt (z gorącą powierzchnią)
2. przez konwekcję (gorące gazy)
3. przez promieniowanie.

Szybkość, z jaką wilgoć (tj. woda) jest wydalana, czyli szybkość suszenia, zależy między innymi od zawartości wody w ziarnie. W Laboratorium Badań Suszenia Instytutu Magazynowania i Technologii Produktów Rolnych Wageningen zostały przeprowadzone liczne próby suszenia dla określenia szybkości suszenia różnych rodzajów nasion. Tego rodzaju próby powinny być przeprowadzane na cienkiej warstwie — najlepiej przy pojedynczej warstwie ziarn.

Rys. 1 pokazuje istniejącą zależność między szybkością suszenia i zawartością wilgotności w owsie, pszenicy i życie w porównaniu z rzepakiem, rajgrasem i pewnym gatunkiem grochu. Chociaż zdajemy sobie sprawę z tego, iż szybkość suszenia nie jest ściśle proporcjonalna do spadku temperatury powietrza na termometrze zwilgoconym, szybkość suszenia wyrażamy za pomocą procentowego spadku zawartości wody (w stosunku do suchej masy) przy obniżeniu się temperatury na termometrze zwilgoconym o 1°C w ciągu godziny.

W zakresie umiarkowanych spadków temperatury na termometrze zwilgoconym, jakie miały zastosowanie w tych próbach, ten sposób określania wydaje się być dopuszczalny i zezwala na pewne porównanie dla różnych rodzajów nasion.



Rys. 1. Szybkość suszenia niektórych rodzajów nasion
Drying rate of some seed species

Tabela 1

Porównanie stopnia łatwości usuwania wilgotności
(pszenica, żyto i owies)

Zawartość wody w stosunku do suchej masy	Pszენica	Żyto	Owies
15	± 40	± 40	± 60
20	100	± 120	± 150
25	± 180	± 240	± 350

W tabeli 1 zestawiono porównanie stopnia łatwości usuwania wilgotności w podobnych warunkach. Dla tego porównania, wartości dla pszenicy (przy 20% wody w stos. do suchej masy) określono jako 100.

Zakładając dostarczanie ciepła jako wartość stałą, temperatura ziarna będzie niższa przy większej zawartości wody i będzie wzrastać stosownie do spadku zawartości wody.

Metoda, wspomniana w punkcie B, może być realizowana przez stworzenie próżni; tak jak to znalazło zastosowanie w suszarniach próżniowych. Ponieważ suszenie wymaga dostarczania ciepła ziarno musi być

podgrzane. W tym przypadku konwekcja nie jest możliwa; najczęściej znajduje zastosowanie doprowadzanie ciepła przez kontakt (z ogrzaną powierzchnią).

Inna możliwość zastosowania metody wspomnianej w punkcie B, polega na uprzednim przesuszeniu powietrza, użytego do suszenia. Suszenie powietrza może być dokonane za pomocą substancji higroskopijnych lub przez chłodzenie powietrza do temperatury poniżej punktu rosy i ponownego ogrzania go do temperatury początkowej.

Suszenie według metody wspomnianej w punkcie B ma zastosowanie przy materiałach specjalnie wrażliwych na podgrzewanie, do których w pewnym stopniu należą nasiona.

METODY SUSZENIA ZIARNA STOSOWANE W PRAKTYCE

Poza suszeniem ziarna w suszarniach próżniowych i w suszarniach z zastosowaniem uprzednio wysuszonego powietrza, w większości przypadków suszenie ziarna dokonywane jest w suszarniach przy użyciu podgrzane- go w większym lub mniejszym stopniu powietrza, które wprowadzane jest w bezpośredni kontakt z ziarnem. Rozróżnia się suszarnie o działaniu ciągłym oraz komorowe. Te ostatnie są dogodnie dla małych firm, suszących niewielkie ilości różnych gatunków oraz dla gospodarstw rolnych. Suszarnie powietrzne o działaniu ciągłym można podzielić na dwie oddzielne grupy:

- a) Suszarnie skonstruowane w taki sposób, gdzie zasadniczym dążeniem było poddanie każdego pojedynczego ziarna ściśle jednakowemu działaniu (systemy o przepływie przeciwbieżnym lub równoległym).
- b) Suszarnie skonstruowane w sposób bardziej uproszczony. W tych suszarniach ziarno suszone jest w warstwie (systemy przedmuchu poprzecz warstwę) i w wyniku tego istnieje różnica w działaniu na różne części warstwy.

Rys. 2 pokazuje zasady różnych systemów.

Suszarnie bębnowe wykazują najważniejsze cechy konstrukcji dla suszarni wspomnianych w punkcie a). Obracający się bęben, system dławików i podrzucających skrzydełek, można uważać za urządzenie do suszenia ziarna w warstwie z „mokrą stroną“ i „suchą stroną“. Świeży materiał jest stale dodawany od „mokrej strony“, a wysuszony materiał jest stale odbierany od „suchej strony“.

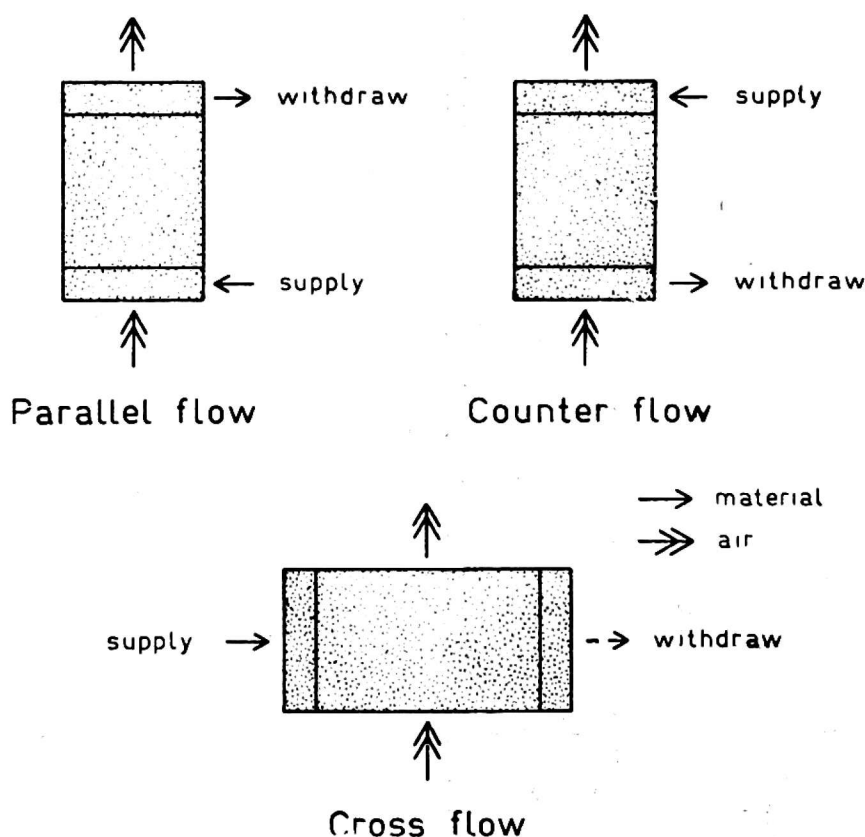
Materiał jest przenoszony w kierunku powietrza (przy przepływie zarówno równoległym jak przeciwbieżnym).

Przy idealnych warunkach wykonania każde ziarno poddane jest dokładnie takiemu samemu działaniu.

Z tych więc względów istnieje tu możliwość zastosowania wyższych temperatur powietrza niż to jest możliwe w suszarniach bardziej uproszczonych, wspomnianych w punkcie b).

Ze względu na możliwość stosowania wyższych temperatur należy zwrócić uwagę na chłodzenie ziarna po jego wysuszeniu w suszarni obrotowej. Podczas procesu chłodzenia (np. w drugim obracającym się bębnie lub przy zastosowaniu innego systemu) istnieje możliwość wyparowania znacznej ilości wody (w pewnych przypadkach do 30%).

Obrotowe suszarnie bębnowe są dogodnie dla użytku przemysłowego, suszące materiały o bardziej ustalonej zawartości wilgoci. Dla wykorzystania ich do suszenia ziarna są one dogodne dla dużych firm. Dla mniejszych firm, suszących różne ilości o różnej zawartości wilgoci, stosowanie ich nastroczałoby pewne trudności.

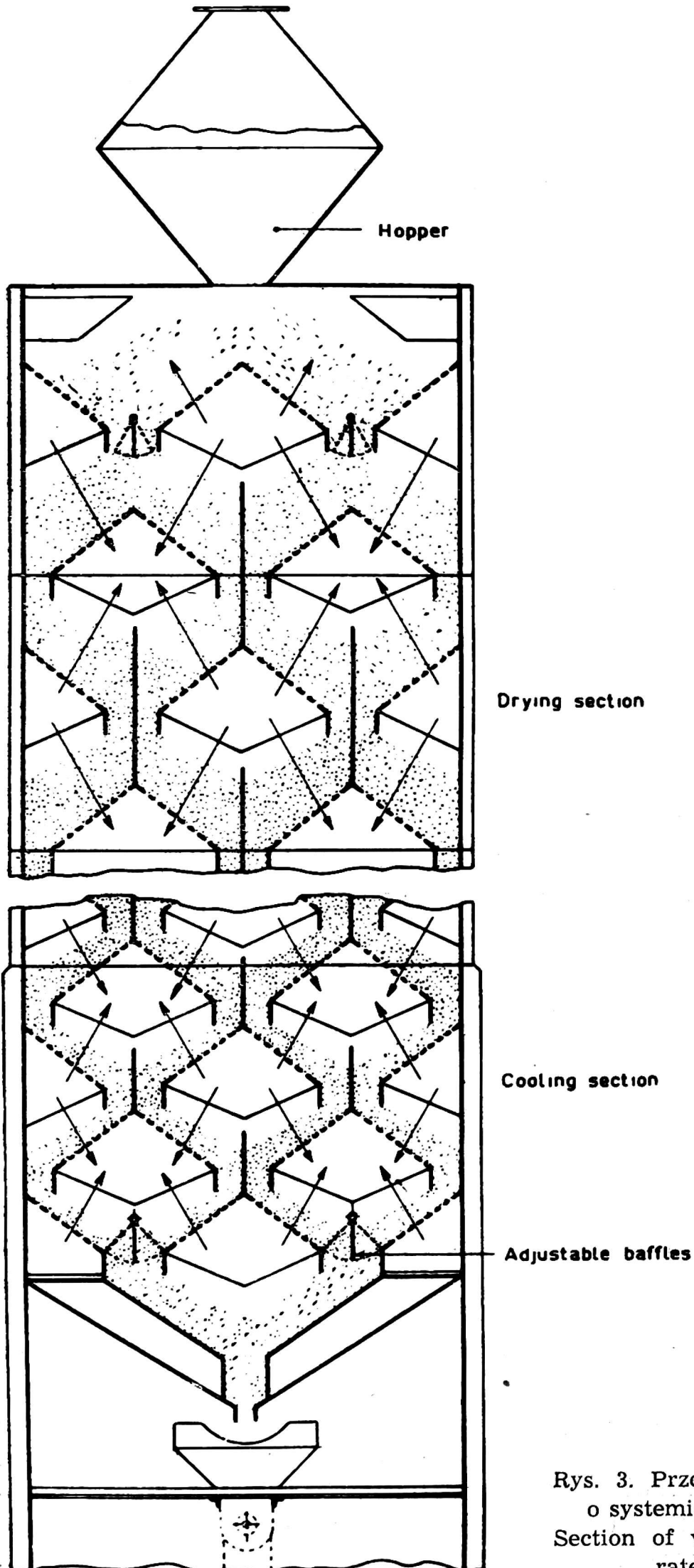


Rys. 2. Zasady suszenia ciągłego podgrzanym powietrzem

Principles of continuous drying by preheated air

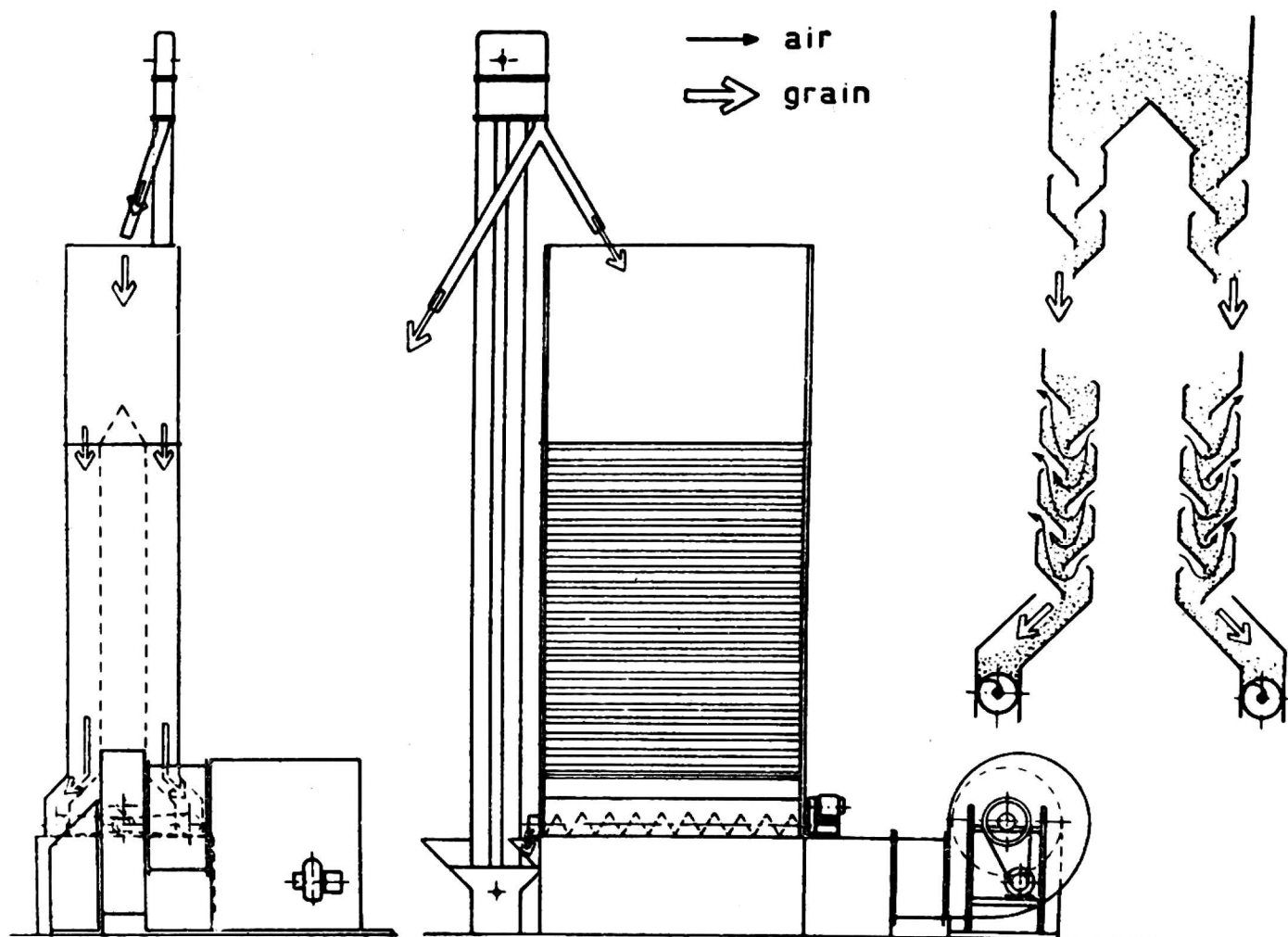
Wyżej wspomnianych suszarni z obracalnymi bębnami nie należy mylić z suszarniami typu „Roto-Louvre“, w których materiał jest suszony w warstwie, która jest stale mieszana. Inne systemy konstrukcyjne, należące do grupy wspomnianej w punkcie a), to suszarnie suszące materiał w stanie fluidyzowanym. Pojedyncze ziarna są jednak zbyt grube, aby można było łatwo zapewnić stan fluidyzacji (stan materiału sypkiego, w którym nabiera on cech płynu — przyp. tłum.). Suszenie według tego systemu jest jeszcze w stanie eksperymentalnym:

Innym systemem również jeszcze w stanie eksperymentalnym jest suszenie w grubej raczej warstwie, według rys. 2 (przeciwbieżne). Trudność polega na ciągłym usuwaniu wysuszonego ziarna z podłoża warstwy. Większość suszarni stosowanych w praktyce należy do grupy wspomnianej w punkcie b) (np. suszarnie pionowe i taśmowe). Stosunkowo prostą kon-

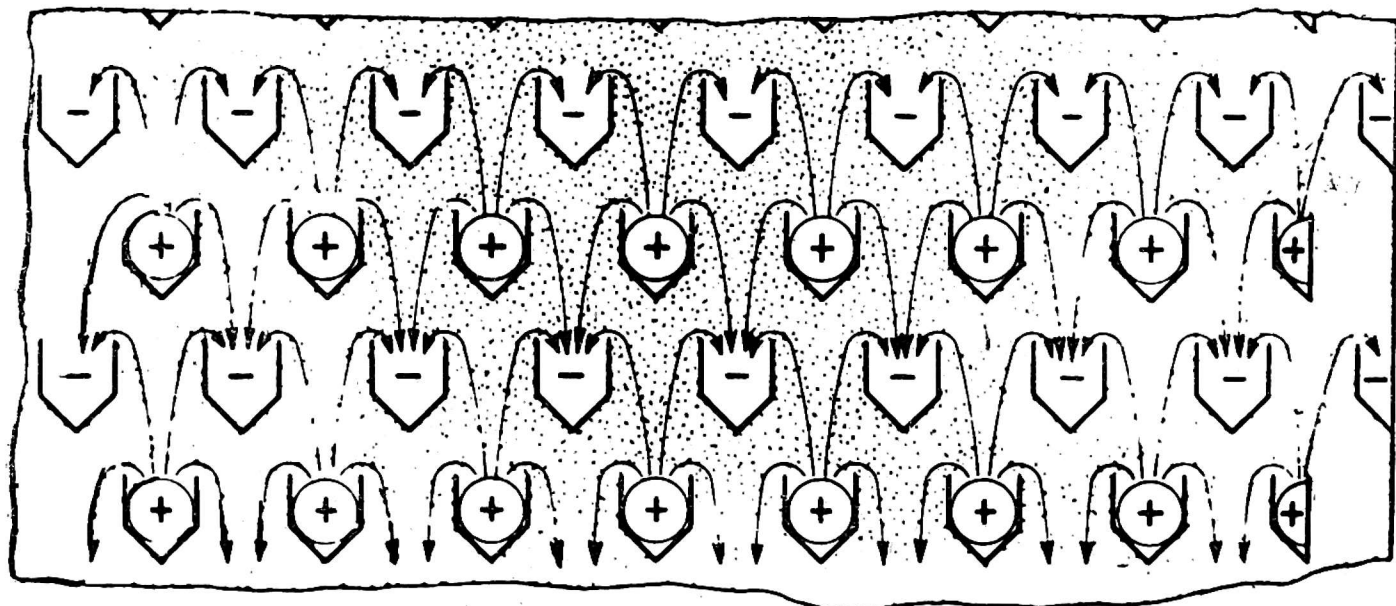


Rys. 3. Przekrój suszarni pionowej
o systemie płyt dziurkowanych
Section of vertical dryer — per-
forated plate system

strukcję mogą mieć zwłaszcza suszarnie pionowe. Ziarno jest przesuwane siłą grawitacyjną, a powietrze suszące i powietrze chłodzące przechodzi prostopadle przez poszczególne warstwy ziarna, które są uformowane przy pomocy systemu płyt dziurkowanych (rys. 3) lub systemu dławików (rys. 4) lub też systemu specjalnie ukształtowanych przewodów powietrznych (rys. 5).

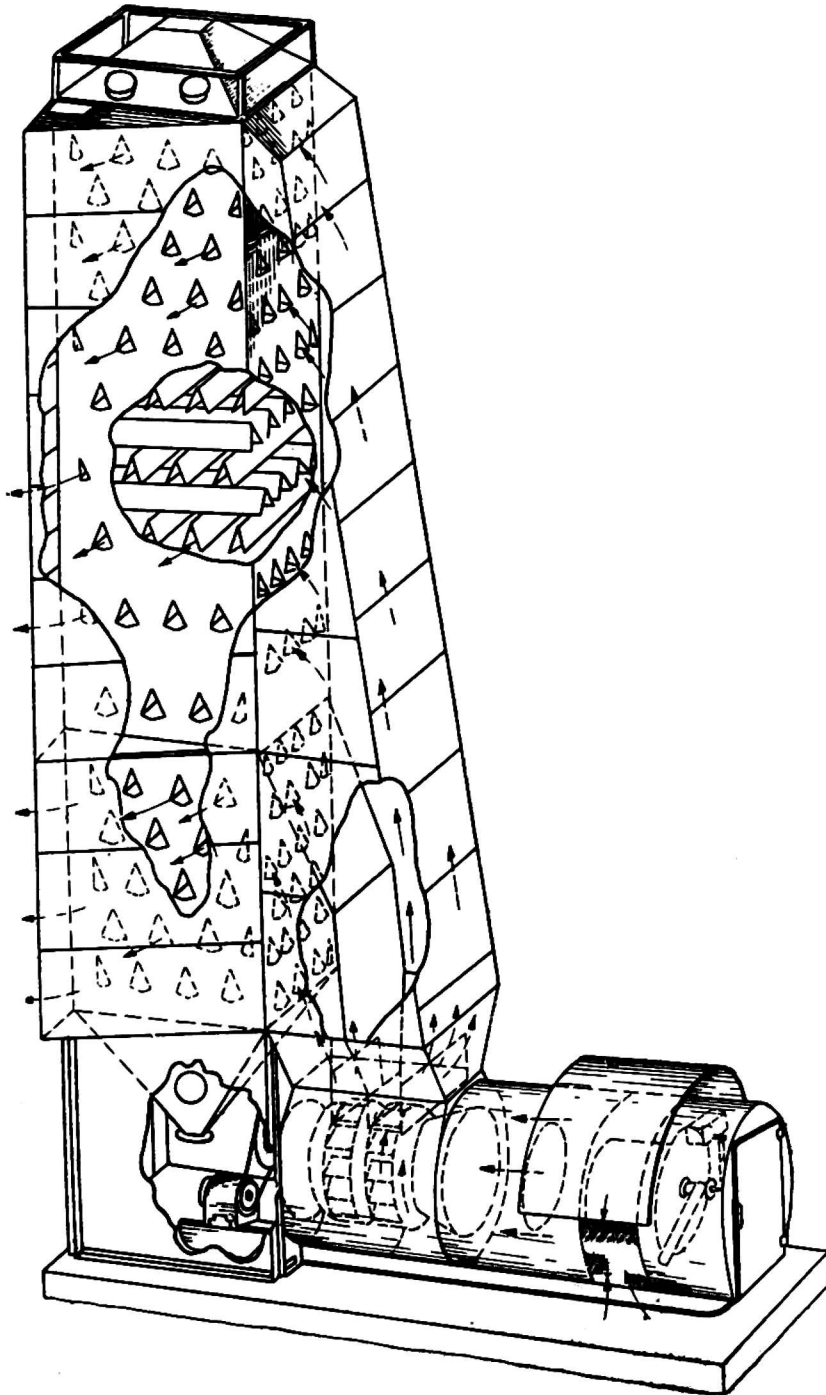


Rys. 4. Przekrój suszarni pionowej o systemie dławików
Section of vertical dryer — throttle system



Rys. 5. System specjalnie ukształtowanych przewodów powietrznych
System of specially shaped air ducts

Niektóre konstrukcje posiadają elementy grzejne dla dostarczenia pewnej części niezbędnego ciepła przez kontakt bezpośredni; jednak w znacznej większości suszarni stosowane jest ogrzane powietrze (ogrzewane pośrednio lub bezpośrednio).

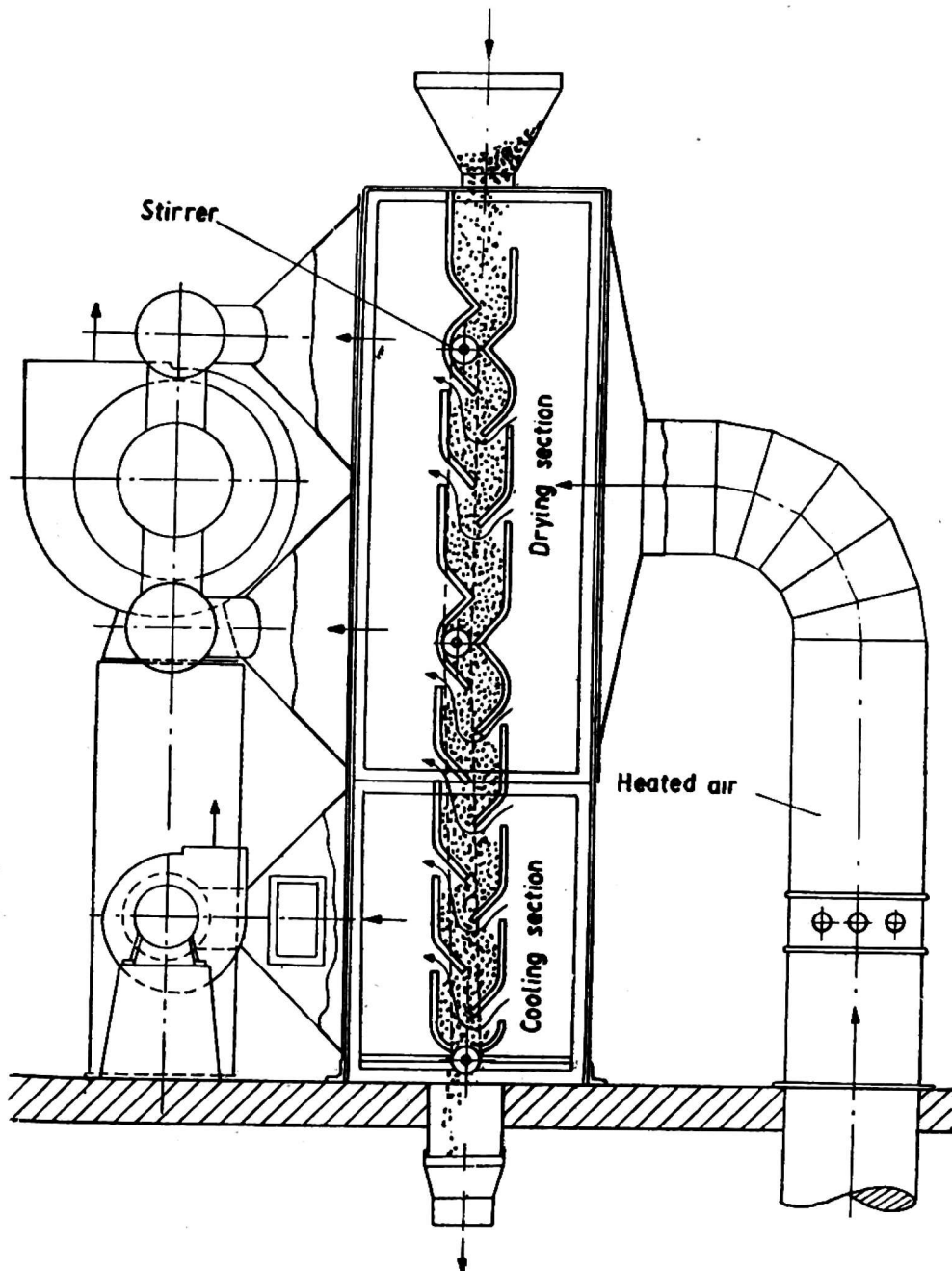


Rys. 6. Zespół kanałów powietrznych (w celu mieszania ziarna)
Set of air ducts (for mixing grain)

W niektórych typach tej grupy suszarni zastosowano urządzenia dla mieszania ziarna w warstwach lub jego przemieszczanie, np. przez umieszczenie dławików lub zespołów kanałów powietrznych skierowanych pod kątem 90° (rys. 6), lub nawet wprowadzono obrotowe urządzenia mieszające (rys. 7).

Niezależnie od tych środków specjalnych, które mogą dać pewien efekt (przeważnie niezadowalający), trzeba stwierdzić — że w większości su-

szarni stosowanych obecnie w praktyce, ziarno suszone jest w warstwach grubości około 15 cm przepływających warstwowo, bez mieszania ziarna; poprzez tę warstwę przechodzi powietrze, mniej więcej jednokierunkowo, z szybkością $\pm 0,2$ m/sek. To samo dotyczy suszarni komorowych. W tych ostatnich jednak grubość warstw jest większa, czas suszenia dłuższy, a temperatura powietrza niższa.



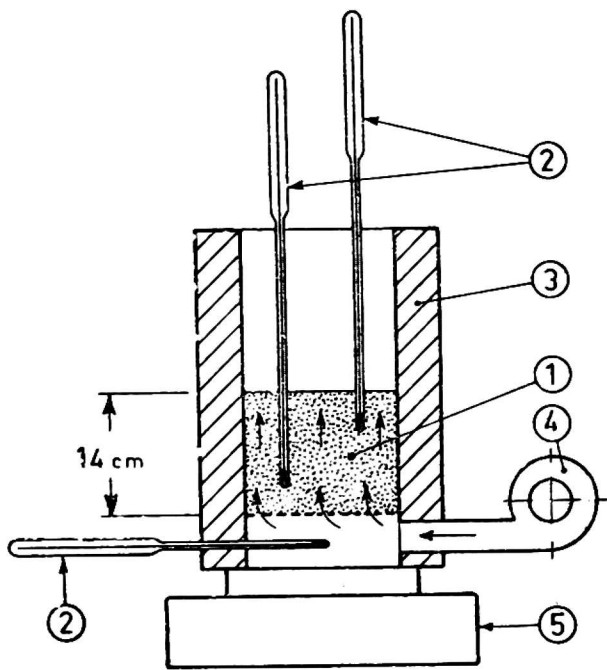
Rys. 7. Obrótowe urządzenia mieszające
Mixing rotary devices

W suszarniach o pracy ciągłej zagadnienie dopuszczalnej temperatury powietrza lub ziarna jest bardzo ważne. W literaturze nie można znaleźć dokładnych danych wyczerpujących zagadnienie wyżej wspomnianych systemów suszenia, ponieważ dane zawarte w literaturze dotyczą badań albo suszenia w bardzo cienkich warstwach, albo suszenia przy stałym mieszaniu ziarna (1, 2, 3, 4).

NIEKTÓRE WYNIKI BADAŃ DOTYCZĄCYCH PRZEBIEGU TEMPERATUR ZIARNA W WARSTWIE I WPLYWU TEMPERATURY POWIETRZA NA JAKOŚĆ SUSZONEGO ZIARNA

Gdy ziarno jest suszone w warstwie powietrzem podgrzanym, przechodzącym przez tę warstwę w jednym kierunku, to różne jej części będą suszone powietrzem o różnej temperaturze i różnej zdolności suszenia.

Dokonano badań ze specjalnie przygotowaną pszenicą i jęczmieniem, suszonymi w warstwie o grubości 14 cm, przedmuchiwaną powietrzem o różnych temperaturach, przechodzącą przez tę warstwę w jednym kierunku z prędkością 0,18—0,2 m/sek (warunki są tu mniej więcej zbliżone do warunków spotykanych w większości suszarni o działaniu ciągłym, używanych w praktyce). Do badań tych użyto małej suszarni doświadczalnej, której zasady działania przedstawione są na rysunku 8.



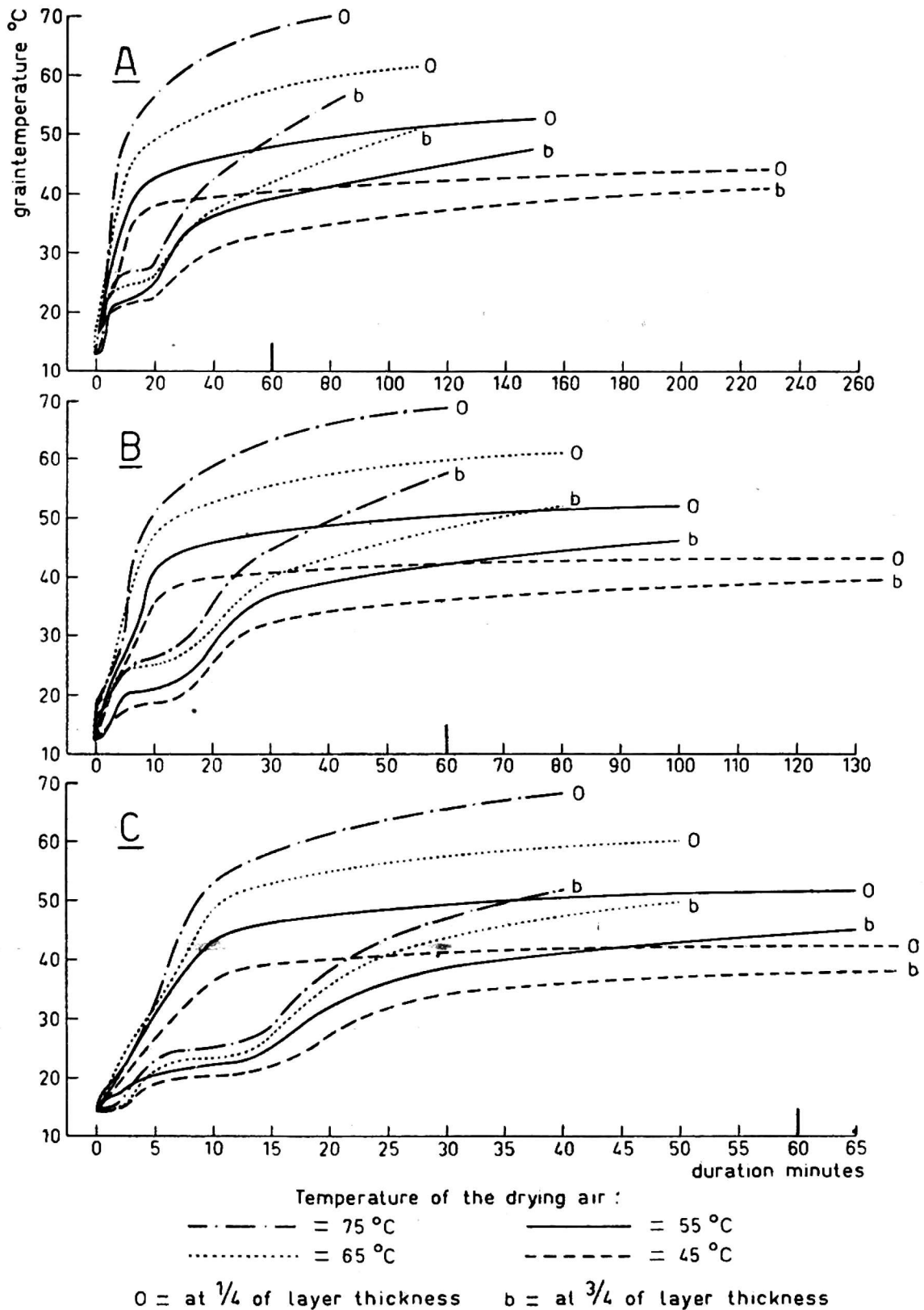
Rys. 8. Schemat działania suszarni doświadczalnej
Operation scheme of the experimental dryer

W warstwie ziarna (1) o grubości 14 cm, leżącej na powierzchni 2 decymetrów kwadratowych umieszczono dwa termometry (2). Ścianki suszarni były izolowane (3). Podgrzane powietrze wdmuchiwane było przez wentylator (4). Temperatura i prędkość przepływu powietrza mogły być utrzymywane niezmiennie na określonym poziomie. Całe to urządzenie doświadczalne umieszczono na wadze (5).

Użycie tego urządzenia umożliwiło poznanie zależności pomiędzy ciężarem badanej próbki (tj. średnią jej wilgotnością) w stosunku do czasu suszenia, oraz notowanie temperatur na trzech termometrach, podczas całego okresu doświadczeń. Aby upewnić się, że wskazania termometrów (umieszczonych na $1/4$ i $3/4$ głębokości badanej warstwy) podają istotne temperatury ziarna w danych jego rejonach, wykonaliśmy specjalne badania dodatkowe. Co pewien czas przerywano przedmuchiwanie ziarna podgrzanym powietrzem, natomiast wskazania termometrów były nadal zapisywane przez następne 10 minut. Niektóre wyniki z tych specjalnych badań dodatkowych zawarte są w tablicy 2.

Te (i inne) wyniki badań wskazują, że różnice wskazań termometrów po przerwaniu przepływu powietrza są bardzo małe. Zatem można przyjąć, że wskazania temperatury ziarna uzyskiwane w ciągu badań tj. podczas trwającego przepływu powietrza określają temperatury ziarna z do-

stateczną dokładnością. Przykład przebiegu temperatury ziarna podczas trwającego suszenia tj. przedmuchu powietrza przedstawiony jest (dla jęczmienia) na rys. 9.

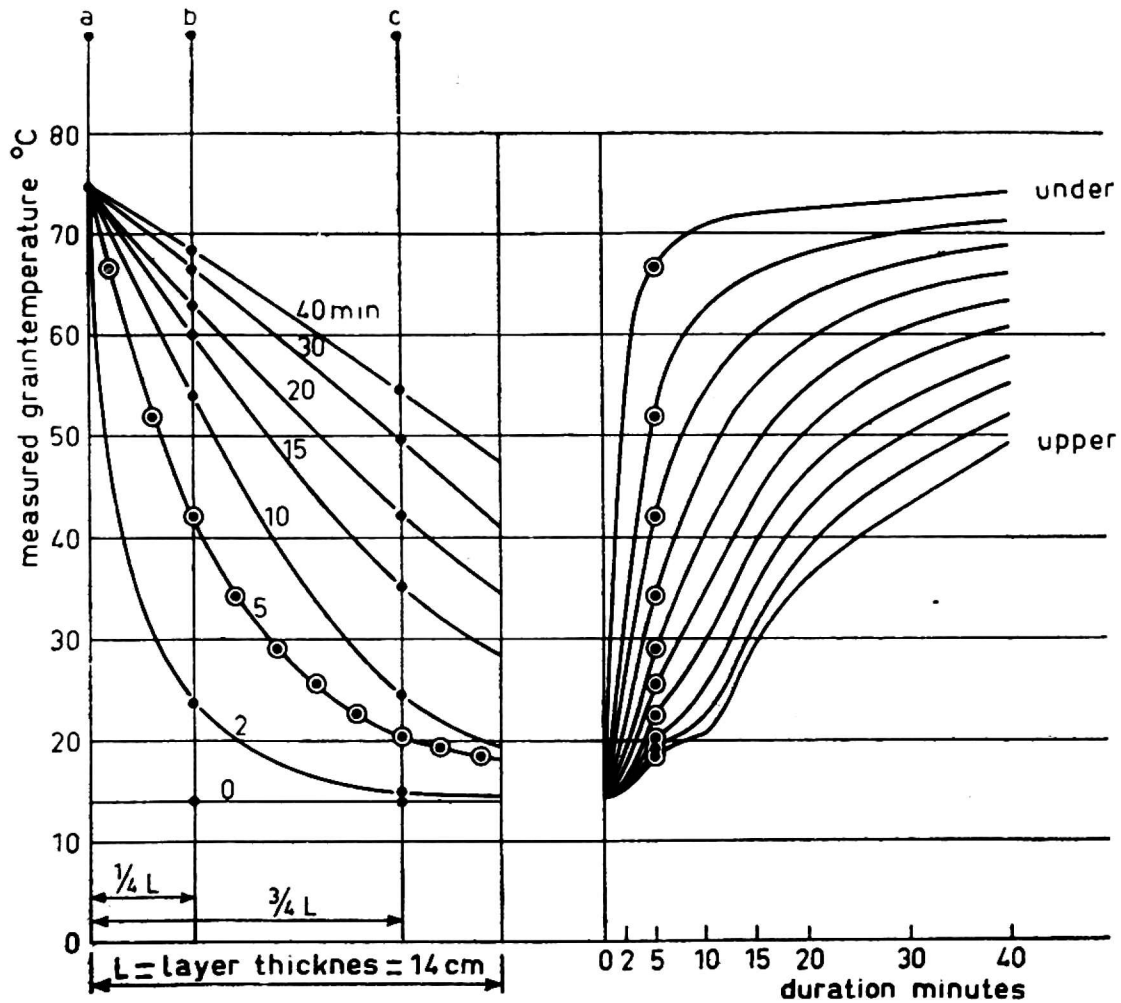


Rys. 9. Przebieg temperatur ziarna jęczmienia na dwu poziomach suszonej warstwy

A — początkowa zawartość wody $\pm 28\%$ A — Initial moisture content $\pm 28\%$
 B — początkowa zawartość wody $\pm 24\%$ B — Initial moisture content $\pm 24\%$
 C — początkowa zawartość wody $\pm 20\%$ C — Initial moisture content $\pm 20\%$

Progress of temperatures of barley grain in two levels of the dried layer

Rys. 10 wyjaśnia graficznie układ wskazań temperatury po różnych okresach suszenia oraz metodę wykreślenia krzywych zależności temperatury i czasu dla 10 równych części badanej warstwy ziarna.



Rys. 10. Układ wskazań temperatury po różnych okresach suszenia
System of temperature indications following various drying periods

Najważniejsze wyniki uzyskane w tych badaniach są następujące:

Tabela 2

Niektóre wyniki dodatkowych badań temperatury ziarna na różnych poziomach suszonej warstwy (pszenicy) dla stwierdzenia zmian tych temperatur po przerwaniu przepływu powietrza

Zawartość wilgoci		+20%				+24%			
		0,2 m/sek		0,5 m/sek		0,2 m/sek		0,5 m/sek	
Prędkość przepływu powietrza		A		B		A		B	
Obserwowane miejsce warstwy		A		B		A		B	
Temperatura w chwili przerwania przepływu powietrza		59,7	38,0	57,0	37,0	54,9	35,2	52,0	38,0
Temperatury	po 1 minucie	58,9	37,4	56,4	37,1	54,1	34,5	51,6	37,8
mierzone	po 2 minutach	58,3	37,0	56,0	37,0	53,8	34,0	51,3	37,5
w ciągu	po 3 minutach	58,0	36,8	55,8	37,0	53,5	33,7	51,2	37,4
10 minut	po 4 minutach	57,8	36,6	55,6	37,0	53,3	33,3	51,2	37,2
od przerwania	po 5 minutach	57,6	36,4	55,4	37,0	53,2	33,2	51,2	37,2
przepływu	po 6 minutach	57,5	36,3	55,3	37,0	53,2	33,1	51,2	37,2
powietrza	po 7 minutach	57,4	36,2	55,3	37,0	53,2	33,1	51,2	37,2
	po 8 minutach	57,3	36,2	55,3	37,1	53,3	33,2	51,2	37,3
	po 9 minutach	57,2	36,2	55,3	37,1	53,4	33,2	51,3	37,4
	po 10 minutach	57,2	36,2	55,3	37,2	53,4	33,2	51,3	37,6

Temperatura powietrza 75° C

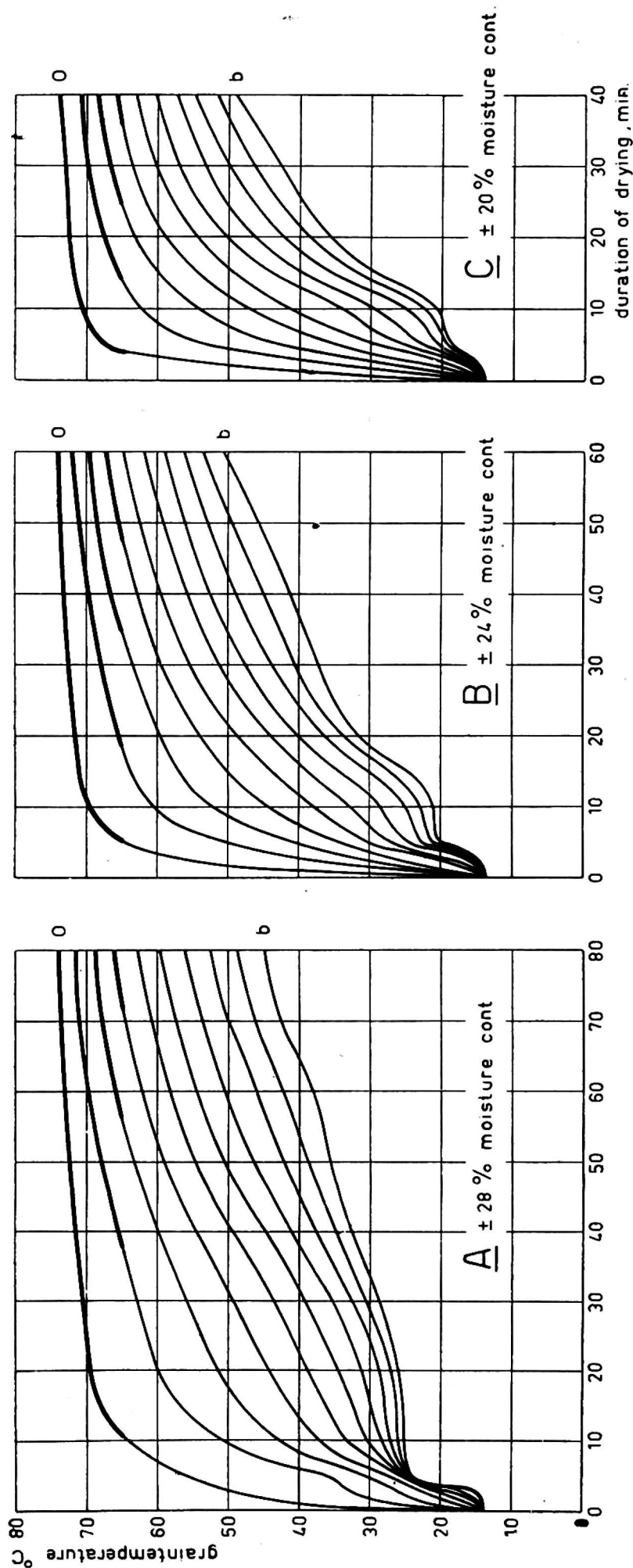
Przepływ powietrza przerwano po 25 minutach suszenia

Grubość warstwy 14 cm

A środkowa część dolnej połowy warstwy

Pszenica

B środkowa część górnej połowy warstwy



Rys. 11. Przebieg temperatur ziarna w 10 różnych częściach warstwy pszenicy podczas suszenia
Progress of grain temperatures in ten equal parts of wheat grain layer during drying

Temperatura powietrza — 75° C

Grubość warstwy — 14 cm

Prędkość przepływu powietrza — 0,2 m/sek

Kierunek przepływu powietrza — z jednej strony

Różne stopnie wilgotności

o = 1/10 część warstwy po stronie wlotu powietrza

b = 1/10 część warstwy po drugiej stronie

Air temperature — 75° C

Layer thickness — 14 cm

Air flow velocity — 0,2 m/sec

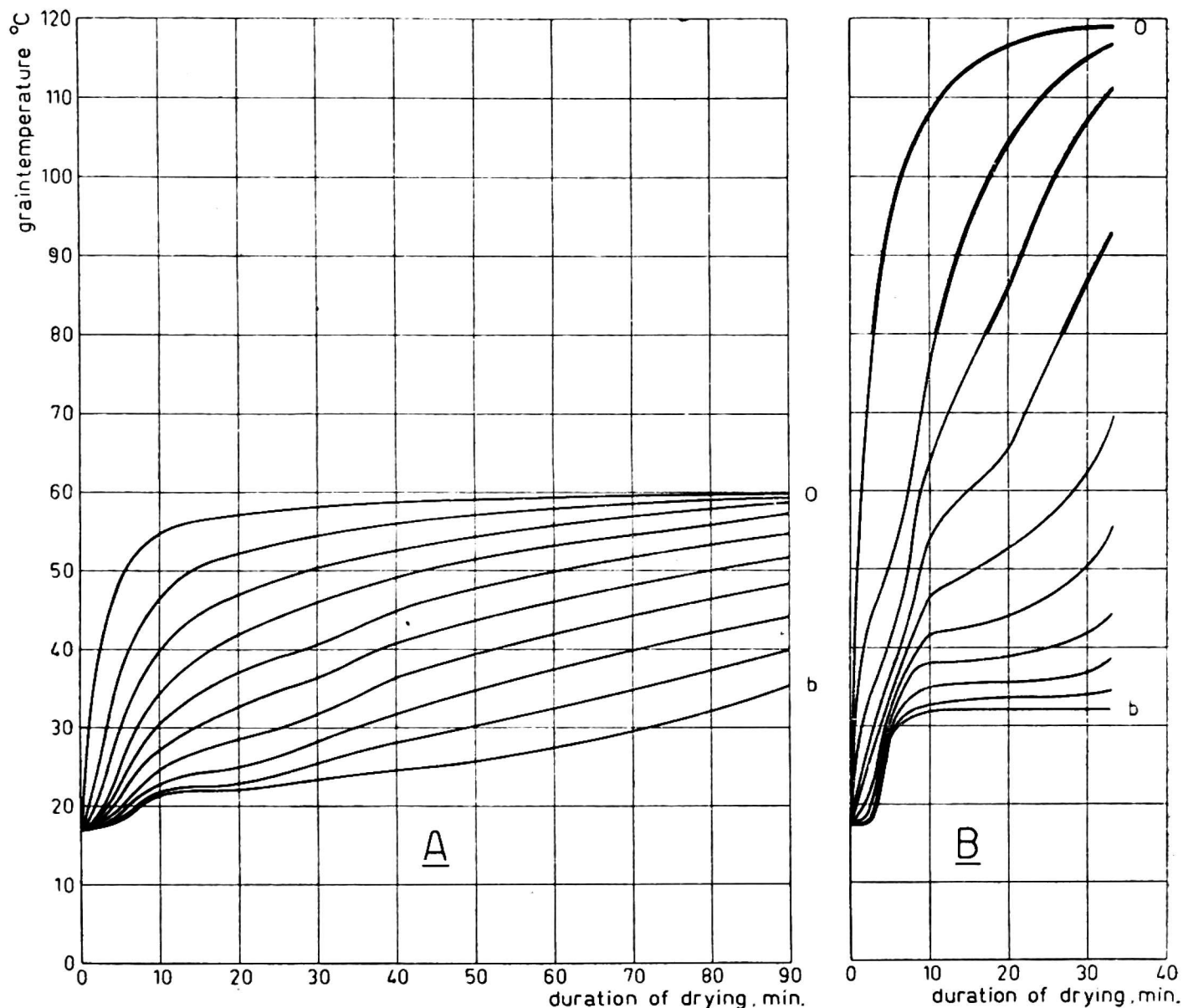
Air flow direction — from one side

o = 1/10 part of the layer nearest to air inlet

b = 1/10 part of the layer on the opposite side.

Przebieg temperatur ziarna

Podczas suszenia występuje duża różnorodność temperatur ziarna w całej warstwie. Przy suszeniu próbek o różnej wilgotności, ale używając powietrza o jednakowej temperaturze stwierdzono, iż stopień wilgotności próbek



Rys. 12. Przebieg temperatur ziarna w 10 różnych częściach warstwy pszenicy
Progress of temperatures of ten equal parts of wheat grain layer

Początkowa zawartość wody — 24%
Grubość warstwy — 14 cm
Prędkość przepływu powietrza — 0,18 m/sec
Kierunek przepływu powietrza — z jednej strony

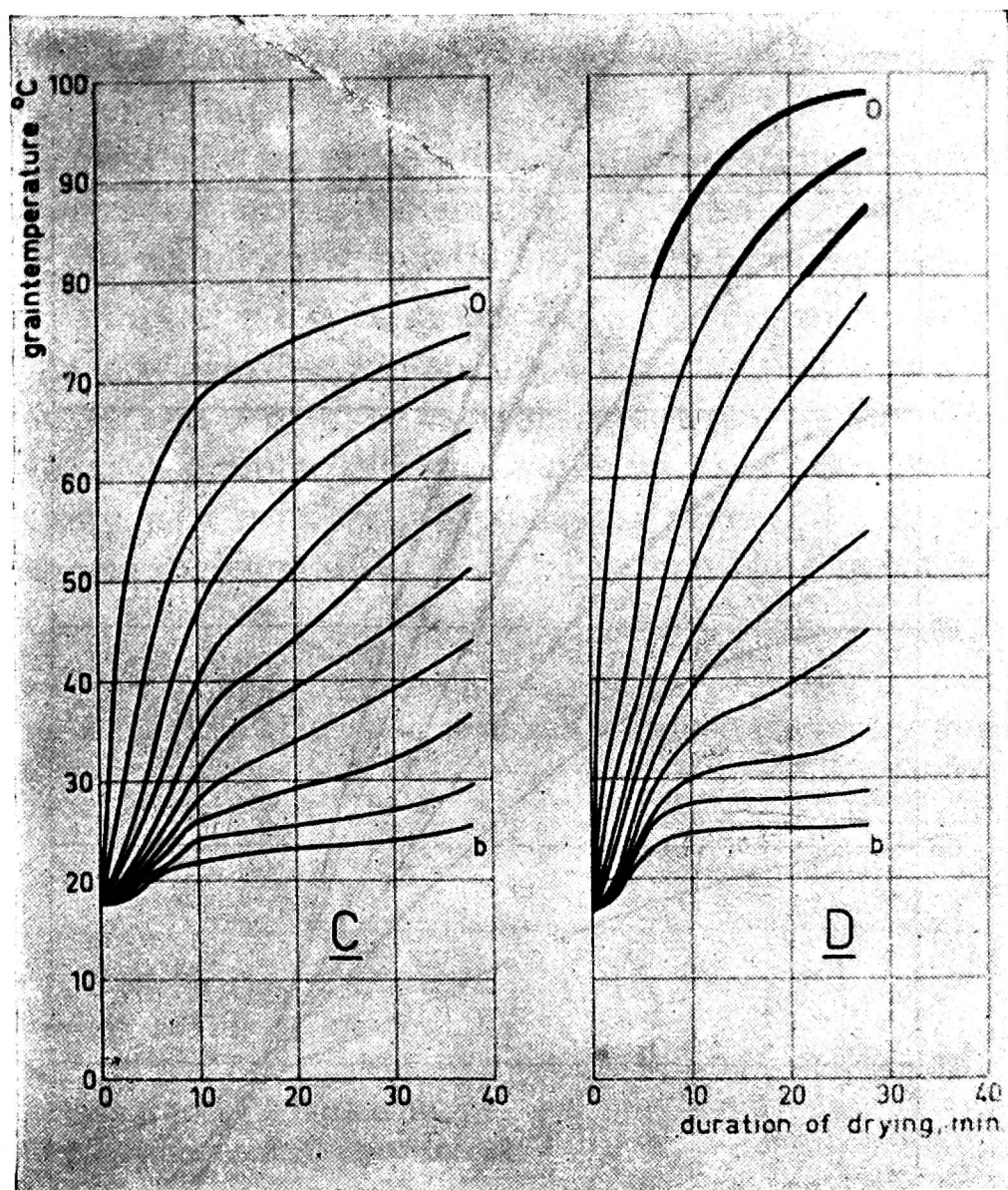
A — temperatura powietrza 60° C
B — temperatura powietrza 120° C
o = $\frac{1}{10}$ część warstwy od strony wlotu powietrza
b = $\frac{1}{10}$ część warstwy po drugiej stronie

Initial moisture content — 24%
Layer thickness — 14 cm
Air flow velocity — 0,18 m/sec
Air flow direction — from one side

A — Air temperature 60° C
B — Air temperature 120° C
o = $\frac{1}{10}$ part of the layer nearest to air inlet
b = $\frac{1}{10}$ part of the layer on the opposite side

wpływa na długość ogrzewania (tj. przedmuchiwania podgrzany powietrzem), lecz nie ma prawie żadnego wpływu lub jedynie bardzo nieznaczny — na przemieszczanie się wartości temperatur ziarna w poszczególnych poziomach jego warstwy. Rys. 11 ilustruje to zjawisko. Suszenie

próbek o jednakowej wilgotności powietrzem o różnych temperaturach charakteryzuje się tym, że przy wyższych temperaturach powietrza używanego do suszenia przemieszczanie się wartości temperatur pomiędzy poszczególnymi poziomami suszonej warstwy występuje w większym stopniu. Jest to przedstawione na rys. 12 i 13.



Rys. 13. Przebieg temperatur ziarna w 10 równych częściach warstwy pszenicy
Progress of temperatures of ten equal parts of wheat grain layer

Początkowa zawartość wody — 20%
Grubość warstwy — 14 cm
Prędkość przepływu powietrza — 0,18 m/sek
Kierunek przepływu powietrza — z jednej strony

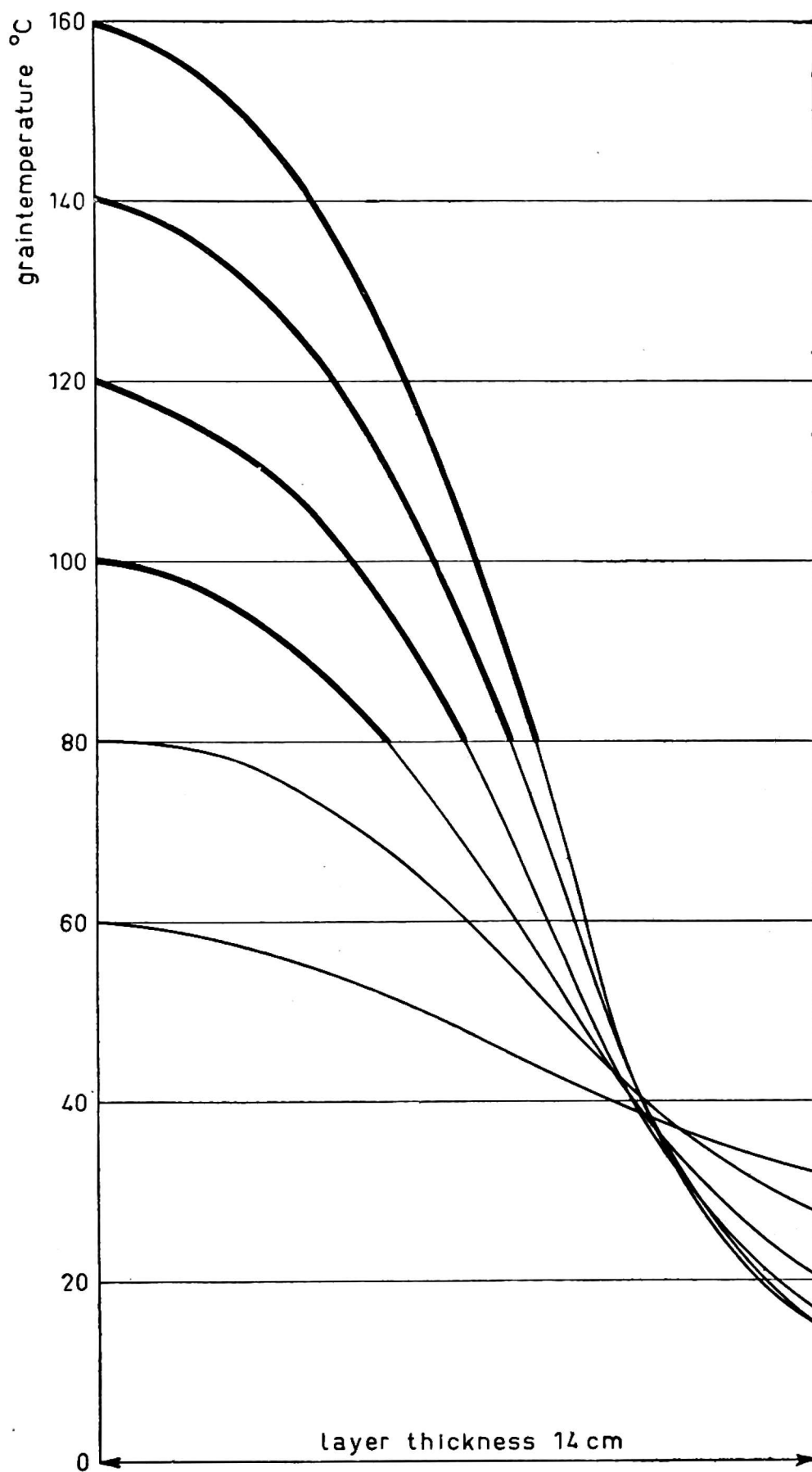
C — temperatura powietrza 80° C
D — temperatura powietrza 100° C
o = 1/10 część warstwy od strony wlotu powietrza
b = 1/10 część warstwy po drugiej stronie

Initial moisture content — 24%
Layer thickness — 14 cm
Air flow velocity — 0,18 m/sec
Air flow direction — from one side

C — Air temperature 80° C
D — Air temperature 100° C
o = 1/10 part of the layer nearest to air inlet
b = 1/10 part of the layer on the opposite side

Rys. 14 pokazuje gradient (stopień spadku) wilgotności w warstwie po suszeniu do momentu, w którym średnia zawartość wilgotności osiągnęła $\pm 18\%$.

Gradient ten jest tym bardziej stromy im wyższa jest temperatura powietrza.



Rys. 14. Gradient (stopień spadku) temperatury ziarna w warstwie pszenicy w momencie gdy średnia zawartość wody osiągnęła 18%

Gradient (drop ratio) of grain temperature in a layer of wheat grain at the moment of reaching 18% mean water content

Początkowa zawartość wody — 24%

Grubość warstwy — 14 cm

Prędkość przepływu powietrza — 0,18 m/sec

Kierunek przepływu powietrza — z jednej strony

Różne temperatury powietrza

Initial moisture content — 24%

Layer thickness — 14 cm

Air flow velocity — 0,18 m/sec

Air flow direction — from one side

Various air temperatures

Nie ma żadnego sensu mówienie o „temperaturze ziarna“ lub o przebiegu „temperatury ziarna“, gdy ziarno jest suszone np. w suszarniach pionowych. O ile ma być zmierzona średnia temperatura ziarna np. w próbce, to otrzyma się wartość temperatury dla danej próbki, która jednak nie da żadnej informacji o istniejących rozbieżnościach w jej otoczeniu. W warstwie ziarna występują zawsze temperatury, które są bardzo zbliżone do temperatury powietrza, nawet wówczas gdy kierunek przepływu powietrza jest okresowo zmieniany.

Zatem stosowana w praktyce kontrola temperatury ziarna przez umieszczenie w warstwie czułego elementu urządzenia wskazującego temperaturę, staje się wątpliwa w świetle wyżej wspomnianych faktów.

Temperatura powietrza i jakość suszonego ziarna

Wyniki badań w zakresie zdolności kiełkowania pszenicy i jęczmienia po suszeniu powietrzem o różnych temperaturach (45° — 55° — 65° — 75° C) wykazały, że spadek zdolności kiełkowania większy niż o 10% zaczyna występować wtedy, gdy temperatura powietrza wynosi 75° C. Spadek występuje w części warstwy znajdującej się od strony wlotu powietrza (tabela 3).

Tabela 3

Wpływ temperatury suszącego powietrza
na zdolność kiełkowania jęczmienia Balder i pszenicy Peko

	Temperatura suszącego powietrza °C								
	55			65			75		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Suszenie jęczmienia Balder									
Pierwotna wartość zdolności kiełkowania w procentach	93	94	95	92	94	95	93	94	93
Zdolność kiełkowania po wysuszeniu połowy warstwy od strony wlotu powietrza w procentach	94	94	95	86	93	92	64	88	90
Zdolność kiełkowania po wysuszeniu połowy warstwy od drugiej strony w procentach	95	93	94	93	95	93	92	94	93
Suszenie pszenicy Peko									
Pierwotna wartość zdolności kiełkowania w procentach	91	90	94	92	95	94	92	91	95
Zdolność kiełkowania po wysuszeniu połowy warstwy od strony wlotu powietrza w procentach	91	93	94	92	91	92	62	77	82
Zdolność kiełkowania po wysuszeniu połowy warstwy od drugiej strony w procentach	91	93	92	93	94	92	92	94	93

Grubość warstwy 14 cm

Szybkość powietrza 0,2 m/sek

Kierunek przepływu powietrza

— z jednej strony

A — suszenie 28—15%

B — suszenie 24—15%

C — suszenie 20—15%

Gdy temperatura wynosiła 65° C lub niżej, nie występował jeszcze godny uwagi spadek zdolności kiełkowania. Jeśli dokładnie określona krytyczna temperatura ziarna jest nieco niższa niż 65° C, a różnica ta jest niewątpliwie nikła i procentowa ilość ziarna ogrzanego do temperatury krytycznej (i wyższej) jest niewątpliwie tak skromna, to nie można było stwierdzić żadnych strat z tego powodu.

Jednak gdy temperatura powietrza wynosiła 75° C, straty mogły wystąpić.

Części krzywych wykresu na rysunku 11 oznaczone grubą linią określają po prostu miejsce, czas i temperaturę, gdzie i kiedy krytyczna wartość na pewno została przekroczona — bez wskazania jednak dokładnej wartości takiej krytycznej temperatury, odnośnie zdolności kiełkowania.

Badania nie dały w wyniku dokładnego określenia temperatury krytycznej dla ziarna. Wykazały one jednak, że użyteczność takiej krytycznej wartości ma znaczenie wątpliwe, ponieważ istnieją w tym samym czasie bardzo różne temperatury ziarna. W praktyce przy suszeniu w suszarniach, jak to poprzednio wykazano, bardziej właściwa wydaje się kontrola temperatury powietrza.

Suszenie próbek pszenicy powietrzem o różnych temperaturach (60° — 80° — 100° — 120° — 140° — 160° C) w warunkach zbliżonych do tych,

Tablica 4

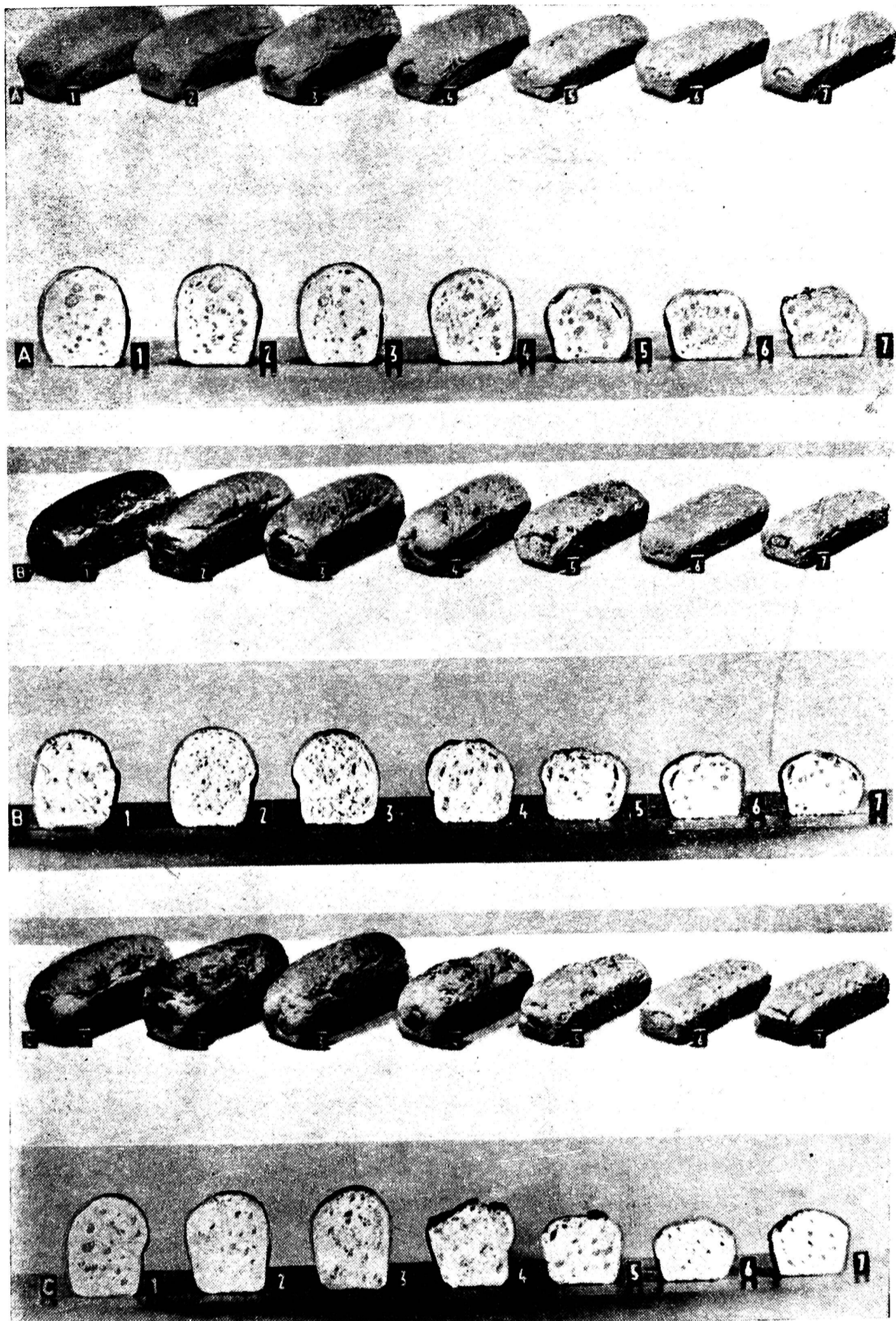
Wpływ temperatury suszącego powietrza na właściwości wypiekowe pszenicy Leda

	Temperatura suszącego powietrza °C			
	60	80	100	120
Suszenie pszenicy 20—15%				
Objętość chleba w suszonej pszenicy w procentach w stosunku do oryginalnej wartości	102	104	95	80
Całkowita wartość innych właściwości wypiekowych w procentach do oryginalnej wartości	110	126	80	13
Suszenie pszenicy 24—15%				
Objętość chleba z suszonej pszenicy w procentach w stosunku do oryginalnej wartości	102	97	89	78
Całkowita wartość innych właściwości wypiekowych w procentach do oryginalnej wartości	112	97	53	12
Suszenie pszenicy 24—15% dwukrotne (24—20% i 20—15%)				
Objętość chleba z suszonej pszenicy w procentach w stosunku do oryginalnej wartości	102	104	76	66
Całkowita wartość innych właściwości wypiekowych w procentach do oryginalnej wartości	107	111	38	9

Grubość warstwy 14 cm

Szybkość powietrza 0,18 m/sek

Kierunek przepływu — powietrza z jednej strony



Rys. 15. Wyniki badań wartości wypiekowej pszenicy
Results of investigation of baking value of wheat grain

- A — suszenie od zawartości wody 20% do 15%
- B — suszenie od zawartości wody 24% do 15% (jednorazowe)
- C — suszenie od zawartości wody 24% do 15% (dwurazowe, z ochłodzeniem ziarna pomiędzy pierwszym i drugim suszeniem)
1. Suszenie powietrzem tylko nieco podgrzanym, w specjalnej suszarni doświadczalnej
 2. Suszenie powietrzem podgrzanym do 60° C
 3. Suszenie powietrzem podgrzanym do 80° C
 4. Suszenie powietrzem podgrzanym do 100° C
 5. Suszenie powietrzem podgrzanym do 120° C
 6. Suszenie powietrzem podgrzanym do 140° C
 7. Suszenie powietrzem podgrzanym do 160° C

- A — Drying from 20% to 15% water content
- B — Drying from 24% to 15% by a unique process
- C — Drying from 24% to 15% with intermediate cooling of grain between the first and the second drying
1. Drying by means of slightly heated air in a special experimental dryer
 2. Drying with air heated to 60° C
 3. Drying with air heated to 80° C
 4. Drying with air heated to 100° C
 5. Drying with air heated to 120° C
 6. Drying with air heated to 140° C
 7. Drying with air heated to 160° C

jakie się spotyka w praktyce, przynajmniej w większości używanych typów suszarni dotychczas wymienionych, dało w wyniku stwierdzenie, że temperatury powietrza 100°C i wyższe powodują pogorszenie właściwości pszenicy w zakresie jakości wypieku (tabela 4).

Liczby podane w tabeli 4 przedstawiają zestawienie wyników uzyskiwanych w badaniach wartości wypieku, które przeprowadził E. K. Meppelink (Instytut dla badań jakości zbóż, mąki i chleba T. N. O. — Wageningen). Na rys. 15 przedstawiono zewnętrzny i wewnętrzny wygląd chleba.

Temperatura powietrza 80°C okazała się być dopuszczalna, z wyjątkiem przypadku suszenia pszenicy o zawartości wilgotności 24%, zaś jednorazowo do 16%. Przy tak wysokiej zawartości wilgoci temperatura 60°C wydaje się być bardziej właściwa, lub chcąc utrzymać temperaturę 80°C , należy suszyć dwurazowo. Nie stwierdzono więc, że 80°C jest wartością krytyczną dla temperatury ziarna pszenicy w zakresie jakości wypieku. Stwierdzono jednak, że przy użyciu powietrza o temperaturze 80°C , procentowa ilość ziarna, którego temperatura przekroczyła wartość krytyczną, jest tak mała, lub szkody są tak nieznaczne, że uszkodzenia dla całości warstwy nie wchodzi w rachubę. Te części krzywych na rysunku 12, 13 i 14, które są zaznaczone grubą linią, wskazują miejsce, czas i temperaturę, gdzie i kiedy taka krytyczna wartość została na pewno przekroczona.

WNIOSKI

W praktycznym stosowaniu suszenia ziarna systemem ciągłym większa część ziarna jest suszona w suszarniach, które się charakteryzują tym, że ziarno jest suszone w warstwach powietrzem podgrzewanym, że przepływ tego powietrza jest mniej więcej jednokierunkowy oraz że w ogóle nie stosuje się mieszania ziarna lub też stosuje się je w bardzo małym stopniu.

W tych warunkach nie można mówić o „temperaturze ziarna“, ponieważ w całej warstwie istnieją różne temperatury ziarna, w danym momencie procesu suszenia. Przemieszczanie się (wyrównywanie) temperatury dla poszczególnych poziomów suszonej warstwy jest tym większe im wyższa jest temperatura powietrza używanego do suszenia.

W stosunkowo krótkim czasie po rozpoczęciu procesu suszenia, w części warstwy występują temperatury ziarna, które są bardzo zbliżone do temperatury przepływającego powietrza. Próby mierzenia temperatur ziarna w praktyce wydają się posiadać wątpliwą wartość, w świetle wyników tych badań, kontrola temperatury wydaje się być bardziej przydatna.

W stosunku do badanych rodzajów ziarna, którego cechy charakterystyczne zostały specjalnie przygotowane, stwierdzono, iż temperatury powietrza wyższe niż 65°C powodują spadek zdolności kiełkowania i że temperatury powietrza wyższe niż 80°C pogarszają jakość wypieku.

LITERÁTURA

1. Mounfield, J. D., Halton, P, and Simpson, A. G. — The Drying of English Wheat. *Journal Soc. Chem. Ind. Transactions* 63, p. 97—104 (1944).
2. Hoffmann, H. J. — Primitivtrocknung oder Schnelltrocknung von Getreide. *Die Mühle*, 92. Jahrg., Heft 34, p. 453—455.
3. Simmonds, W. H. C., Ward, C. T. and Ewen McEwen. — The drying of wheatgrain. Part I: The mechanism of drying. *The transactions of the Institution of Chemical Engineers*, Vol. 31, No. 3, p. 265—278 (1953).
4. Lindberg, Joh. E. and Sörensson, I. — Upphettnings — och torkningsförsök med spannmol företrädesvis vete. *Kungl. Skogs — och Lantbruksakademiens Tidskrift*, Supplement 1, Stockholm, 77 p. (1959).