

JACEK BIŁOWICKI

*Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
w Warszawie*

NIEKTÓRE ASPEKTY SUSZENIA ZIARNA GORĄCYM POWIETRZEM

W rzy powszechnym zbiorze zbóż kombajnami suszenie ziarna staje się koniecznością. Zakres stosowania tego zabiegu zmienia się w różnych latach i regionach zależnie od warunków atmosferycznych. Jak dotychczas zmniejszenie zawartości wody jest najskuteczniejszym sposobem konserwowania ziarna, niezależnie od jego przeznaczenia. Przy wilgotności obniżonej do 14—15% możliwe jest długotrwałe, bezpieczne przechowywanie ziarna zbóż. Do suszenia stosowane są przede wszystkim suszarnie przepływowe (o działaniu ciągłym), choć spotyka się także współczesne suszarnie wsadowe — o działaniu okresowym [9, 49].

Proces suszenia w tych suszarniach wymaga doprowadzenia znacznych ilości energii cieplnej ze spalania paliw — najczęściej płynnych. Dla większości suszarni do ziarna jednostkowe zużycie energii pozostaje w granicach 3,5—10 MJ/kg odparowanej wody [29, 59]. Zgodnie z Systemem Maszyn Rolniczych [82] zapotrzebowanie na ciepło w suszarniach do ziarna o działaniu ciągłym nie powinno przekraczać 5,4 MJ/kg H₂O.

Zmniejszenie energochłonności procesu suszenia ma zasadnicze znaczenie praktyczne i w tym głównie kierunku zmierzają prace badawcze i rozwojowe w kraju [18, 19, 41, 79] i na świecie [29, 67, 91]. Na wielkość nakładów energetycznych przy suszeniu ziarna wywiera wpływ zespół czynników związanych z zasadą działania, konstrukcją i eksploatacją suszarni oraz technologią suszenia. Opierając się na dostępnej literaturze starano się przedstawić kierunki i wyniki prowadzonych współcześnie badań oraz omówić rolę wybranych czynników i ich wzajemne zależności.

Badania przepływu czynnika suszącego

Energochłonność suszenia zależy od rozprowadzenia czynnika suszącego (powietrza) w masie ziarna.

Do opisu przepływu powietrza przez warstwę ziarna wykorzystana została metoda elementów skończonych [47]; uzyskano dużą zbieżność wielkości przewidywanych z wyznaczonymi eksperymentalnie przy su-

szeniu ziarna jęczmienia, kukurydzy i pszenicy. Badając przepływ powietrza przez warstwę ziarna pszenicy w suszarni kolumnowej stwierdzono [2], że aerodynamiczny współczynnik oporu przepływu przy ssaniu i tłoczeniu zależy głównie od parametrów komory suszenia, własności fizycznych warstwy ziarna oraz wydatku wentylatora.

Obecność drobnych zanieczyszczeń i uszkodzonych ziaren zwiększa opory przepływu powietrza przez warstwę ziarna. Susząc ziarno kukurydzy stwierdzono, że po dodaniu 3% mąki pobór mocy przez wentylator wzrastał do 110% w porównaniu z warstwą czystego ziarna [46].

Podobnie przy suszeniu rzepaku badano opory przepływu powietrza przez warstwę nasion czystych oraz zawierających 15 i 25% plew i drobnych cząstek [40]. Dla przepływu powietrza w zakresie 0,016—0,171 m³/s na 1 m² przekroju komory, opór przepływu w kierunku poziomym stanowił 0,5—0,7 wartości oporu w kierunku pionowym. Przy konstrukcji komory umożliwiającej poziomy przepływ powietrza możnaby zaoszczędzić około 40% energii.

Nierównomierne rozprowadzenie suszącego powietrza w suszarni kolumnowej powoduje nierównomierne nagrzewanie i suszenie masy ziarna. Wyrównanie przepływu można osiągnąć poprzez zwiększenie oporów układu, zwiększenie grubości warstwy ziarna lub zmiany konstrukcyjne w części komory doprowadzającej powietrze [74].

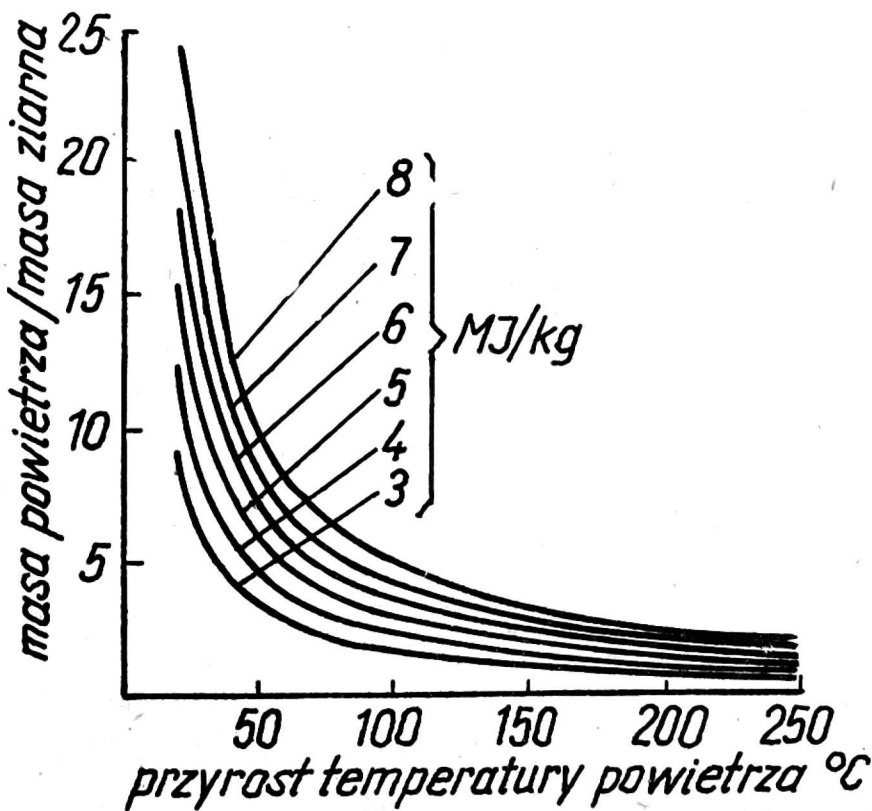
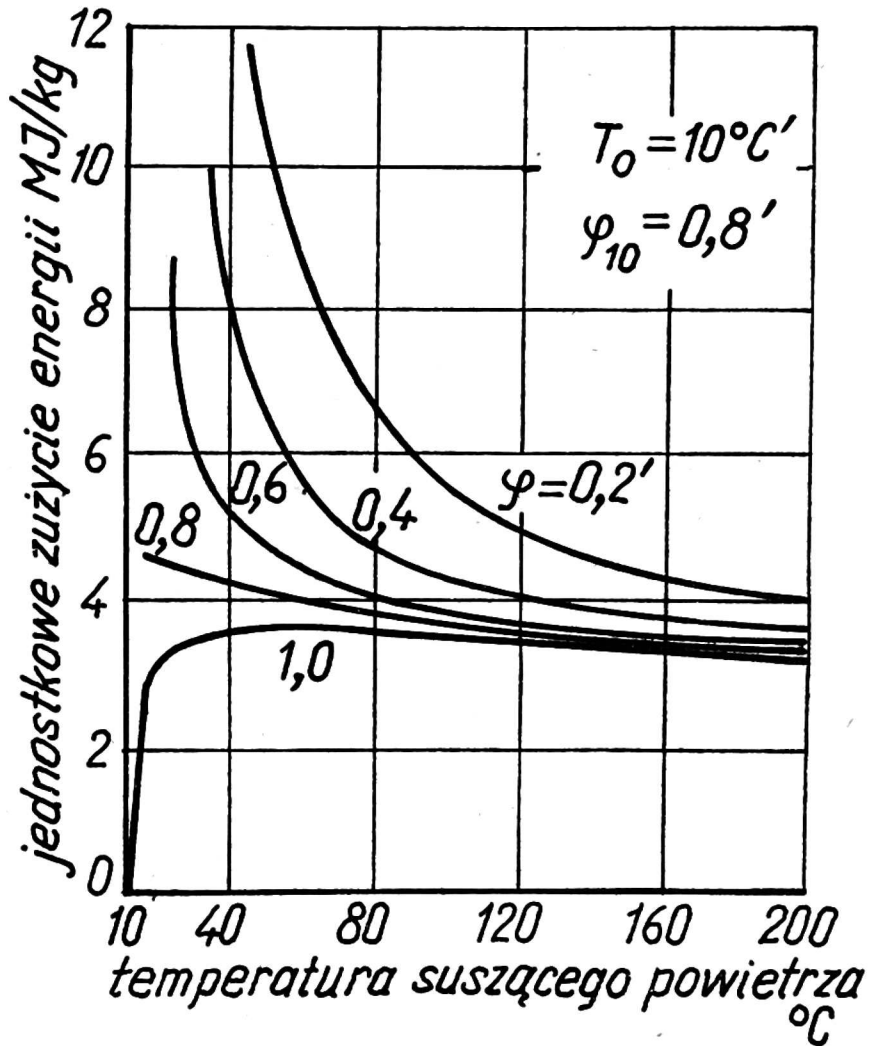
Wykorzystując model symulacyjny [20] porównywano przebieg suszenia ziarna w grubej warstwie przy jednokierunkowym i zmieniającym kierunek przepływie powietrza. Wyniki symulacji wskazują, że zmieniający się kierunek przepływu istotnie zmniejszał różnice wilgotności końcowej ziarna, jednak zużycie energii było wyższe o 10% a efektywność suszenia nieco mniejsza niż przy przepływie jednokierunkowym.

Wpływ temperatury suszenia

W wyższych temperaturach suszenie przebiega szybciej, przy niższych jednostkowych nakładach energii (rys. 1). Wykorzystanie doprowadzonego ciepła jest tym pełniejsze, im powietrze wylotowe jest bliższe stanu nasycenia parą wodną. W wyższych temperaturach wilgotność względna powietrza wylotowego ma mniejsze znaczenie praktyczne. Na przykład podczas suszenia w temperaturze 200°C jednostkowe zużycie ciepła byłoby niskie (około 4 MJ/kg H₂O) nawet przy wilgotności względnej powietrza na wylocie 20% [59].

Dodatkową korzyść przy suszeniu w wyższych temperaturach stanowi zmniejszenie masy tłoczonego powietrza na jednostkę masy ziarna (co ilustruje wykres na rys. 2) a tym samym obniżenie mocy pobieranej przez wentylator suszarni [59].

Rys. 1. Wpływ stopnia adiabatyicznego nasycenia na odzysk ciepła dostarczonego powietrza o temperaturze (T) 10°C i wilgotności względnej 80%



Rys. 2. Wpływ przyrostu temperatury powietrza i jednostkowego zużycia ciepła na stosunek masy suszącego powietrza do masy ziarna suszonego od wilgotności 20% do 15%

W większości suszarń do ziarna, zwłaszcza ogrzewanych za pośrednictwem wymiennika ciepła, stosuje się temperatury czynnika suszącego na wlocie 70—85°C [7, 8]. W niektórych krajach jednak obserwuje się tendencję budowy suszarń pracujących przy wyższych (260°C i powyżej) temperaturach czynnika suszącego [6].

Temperatura suszenia a jakość ziarna

Granice temperatury nagrzania suszonego ziarna wyznacza zachowanie jego jakości zgodnie z przeznaczeniem (ziarno siewne i słodowe, konsumpcyjne, paszowe). Konstrukcja i działanie współczesnych suszarń zapewniają utrzymanie bezpiecznej temperatury nagrzania ziarna mimo znacznie wyższych temperatur czynnika suszącego [8, 59].

Zgodnie z SMR [82] temperatura nagrzania warstwy nie powinna przekraczać 40°C dla ziarna siewnego i 55°C dla ziarna i nasion przeznaczonych dla przetwórstwa. Niektóre nasiona o wilgotności ponad 20% powinny być suszone stopniowo do temperatury nagrzania 30—38°C. Literatura niemiecka [8] podaje niższe dopuszczalne temperatury nagrzania ziarna — do przemiału na mąkę 40—45°C, siewnego 35—38°C.

W ZSRR opracowano [3] nomogram umożliwiający dobór parametrów suszenia ziarna konsumpcyjnego i siewnego w suszarniach komorowej i bębnowej. W zależności od rodzaju i wilgotności początkowej dobiera się dopuszczalne obniżenie wilgotności podczas jednego przejścia przez komorę suszenia (czas ekspozycji) oraz temperaturę czynnika suszącego (np. dla wilgotności początkowej ziarna 24% dopuszczalna temperatura wlotowa czynnika suszącego wyniesie 245°C, zaś maksymalne nagrzanie ziarna 41°C).

Zalecenia odnośnie dopuszczalnych temperatur nagrzania ziarna są w wielu przypadkach przestarzałe i w świetle współczesnych badań wymagają zweryfikowania [23, 56, 58].

Z i a r n o p a s z o w e. W żywieniu przeżuwaczy ziarno lekko przegrzane (przypieczone) jest łatwiej trawione w zwaczu i lepiej przyswajalne. Dla zwierząt nieprzeżuwających ziarno może stanowić źródło białka, którego denaturacji należałoby unikać. W opracowaniach niemieckich [51] jako wskaźnik uszkodzenia termicznego ziarna przyjmuje się zawartość w białku lizyny; ubytek lizyny zależy od temperatury i czasu jej oddziaływania na ziarno nie powinien przekraczać 10%. Wyniki badań angielskich [60] sugerują, że ta graniczna wartość nie jest przekraczana przy oddziaływaniu temperatury 120°C przez okres do 1 godziny, zaś 100°C — do 3 godzin. W suszarni o działaniu ciągłym ziarno nie osiąga takich temperatur, a zatem prawdopodobieństwo obniżenia jego jakości jest nieznaczne.

Badając [11] wpływ temperatury czynnika suszącego w suszarni bębnowej na zawartość dostępnej lizyny i skład aminokwasowy białka w ziarnie zbóż stwierdzono obniżenie wartości paszowej dla świń ziarna suszonego w wysokich temperaturach. Zaleca się, aby temperatura gazów na wlocie do bębna nie przekraczała 400°C, na wylocie 120°C, co umożliwia zachowanie wilgotności końcowej ziarna 12—13%.

Nadmierne nagrzanie ziarna może stwarzać pewne trudności przy schładzaniu.

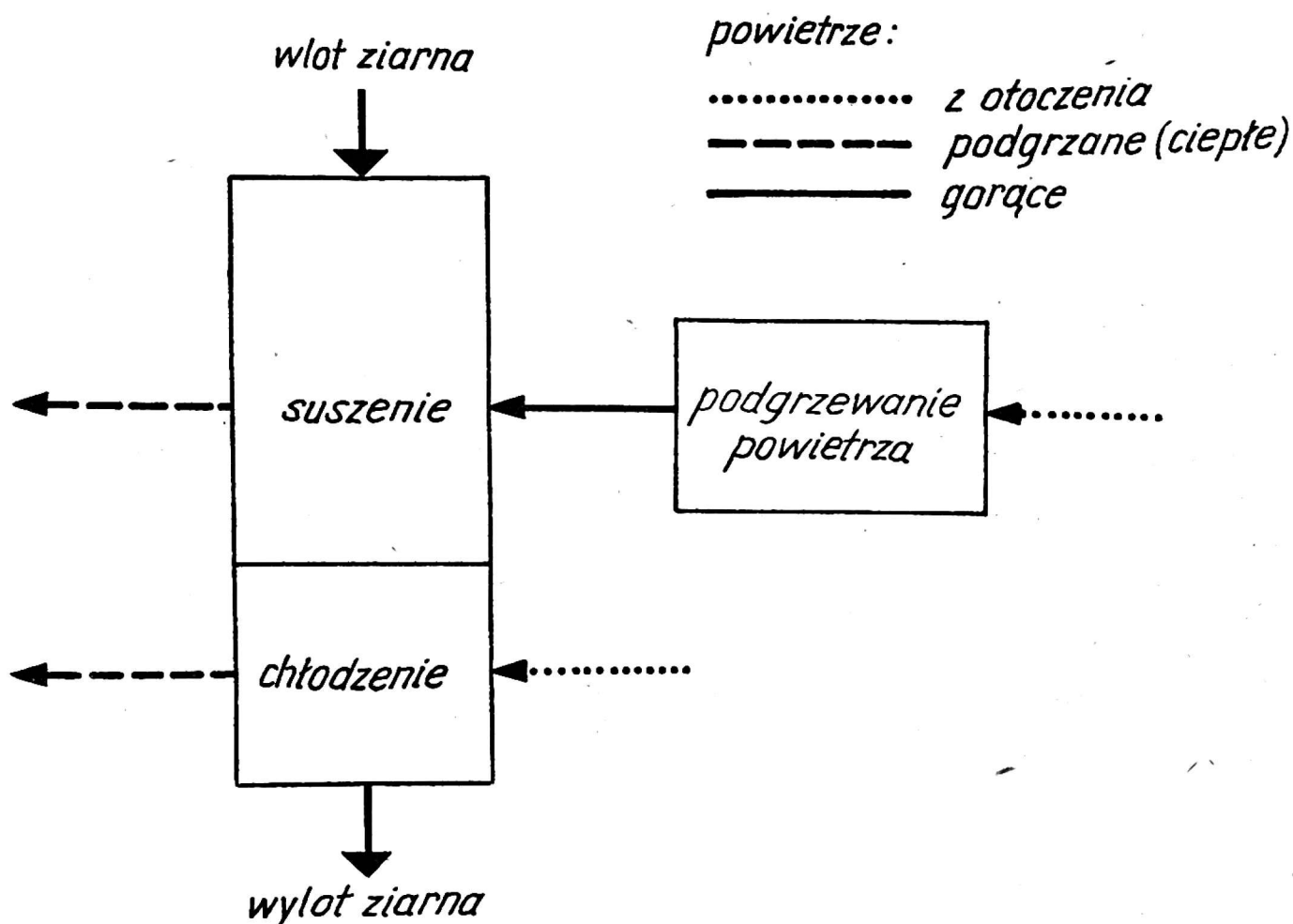
Dla ziarna siewnego i konsumpcyjnego kryteria oceny uszkodzeń termicznych są zbliżone [59]; w obu przypadkach dotyczą rozkładu kompleksu enzymatycznego i poziomu denaturacji białka. Kilkuletnie badania angielskie [31] wykazały ścisłą korelację zdolności kiełkowania (żywotności) ziarna z jego właściwościami wypiekowymi. Zachowanie żywotności, odzwierciedlające zakres zmian chemicznych i fizjologicznych w ziarnie, stanowi kryterium uszkodzeń ziarna konsumpcyjnego przy testacji suszarni rolniczych zgodnie z normą brytyjską [10]. Pewna niedogodność w wykorzystaniu zdolności kiełkowania jako miernika uszkodzeń, podczas suszenia, wiąże się z możliwością błędów oznaczania zdolności kiełkowania oraz ze różnicowaniem początkowej żywotności i odporności na uszkodzenia termiczne różnych partii ziarna. Niemniej oznaczanie zdolności kiełkowania jest uznane za prostą, skuteczną i wystarczająco dokładną metodę wykrywania uszkodzeń termicznych suszonego ziarna; metoda okazała się przydatna w praktyce oraz przy modelowaniu matematycznym i symulacji komputerowej warunków pracy różnych typów suszarni [5, 65, 76, 77]. W badaniach 7 suszarni o działaniu ciągłym przeprowadzonych w NIAE [64], temperatura powietrza 66°C na wlocie do komory suszenia nie obniżała żywotności suszonego ziarna zbóż.

W doświadczeniach kanadyjskich [81] stwierdzono wszakże, iż siewki kukurydzy pochodzące z ziarniaków nagrzanych podczas suszenia do 50°C były znacznie mniejsze niż z nagrzanych do temperatury 35°C, co przypisuje się rozkładowi ziaren skrobi i zmianom fizjologicznym w nasionach w wyższej temperaturze.

Konstrukcja i działanie suszarni

Niezależnie od szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych za podstawę klasyfikacji suszarni do ziarna o działaniu ciągłym przyjmowany jest kierunek przepływu ziarna względem czynnika suszącego (powietrza) [59]. Układ ten ma istotne znaczenie dla temperatur suszenia.

a) Suszarnie o przepływie skrzyżowanym (rys. 3) są najprostsze pod względem konstrukcji i termodynamiki procesu suszenia. Zazwyczaj ziar-



Rys. 3. Zasada działania suszarni o przepływie skrzyżowanym

no przesuwają się pionowo — grawitacyjnie poprzez strefę suszenia i strefę chłodzenia. Jednostkowe zużycie ciepła kształtuje się w granicach 5—9 MJ/kg H₂O [64]. W suszarniach tego typu od strony wlotu powietrza ziarno wysycha szybciej i może nagrzać się prawie do temperatury wlotowej czynnika suszącego, podczas gdy od strony wylotowej pozostaje chłodniejsze i wilgotniejsze. Z tego względu niezbędne jest mieszanie ziarna po wysuszeniu. Sprawność cieplną suszarni o przepływie skrzyżowanym można zwiększyć poprzez recyrkulację powietrza.

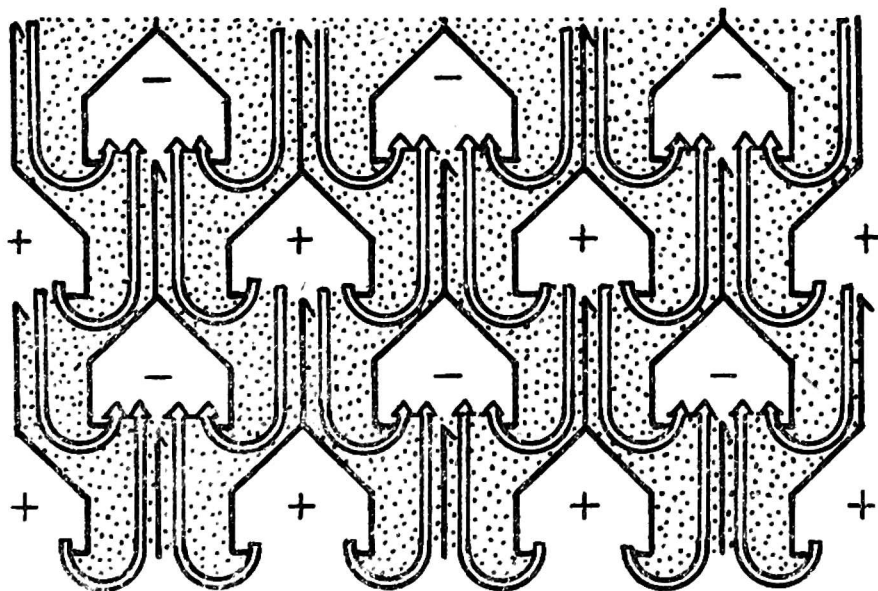
W amerykańskiej suszarni Hart-Carter zastosowano [77] recyrkulację powietrza chłodzącego i części powietrza suszącego obniżając jednostkowe zużycie ciepła z 5,69 na 3,31 MJ/kg H₂O, czyli o 42%. Jednocześnie zmieniający się kierunek przepływu powietrza w drugiej strefie suszenia (rys. 4) zmniejszył różnicę wilgotności końcowej ziarna od 7,7 do 2,8%. W suszarni Ferrell-Ross [5] dzięki recyrkulacji powietrza uzyskano zmniejszenie nakładów energii o 30% (z 7,44 na 5,47 MJ/kg H₂O).

Wyrównanie wilgotności końcowej ziarna jest możliwe poprzez zwracanie ziarna opuszczającego kolumnę. Symulacja komputerowa i doświadczenia przeprowadzone na suszarni Ace [65] wykazały skuteczność urządzenia zwracającego ziarno, jednak kosztem niewielkiego zmniejszenia przepustowości suszarni i zwiększonego jednostkowego zużycia

wobec czego nie występują straty energii na przesuszanie przy łatwiejszym zachowaniu bezpiecznych granic temperatury ziarna. Trudniejsze jest natomiast uzyskanie równomiernego rozprowadzenia powietrza w masie wilgotnego ziarna [59].

W USA skonstruowano suszarnię do ziarna z przepływem współprądowym w sekcji suszącej i przeciwprądowym w sekcji chłodzącej. Jednostkowe zużycie energii w tej suszarni wynosiło 3,5—4 MJ/kg H₂O [1]. Inne rozwiązanie stanowi suszarnia BIRD [36] o przepływie współprądowym, w której poprzez recyrkulację partii ziarna uzyskuje się wielostopniowość suszenia. W początkowych cyklach suszenia stosowano tu znacznie wyższe temperatury powietrza na wlocie (260—427°C), zaś maksymalne temperatury ziarna (pszenica, kukurydza) wahały się od 55 do 64°C przy jednostkowym zużyciu ciepła 3,1—3,7 MJ/kg H₂O.

c) Suszarnie daszkowe do ziarna łączą w sobie elementy działania współprądowego i przeciwprądowego, dlatego określa się, że są o przepływie mieszanym [59, 66]. Ziarno przemieszcza się grawitacyjnie w kolumnie z piętrami poziomych daszkowych kanałów (rys. 5). Napływ i od-



Rys. 5. Kolumna suszarni o konstrukcji daszkowej

prowadzenie powietrza następuje poprzez kolejne piętra tych kanałów. Przy stosunkowo dużej przepustowości ziarna ilość przepływającego powietrza jest mniejsza o około 40% niż przy przepływie skrzyżowanym, zaś niewielkie opory przepływu pozwalają stosować wentylatory niskociśnieniowe. Prosta konstrukcja oraz brak jakichkolwiek sit czynią ten typ suszarni bardzo przydatny do suszenia nasion rzepaku.

W badanych we Francji [14, 15, 16] suszarniach daszkowych FAO i LAW z częściową recyrkulacją powietrza jednostkowe zużycie ciepła wynosiło 3,43—3,54 MJ/kg H₂O; w suszarni LAW bez recyrkulacji zużycie ciepła było wyższe — 3,97 MJ/kg H₂O. Podobnie w suszarni daszko-

wej Cimbria SAE 9 zastosowanie recyrkulacji powietrza obniżyło zużycie ciepła z 4,80 do 3,87 MJ/kg H₂O [13].

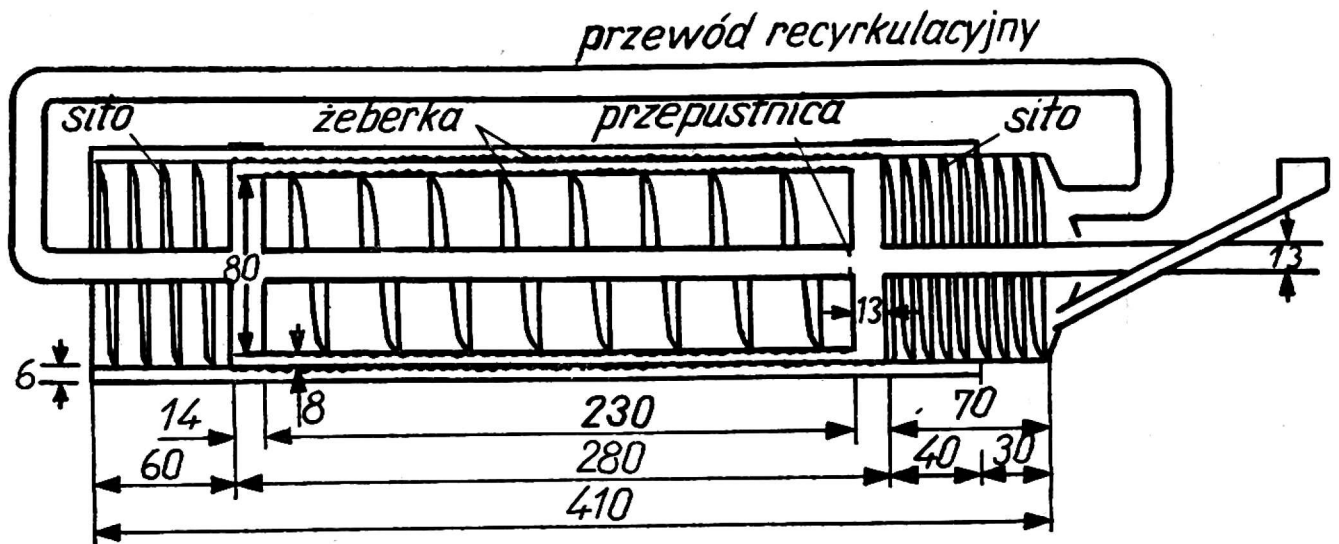
Suszarnie daszkowe znajdują szerokie zastosowanie w wielu krajach, również w Polsce [8,17, 27, 28, 41, 66].

d) W suszarniach o działaniu przeciwwprądowym ziarno przesuwa się w kierunku przeciwnym do ruchu powietrza. Po ustaleniu się procesu ziarno na wylocie osiąga temperaturę zbliżoną do temperatury czynnika suszącego, zaś powietrze wylotowe jest bliskie do stanu równowagi wilgotności z wilgotnym ziarnem. Proces suszenia w przeciwwprądzie jest efektywny [59], lecz zakres jego stosowania ogranicza wrażliwość ziarna na wysoką temperaturę. Przepływ przeciwwprądowy, okazuje się natomiast bardzo przydatny przy chłodzeniu ziarna.

Na rynku angielskim [59] dostępny jest tylko jeden typ suszarni przeciwwprądowej. Suszarnia ta posiada okrągłą komorę suszenia, z której gorące ziarno przechodzi do odrębnej komory chłodzenia, podobnie jak w metodzie „dryeration” [73]. W doświadczeniach niemieckich [55] suszenie w przeciwwprądzie traktowano jako fazę uzupełniającą w suszarni o działaniu współprądowym. Chociaż w fazie suszenia przeciwwprądowego temperatury suszącego powietrza muszą być znacznie niższe, kombinacja taka zwiększa zdolność odparowania wody i podnosi sprawność cieplną suszarni.

Doświadczenia z przepływowym suszeniem kontaktowym ziarna

Interesujące doświadczenia zostały przeprowadzone w Kanadzie. W konwencjonalnych metodach suszenia ziarna, wykorzystujących powietrze jako czynnik suszący, współczynniki wymiany ciepła są stosunkowo niskie [84], co w połączeniu z powolną dyfuzją wody w ziarnie przedłuża czas suszenia. Dążąc do zwiększenia efektywności suszenia badano przebieg wymiany ciepła między ziarnem a ośrodkiem stałym — piaskiem, użytym jako czynnik suszący [70, 85]. W prototypowym bębnie suszącym o średnicy 0,7 m i długości 1,8 m z rozmieszczonymi spiralnie łopatkami we wnętrzu (rys. 6) ziarno przepływa stykając się bezpośrednio z nagrzanym piaskiem. Czas ekspozycji regulowano kątem nachylenia (3,9—7,3°) i liczbą obrotów (16—26 obr./min) bębna. Ciągłość procesu zapewnia grawitacyjna recyrkulacja piasku obwodową częścią bębna, gdzie piasek nagrzewa się poprzez blaszaną ściankę od strumienia gazów spalinowych. Oddzielanie ziarna od piasku odbywa się na sitach umieszczonych na obu końcach bębna. Przy suszeniu kukurydzy o wilgotności początkowej 26,5% piaskiem o temperaturze 150°C obniżano wilgotność ziarna o 3,4% w ciągu 30 sekund. Jednostkowe zużycie ciepła wy-



Rys. 6. Wnętrze bębna użytego do suszenia ziarna w ośrodku stałym (piasku) nagrzewanym kontaktowo. Wymiary w cm.

nosiło 6,5—10,4 MJ/kg H₂O. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę dla dalszych prac konstrukcyjnych, które pozwolą m.in. na zwiększenie temperatury piasku do 230°C i przedłużenie czasu ekspozycji ziarna do 40 sekund.

Suszenie z recyrkulacją powietrza lub ziarna

Nakłady energetyczne można obniżyć wykorzystując część ciepła odlotowego suszarni poprzez recyrkulację gazu, przy czym wymienia się kilka możliwości [19]:

- wstępne podgrzewanie ziarna powietrzem odlotowym po chłodzeniu,
- mieszanie odlotowego powietrza po chłodzeniu z czynnikiem suszącym,
- zawracanie części czynnika suszącego w obiegu,
- kombinacje wspomnianych rozwiązań,
- kierowanie odlotowego powietrza po chłodzeniu lub czynnika suszącego do paleniska suszarni.

Zależnie od konstrukcji suszarni oraz systemu recyrkulacji oszczędności energetyczne mogą dochodzić do 25% [19, 67]. W badaniach krajowych [24] po wprowadzeniu recyrkulacji powietrza chłodzącego i związanych z tym zmian konstrukcyjnych w suszarni DSP 32 OT (prod. ZSRR) zużycie paliwa (oleju napędowego) uległo zmniejszeniu aż o 49% przy znacznym wzroście przepustowości suszarni; w suszarni DSP 32 OT czynnikiem suszącym jest mieszanina gazów spalinowych z powietrzem.

W badaniach przeprowadzonych w Bułgarii przy suszeniu ziarna pszenicy, jęczmienia i kukurydzy [45] porównywano 7 różnych suszarni.

Tabela

Wskaźniki pracy suszarni do ziarna [45]

Typ suszarni (firma)	LAW SBC- -14LE	Ri- vierre -Ca- salis S 219 D	SVEG- MA SV- -3100	Si- rocco 2000	UZM A-1	DVSK -4	M-839
Kraj producenta	Fran- cja	Fran- cja	Szwe- cja	Węgry	ZSRR	Jugo- sławia	Pol- ska
1	2	3	4	5	6	7	8
Przepustowość ziarna (t/h)	20	16	30	15	50	18	40
Wilgotność ziarna							
— początkowa (‰)	35	30	20	30	20	32	20
— końcowa (‰)	15	15	15	15	14	14	14
Masa odparowanej wo- dy (kg/h)	4700	3540	2820	3100	4650	3760	2800
Moc zainstalowana (kW)	83	147	47	178	207	110	170
Jednostkowe zużycie ciepła (kJ/kg H ₂ O)	3500	4100	3890	3850	4960	5570	5040
Jednostkowe zużycie energii *) (kWh/t)	1,4	3,67	1,88	4,75	4,14	2,03	4,25

*) przy obniżeniu wilgotności ziarna z 20 na 14‰.

Jak wynika z tabeli najlepsze wskaźniki energetyczne uzyskiwały suszarnie wyposażone w częściową recyrkulację powietrza. (LAW, Sirocco; SVEGMA).

W suszarniach czechosłowackich LSO 40 TS-5 [25, 66, 67] i krajowej suszarni daszkowej M820 wprowadzono doświadczalnie recyrkulację części wysuszonego ziarna [27, 35] uzyskując oszczędności energetyczne i lepsze wskaźniki jakościowe (żywoćność) ziarna po suszeniu. Suszarnie z recyrkulacją ziarna są produkowane m.in. w ZSRR [7, 34].

W badaniach WIM [29,30] przy suszeniu ziarna zbóż o wysokiej wilgotności (25‰ i wyżej) w suszarni kolumnowo-daszkowej, recyrkulacja ziarna w stosunku 1:1,5 połączona ze wstępnym podgrzewaniem wilgotnego materiału do 40—43°C, obniżała nakłady energii z 8,0 do 5,1—5,3 MJ/kg H₂O w porównaniu z suszeniem tradycyjnym. Możliwe okazało się również stosowanie wyższych temperatur czynnika suszącego bez obniżania jakości ziarna. Na bazie uzyskanych wyników zaprojektowano schematy technologiczne pracy suszarń SZSz-16 pozwalające zmniejszyć zużycie energii o około 35‰.

Recyrkulacja ziarna znacznie zmniejsza rozrzut wilgotności materiału po wysuszeniu, co ma szczególne znaczenie przy dużych wahanach wilgotności początkowej. Stwierdzono [34], że jeśli rozrzut wilgotności początkowej ziarna wynosił 4%, to po wysuszeniu wahania wilgotności nie przekraczały 0,48%.

Mieszanie ziarna

Oprócz recyrkulacji ziarna zwiększenie intensywności suszenia jest możliwe poprzez lepsze mieszanie, a w efekcie bardziej równomierne nagrzewanie ziarna. W suszarniach przepływowych jest to osiągalne poprzez odpowiednie zmiany konstrukcji komory suszenia. Wprowadzenie zmian w geometrii rozstawienia daszków w suszarniach czechosłowackich typu SSZ obniżyło jednostkowe zużycie energii o 0,5—1,0 MJ/kg odparowanej wody, czyli o 18%, zaś w suszarni typu TS o 7—15% [66, 67].

Przy suszeniu kukurydzy w warstwie nieruchomej, w suszarniach wsadowych lub silosach stosowane są mechaniczne urządzenia mieszające ziarno. Mieszanie zwiększa intensywność suszenia podgrzewanym powietrzem i wyrównuje wysychanie całej warstwy ziarna [44].

W doświadczeniach amerykańskich [86, 87] susząc ziarno kukurydzy o wilgotności 20—25% w zbiornikach cylindrycznych 5,5 m z perforowaną podłogą, zastosowano mieszadło ślimakowe o średnicy 51 mm, przesuwające się spiralnie z prędkością poziomą 4,2 m/h. Zawartość zbiornika około 75 t była w całości wymieszana w 24—48 godzin. Mieszanie skracało czas suszenia o 11,4% i zmniejszało zużycie energii 51,5%; malały opory przepływu powietrza przez ziarno, chociaż w dolnej partii gromadziły się części miazki formując cienką warstwę trudniej przepuszczalną dla powietrza. Wpływ mieszania na przebieg wysychania i energochłonności procesu suszenia ryżu badano również w Japonii [91].

Stosowane paliwo

W latach 1950 wiele suszarni do ziarna opalano paliwem stałym. Przeważająca większość produkowanych obecnie urządzeń jest wyposażana w palniki na paliwo ciekłe (olej napędowy, olej opałowy), wzrasta natomiast zainteresowanie [59] paliwem gazowym (gaz ziemny, propan-butan). Użycie paliwa ciekłego i gazowego ułatwia automatyczne sterowanie, tym samym utrzymanie optymalnych warunków pracy suszarni [19, 23].

Poza względami technologicznymi — o rodzaju stosowanego w suszarniach paliwa decyduje sytuacja ekonomiczna. W warunkach krajowych

dąży się do zastępowania paliw płynnych węglem, jednak próby wprowadzania miału węglowego jako paliwa w suszarniach zbożowych nasuwają istotne zastrzeżenia [80] ze względu na bezpieczeństwo pożarowe i ochronę środowiska. Nawrót do opalania suszarni węglem przewiduje się także w innych krajach [38, 59].

W celu zaoszczędzenia paliw tradycyjnych wykorzystuje się lokalne nośniki energii (np. biomasę) oraz energię ze źródeł niekonwencjonalnych. W kraju pewne znaczenie jako paliwo może mieć słoma zbożowa; pod względem energetycznym 1 kg słomy (14—15 MJ) odpowiada w przybliżeniu 0,5 kg węgla [75]. Spalanie słomy charakteryzuje się wysoką emisją substancji szkodliwych w produktach spalania (280—1000 mg/m³ wobec dopuszczalnych 300 mg/m³) i wymaga specjalnej konstrukcji pieców. Szereg firm europejskich produkuje obecnie piece, umożliwiające spalanie słomy m.in. w postaci dużych bel cylindrycznych i prostopadłościennych, o wydajności cieplnej do 1100 kW, przystosowane do ogrzewania suszarni; sprawność tych urządzeń wynosi 0,3—0,6. Niektóre piece nadają się także do spalania strużyn drewnianych. Różne aspekty wykorzystania słomy jako paliwa oraz przegląd stosowanych do tego celu urządzeń zostały przedstawione w literaturze [19, 45, 75].

W dążeniu do oszczędności paliw opracowano koncepcję ogrzewania suszarni zbożowych za pośrednictwem nagrzewnic parowych [26], prowadzono również próby wykorzystania do suszenia ziarna zbóż ciepła odpadowego z suszarni bębnowej [69].

Wykorzystanie energii słonecznej do podgrzewania powietrza — popularne przy dosuszaniu ziarna przez aktywną wentylację w nieruchomej warstwie [52] nie znajduje zastosowania w suszarniach przepływowych, pracujących przy znacznie wyższych temperaturach. Niemniej literatura bułgarska [45] opisuje interesujące rozwiązanie pośrednie. Kolektor słoneczny o powierzchni 1200 m² w dachu magazynu zbożowego podgrzewa do 40—50°C powietrze kierowane do pieca suszarni opalanego paliwem ciekłym. Podgrzane w kolektorze powietrze miesza się ze spalinami osiągając na wlocie do suszarni temperaturę około 120°C. Uzyskiwane przy tym oszczędności paliwa ciekłego wynoszą około 30%.

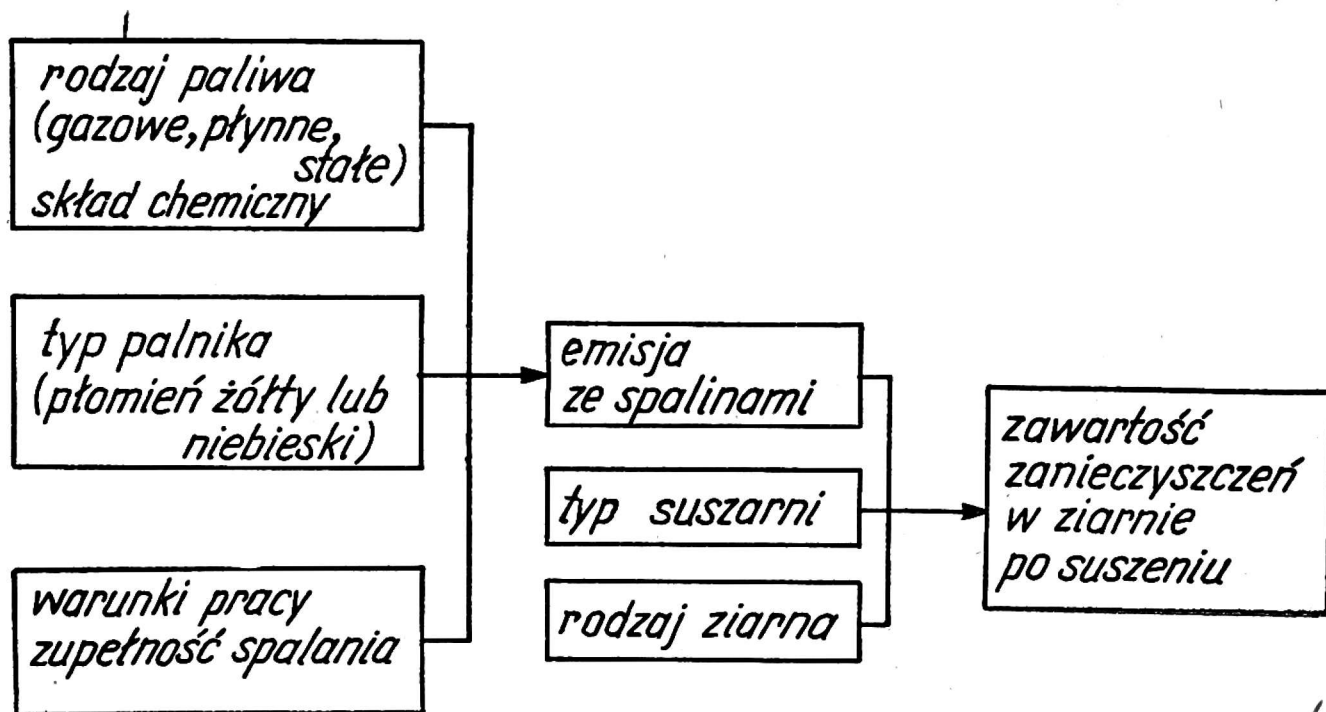
Suszenie bezpośrednie a zanieczyszczenie ziarna

Zważywszy, że sprawność dobrego wymiennika ciepła wynosi około 0,7, bezpośrednie suszenie gazami spalinowymi daje znaczne oszczędności energetyczne, sięgające do 40% paliwa [19].

Powstaje jednak problem osadzania w ziarnie produktów niepełnego spalania. Gazy spalinowe zawierają m.in. tlenki azotu i siarki, zawiesiny metali ciężkich oraz policykliczne węglowodory aromatyczne. Niektóre

z tych substancji są toksyczne, zaś węglowodory aromatyczne mają własności rakotwórcze. Za najbardziej aktywne pod względem rakotwórczym uważane są benzopiren i dibenzoantracen.

Cząsteczki sadzy w spalinach absorbują powierzchniowo znaczne ilości tych związków osadzając w warstwie ziarna. Ilość emitowanych i osadzających się w ziarnie produktów spalania zależy od wielu czynników co ilustruje rys. 7 [37, 38].



Rys. 7. Czynniki wpływające na stopień zanieczyszczenia ziarna produktami niepełnego spalania przy suszeniu spalinami.

Paliwa gazowe wytwarzają mniej węglowodorów niż oleje i paliwa stałe nie poddane procesowi koksowania. Ich zawartość w spalinach wzrasta przy niewłaściwej regulacji palnika. Badacze niemieccy i kanadyjscy dzielą palniki olejowe na palniki o płomieniu niebieskim i o płomieniu żółtym [37]. Palniki olejowe o płomieniu niebieskim zapewniają pełniejsze spalanie zatomizowanych kropli oleju niż palniki o płomieniu żółtym; charakterystyka niebieskiego płomienia olejowego jest zbliżona do płomienia gazowego. Palniki o niebieskim płomieniu nie nadają się jednak do stosowania w większych suszarniach.

W suszarniach ogrzewanych bezpośrednio spalinami palników olejowych badano stopień zanieczyszczenia ziarna produktami spalania [37]. Zanieczyszczenie składnikami mineralnymi (tlenki azotu i siarki, metale ciężkie) ziarna kukurydzy było mniejsze niż pszenicy i jęczmienia; najwięcej osadu zatrzymywało ziarno jęczmienia. Zawartości tych zanieczyszczeń znajdowały się jednak znacznie poniżej dopuszczalnych norm.

Zawartość benzopirenu i dibenzoantracenu w ziarnie suszonym bezpośrednio spalinami z palników olejowych w suszarni o przepływie skrzy-

zowanym nie przekraczało dopuszczalnego poziomu 1,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Natomiast w ziarnie pszenicy z suszarni o działaniu okresowym wystąpił znaczny wzrost stężenia węglowodorów aromatycznych.

W innych doświadczeniach [38] przy suszeniu bezpośrednim ziarna spalinami z gazu ziemnego nie obserwowano istotnego zwiększenia zawartości węglowodorów aromatycznych, natomiast spalanie paliw płynnych zwiększało zawartość benzopirenu w ziarnie o 140—250%, zależnie od warunków pracy palnika.

Wyniki badań przeprowadzonych w NRD [22] wykluczają bezpośrednie suszenie ziarna spalinami z paliw stałych ze względu na silne zanieczyszczenie węglowodorami aromatycznymi. Użycie paliw ciekłych byłoby możliwe tylko przy palnikach o niebieskim płomieniu, natomiast spalanie paliw gazowych (gaz ziemny, gaz miejski) nie powoduje zanieczyszczeń suszonego ziarna niebezpiecznych dla zdrowia człowieka.

Ochrona środowiska i zabezpieczenie przeciwpożarowe

Przy bezpośrednim suszeniu spalinami z paliwa stałego, powstają także inne zagrożenia. Iskrzenie występujące szczególnie przy spalaniu miazgi węglowej stwarza niebezpieczeństwo pożaru, zaś przy określonym stężeniu pyłu zbożowego w powietrzu tworzy się mieszanina wybuchowa [46, 71, 80]. Niebezpieczeństwo eksplozji pojawia się przy stężeniu cząstek pyłu zbożowego o wielkości poniżej 0,1 mm wynoszącym 30—40 g/m^3 powietrza. Temperatura zapalenia się cząstek pyłu tworzącego osad wynosi 250—300°C, zaś w zawieszynie około 400°C. Niektóre suszarnie przepływowe są wyposażone w systemy alarmowe sygnalizujące niebezpieczeństwo pożaru [71].

W niektórych opracowaniach [59, 79] zwraca się uwagę, że niekontrolowane pylenie ziarna z suszarni oraz stosowanie nieodpowiednich paliw może stanowić źródło lokalnego zanieczyszczenia środowiska. W RFN przepisy określają dopuszczalną wielkość emisji pyłów do 50 mg/m^3 [8]. Pyły z suszarni mogą być oddzielone w oddzielaczach odśrodkowych (cyklonach), których stopień sprawności dla cząstek o średnicy ponad 50 μm wynosi 100%, od 5 do 10 μm 85% i dla cząstek mniejszych — około 60%. Ze wzrostem przepustowości suszarni do 50 t/h zwiększa się ilość przepływającego powietrza co wymaga stosowania dwustopniowych oddzielaczy pyłów. Zaostrza się także wymagania odnośnie tłumienia hałasu w pracy urządzeń, z czego wynika konieczność stosowania osłon przeciwdźwiękowych przy wentylatorach. Odprowadzane do atmosfery powietrze powinno być kierowane pionowo ku górze przewodem o odpowiedniej wysokości.

Automatyzacja pracy suszarni

Automatyczna regulacja procesu suszenia ma na celu utrzymywanie równowagi między masą odparowanej z ziarna wody a ilością doprowadzonego ciepła, niezbędną do uzyskania pożądanej wilgotności końcowej materiału, np. 14% [19]. Tym samym umożliwia najbardziej ekonomiczny przebieg suszenia, bez zbędnych nakładów energii na przesuszenie ziarna. Automatyzacja jest łatwa do zastosowania w suszarniach opalanych gazem lub paliwem ciekłym, gdzie temperatura czynnika suszącego zależy od intensywności spalania paliwa. W suszarniach opalanych paliwem stałym automatyzacja jest znacznie trudniejsza ze względu na sposób podawania paliwa i usuwania popiołu i dotyczy utrzymywania niezbędnej temperatury czynnika suszącego, a nie procesu spalania [7].

Szereg firm produkuje obecnie układy automatycznego sterowania oparte na mikroprocesorach [45, 48, 59]. Mikroprocesor pozwala zautomatyzować większość czynności regulacyjnych gromadząc w pamięci dane dotyczące m.in. temperatury czynnika suszącego, dopuszczalnych temperatur nagrzania różnych rodzajów ziarna; pozwala regulować przepustowość suszarni względem temperatury czynnika suszącego aby zachować odpowiednią wilgotność końcową ziarna. W ustalonych warunkach pracy danej suszarni istnieje ścisła korelacja między wilgotnością końcową ziarna a temperaturą wylotową czynnika suszącego. Dlatego w większości suszarni — aby utrzymać tę temperaturę stałą — reguluje się przepustowość poprzez zmianę natężenia wysypu ziarna [59]. Pewne trudności stwarzają zbyt duże wahania wilgotności początkowej materiału. Przy odpowiednio reagujących czujnikach wilgotności ziarna sygnały określające tę wilgotność na wlocie pozwalają modyfikować sprzężenie zwrotne z temperaturą wylotową gazów.

W badaniach suszarni SSZ-2 [72] określano relację między wylotową temperaturą powietrza a temperaturą nagrzania i zmianami jakości ziarna. Wyniki posłużyły za podstawę do zaprojektowania systemu automatycznej regulacji procesu suszenia.

Na Węgrzech produkowane są regulatory DNSZ stosowane w suszarniach Sirocco 2000 i BI-15 [45]. Czujnik odczytujący wilgotność masy ziarna na wlocie do komory suszenia reguluje działanie mechanizmu wysypowego. Dokładność pomiaru wilgotności wynosi 0,6%; przy wahaniami wilgotności początkowej około 5% uzyskuje się dokładność regulacji około 1%, z opóźnieniem zadziałania mechanizmu wysypowego 20—70 sekund. Regulator przystosowany do 6 gatunków ziarna pozwala zaoszczędzić około 5% paliwa.

Oparty na mikroprocesorze automat sterujący Wilder [45] mieści w pamięci 19 programów (receptur) suszenia różnych nasion, kontrolując pra-

widłowość procesu przekazuje dane na optyczny wskaźnik cyfrowy. Możliwa jest kontrola pracy suszarni na wydruku taśmowym. Niesprawność regulatora sygnalizuje sygnał optyczny i dźwiękowy. Oprócz procesu suszenia automatyzacja obejmuje blokadę włączania i wyłączania silników elektrycznych suszarni, urządzeń przeładunkowych, mechanizmu wysypowego itp. Projekt automatycznej regulacji z użyciem sterownika mikroprocesorowego opracowano [63] dla krajowych suszarni daszkowych M819 i M820. Sterownik kontrolując temperaturę w odpowiednich punktach suszarni steruje palnikiem pieca lub sygnalizuje konieczność ręcznej regulacji paleniska oraz zapewnia odpowiednią kolejność uruchamiania i wyłączania mechanizmów suszarni.

Zwraca się jednak uwagę [59] na stosunkowo wysoki koszt automatyki opartej na mikroprocesorach, co utrudnia jeszcze jej szerokie zastosowanie.

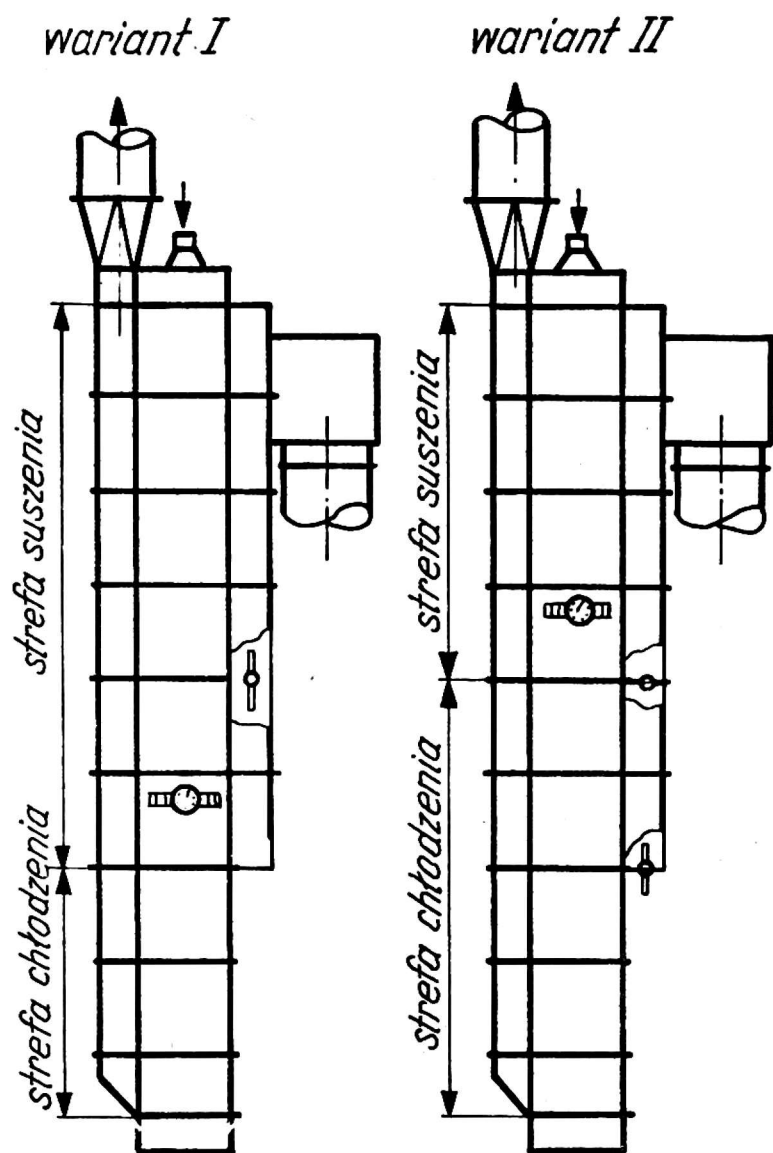
Schładzanie ziarna po suszeniu

Warunkiem prawidłowego funkcjonowania suszarni jest odpowiednie schłodzenie ziarna po suszeniu. Zgodnie z wymaganiami krajowymi [82] temperatura ziarna po schłodzeniu nie powinna być wyższa od otoczenia o więcej niż 8°C; wymagania radzieckie dopuszczają różnicę do 10°C [7], natomiast opracowania niemieckie [8] podają dopuszczalną różnicę 3—5°C.

W suszarniach przepływowych ziarno nagrzane po suszeniu spływa grawitacyjnie do sekcji chłodzącej stanowiącej przedłużenie kolumny suszącej [8] lub jest transportowane mechanicznie do wyodrębnionej komory chłodzenia. Intensywność chłodzenia zależy od parametrów powietrza i grubości warstwy; przy zalecanej prędkości powietrza w warstwie ziarna 0,2—0,4 m/s chłodzenie grubej warstwy ziarna trwa do 30—40 minut [7, 61].

Wyniki symulacji komputerowej [59] potwierdzone danymi z badań różnych suszarni wskazują, że w wielu przypadkach wielkość sekcji chłodzącej, stanowiącej integralną część suszarni, nie wystarcza do odpowiedniego schłodzenia ziarna. Podejmowane są w związku z tym zmiany i ulepszenia konstrukcji komór chłodzenia istniejących suszarni [7]. W opracowaniach niemieckich [8] mówi o prostym systemie regulacji, pozwalającym zwiększać strefę chłodzenia kosztem strefy suszącej za pomocą zestawu odpowiednich zasuw (rys. 8).

W wielu suszarniach powietrze z chłodnicy ziarna jest kierowane wtórnie do obiegu suszącego.



Rys. 8. Suszarnia ze zmienną strefą chłodzenia ziarna

Suszenie metodą „dryeration”

Przy metodzie „dryeration” [54, 73] ziarno jest suszone w klasycznej suszarni przepływowej (np. komorowo-daszkowej), poczem osiąga ono wilgotność 17—18% i temperaturę 50—60°C. Bez schładzania ziarno zostaje przetransportowane systemem przenośników do zbiornika (silosu) z perforowanym dnem, gdzie pozostaje przez 8—12 godzin. W tym czasie zachodzi dyfuzja cząstek wody z wnętrza ziaren na zewnątrz i wyrównanie wilgotności materiału przy jednoczesnym spadku temperatury. Po tym okresie „wypocenia” ziarna włącza się wentylację nieogrzewanym powietrzem (50—60 m³/h m³), na skutek czego wilgotność ulega obniżeniu o dalsze 1—2%. W 1973 roku suszono w ten sposób we Francji około 25% zbiorów ziarna kukurydzy [73].

W kraju próby metody „dryeration” były przeprowadzone m.in. w 1981 r. [32]. Suszono ziarno żyta w suszarni ZSPZ 8 przy temperaturze czynnika suszącego 120°C, następnie składano w metalowych zbiornikach i po przerwie wentylowano nieogrzewanym powietrzem schładzając do temperatury otoczenia. Podczas wentylowania następował spadek wil-

gotności ziarna o 0,5—2%. Przy tej metodzie jednostkowe zużycie paliwa (oleju napędowego) obniżało się o 21,3%, zużycie energii elektrycznej o 5,1%, zaś przepustowość suszarni wzrastała o 27%.

Modelowanie matematyczne i symulacja komputerowa w suszeniu ziarna

W ostatnich latach opublikowane zostało wiele prac dotyczących modelowania matematycznego i symulacji komputerowej w suszarnictwie ziarna zbóż. Technika komputerowa okazuje się skutecznym narzędziem w badaniach procesu suszenia, działania różnych typów suszarni, systemów automatycznej regulacji i optymalizacji rozwiązań.

Do badań podstawowych sformułowano model wysychania ziarna kukurydzy oparty na dyfuzji wody wewnątrz ziarna [88]. Przyjęto, że opór ruchu wody w ziarnie jest sumą oporów tkanki wewnętrznej, przestrzeni międzykomórkowych i okrywy zewnętrznej. Stosując opracowany model uzyskano znacznie dokładniejszy opis procesu suszenia niż przy użyciu równań stosowanych dotychczas.

Opracowano modele matematyczne opisujące wymianę masy i ciepła podczas suszenia ziarna w cienkich i grubych warstwach [4, 12, 18]. Do modelowania przebiegu suszenia ziarna kukurydzy w grubej warstwie wykorzystano równania opisujące suszenie w cienkiej warstwie [51]. Przy eksperymentalnej weryfikacji modelu uzyskano zgodność wyników co do rozkładu i wartości średnich wilgotności. Modelowanie matematyczne zastosowano w badaniach procesu suszenia ziarna w suszarniach komorowych [20, 62, 93] oraz komorowo-daszkowych [17, 50]. Przy wykorzystaniu modelu suszenia w suszarni kolumnowo-grawitacyjnej [18, 61] o prądzie skrzyżowanym przeprowadzono szereg eksperymentów symulacyjnych różnicując parametry konstrukcyjne dla optymalizacji procesu pod względem energetycznym.

Prosty model matematyczny wykorzystano do symulowania przebiegu suszenia w suszarniach przepływowych z zastosowaniem automatycznej regulacji proporcjonalnej i proporcjonalno-integracyjnej [48]. W rezultacie opracowano koncepcję nowego systemu regulacji temperatury, wyposażonego w mikrokomputer. Podobnie wyniki badań symulacyjnych suszenia w suszarniach z przepływem współ- i przeciwpłdowym ziarna o zmiennej wilgotności, stanowiły podstawę do zaprojektowania układu automatycznego sterowania przebiegiem suszenia [90].

Opracowany został model komputerowy [89] pozwalający w skali technicznej dobierać główne parametry oraz obliczyć koszty pracy suszarni w założonym okresie użytkowania. Model może być użyteczny przy projektowaniu suszarni i analizie kosztów suszenia, wymaga jednak zwiększenia liczby wprowadzanych parametrów.

W kraju został opracowany teoriomnogościowy model matematyczny [91] pozwalający optymalizować pod względem technologicznym i ekonomicznym dobór urządzeń i system suszenia ziarna w gospodarstwie. Podkreśla się praktyczną przydatność modelu dla poradnictwa rolniczego przy planowaniu wyposażenia, zapotrzebowania na paliwo i energię oraz nakładów finansowych.

W modelowaniu i obliczeniach procesów suszenia niezbędna jest szczegółowa charakterystyka własności fizycznych ziarna i nasion. W badaniach prowadzonych przez różne ośrodki [21, 43] wyznaczano doświadczalnie, m.in. dla ziarna kukurydzy i ryżu, gęstość właściwą, porowatość, ciśnienie statyczne w warstwie, zmiany wilgotności równowaznej, ciepło właściwe, ciepło parowania, stałe równań dyfuzji określających przebieg procesu suszenia. Podobnie badano [39] zmiany i wzajemne relacje własności fizycznych takich, jak wilgotność, ciepło utajone, ciepło parowania wody, przewodność cieplna i inne, dla nasion roślin zbożowych i oleistych (pszenica, jęczmień, ryż, sorgo, soja, słonecznik, rzepak). Dla nasion rzepaku wyznaczono [83] wilgotność równowazną w zakresie temperatur 5—25°C.

Suszenie a inne metody konserwowania ziarna

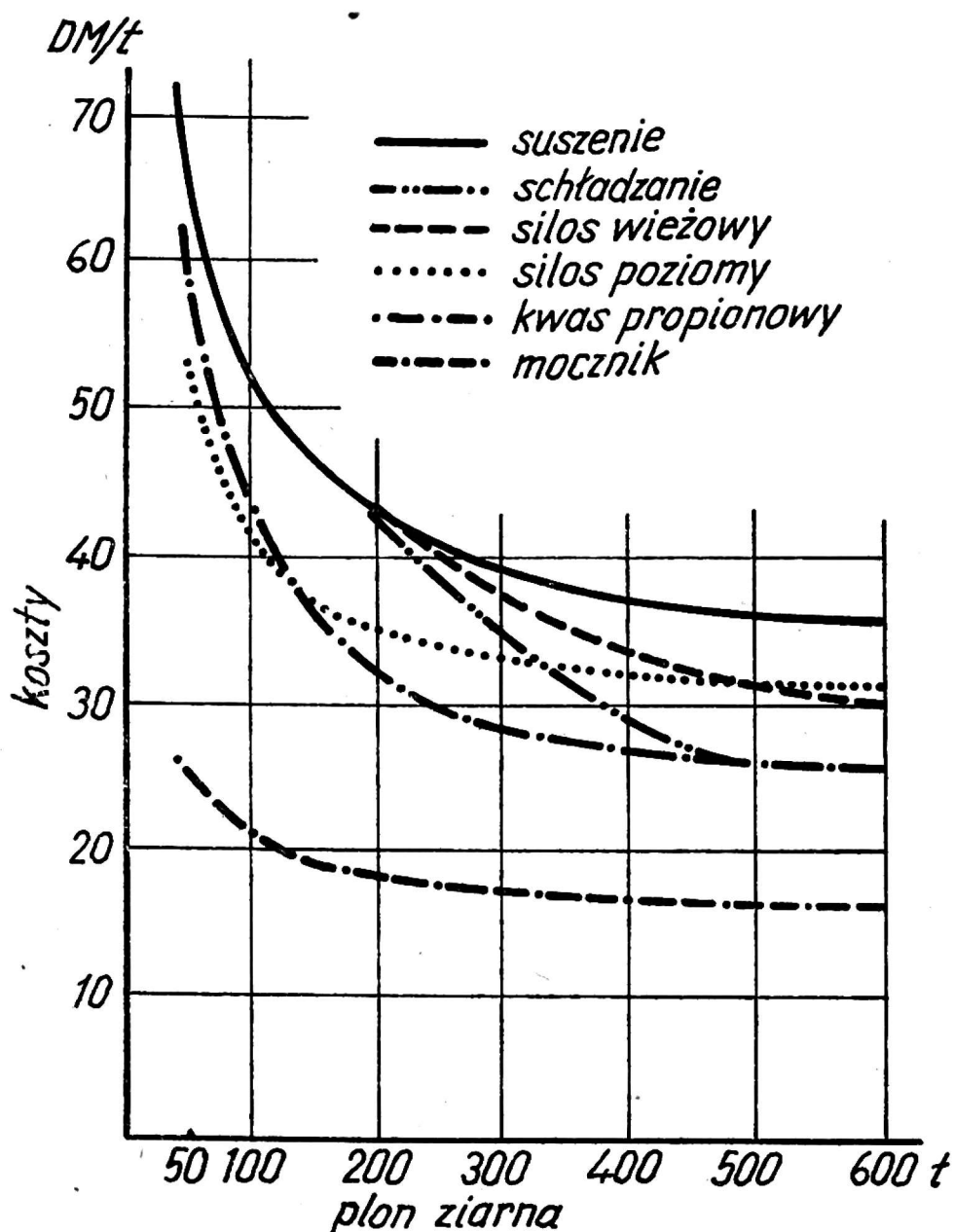
Do innych znanych metod konserwowania wilgotnego ziarna [94, 95] zalicza się:

- dodawanie środków chemicznych (głównie kwasu propionowego i jego pochodnych, mocznika),
- schładzanie i przechowywanie w niskiej temperaturze,
- przechowywanie w atmosferze beztlenowej w hermetycznych zbiornikach.

O ile suszeniu w odpowiednich warunkach może być poddane ziarno niezależnie od przeznaczenia (siew, konsumpcja, przetwórstwo, pasza), wspomniane metody konserwowania nadają się do zastosowania wyłącznie do ziarna pastewnego. Jedynie schładzanie do temperatury około 5°C, traktowane jako zabieg poprzedzający suszenie, może obejmować ziarno konsumpcyjne [96].

O zakresie zastosowania metod konserwowania ziarna decyduje dostępność środków technicznych (preparatów chemicznych, urządzeń dozujących, agregatów chłodniczych itd.) i ponoszone koszty. Porównanie kosztów różnych metod konserwowania ziarna w gospodarstwie [95] w zależności od wielkości plonu, dla warunków RFN przedstawia rys. 9.

Przy sprzyjających warunkach atmosferycznych podczas zniw sposobem konkurencyjnym dla suszenia termicznego — zwłaszcza w gospodarstwach drobnotowarowych — może być przewietrzanie ziarna powie-



Rys. 9. Jednostkowy koszt konserwowania ziarna różnymi metodami w zależności od ilości ziarna zbieranego w gospodarstwie

trzem nieogrzewanym lub lekko podgrzany (np. przy użyciu kolektora słonecznego).

Podsumowanie i wnioski

Przy niesprzyjających warunkach pogody i kombajnowym zbiorze ziarna uniknięcie strat jest możliwe głównie poprzez suszenie gorącym powietrzem. Jest to jednak zabieg energochłonny: obniżenie wilgotności 1 t ziarna od 20 do 14% wymaga około 380 MJ [94]. Zmniejszenie energochłonności suszenia ziarna uwarunkowane szeregiem czynników technicznych i technologicznych jest rozpatrywane w większości prac badawczych.

Wśród konstruowanych obecnie suszarń do ziarna przeważają przepływowe suszarnie kolumnowo-daszkowe (o mieszanym współprądowo-przeciwprądowym przepływie) oraz suszarnie kolumnowe z przepływem skrzyżowanym. Są to głównie konstrukcje stacjonarne, choć niektóre firmy zachodnie produkują także suszarnie przewoźne [97] o niewielkich przepustowościach (2—10 t/h), przeznaczone dla farmerów.

Szereg autorów interesuje się rozproszaniem czynnika suszącego (powietrza) w warstwie ziarna, od czego zależy równomierność nagrzania i wysuszenia ziarna. Korzystne efekty uzyskano stosując zmienny kierunek przepływu powietrza przez warstwę. Zajmowano się także wpływem geometrii kanałów daszkowych na efektywność procesu suszenia [7, 67] i mieszanie ziarna. W suszarniach wsadowych badano zastosowanie mieszadeł mechanicznych.

Oszczędności energetyczne sięgające 22—40% umożliwia recyrkulacja i odzysk części ciepła z powietrza wylotowego z suszarni i komory chłodzenia ziarna. Stosowana jest również recyrkulacja części wysuszonego ziarna, dająca korzystne rezultaty szczególnie przy suszeniu materiału o wysokiej wilgotności; oprócz oszczędności energetycznych uzyskuje się lepsze wskaźniki jakościowe ziarna.

Suszenie w wyższych temperaturach przebiega szybciej i przy mniejszych jednostkowych nakładach energii. Ograniczenie stanowi stopień nagrzania i możliwość obniżenia jakości ziarna. Jako kryteria uszkodzeń termicznych w czasie suszenia przyjmuje się dla ziarna siewnego i konsumpcyjnego zachowanie żywotności (zdolności kiełkowania), dla ziarna paszowego — ubytek lizyny w białku. Z przeprowadzonych studiów wynika potrzeba zweryfikowania obowiązujących dotychczas dopuszczalnych temperatur nagrzania ziarna, zarówno siewnego i konsumpcyjnego, jak paszowego [60].

Współczesne suszarnie do ziarna opalane są głównie paliwem ciekłym lub gazowym, co ułatwia automatyzację pracy tych urządzeń; bywa używane wszakże i paliwo stałe. Oprócz paliw tradycyjnych zwraca się uwagę na praktyczne możliwości stosowania lokalnych nośników energii, np. biomasy (słoma, drewno) z podaniem odpowiednich rozwiązań technicznych.

Przy bezpośrednim suszeniu gazami spalinowymi — ze względu na emisję produktów niepełnego spalania, w tym substancji kancerogennych osadzających się w ziarnie — wyniki badań wykluczają stosowanie paliw stałych. Za dopuszczalne uznaje się natomiast suszenie spalinami z paliw gazowych i paliw płynnych spalanych w palnikach o niebieskim płomieniu. Użycie paliw stałych przy suszeniu bezpośrednim może stwarzać zagrożenie pożarowe. Zwraca się także uwagę na dopuszczalną wielkość

emisji pyłów zanieczyszczających środowisko i konieczność stosowania urządzeń odpylających.

Automatyczna regulacja nastawia parametry pracy suszarni zapewniające utrzymanie jakości suszonego materiału przy minimalnych nakładach energetycznych. Na ogół punktem odniesienia jest wilgotność końcowa i temperatura nagrzania suszonego materiału. Znane są różne układy automatycznego sterowania, m.in. oparte na mikroprocesorach, które gromadzą w pamięci programy (receptury) suszenia różnych gatunków ziarna i nasion.

Podkreśla się jednak znaczny koszt mikroprocesorów, co obecnie ogranicza ich szersze zastosowanie w praktyce.

Zwraca się uwagę na wymagania dotyczące schładzanie ziarna po suszeniu i rozwiązania systemów chłodzenia z możliwością recyrkulacji podgrzanego w chłodnicy powietrza. Istotne oszczędności energetyczne wiąże się z metodą „dryeration”, w której nagrzane podczas suszenia ziarno jest schładzane przez wentylację po upływie kilkunastu godzin.

W badaniach kanadyjskich [70, 85] do suszenia ziarna wykorzystano jako czynnik suszący ośrodek stały — nagrzany piasek. Przy wysokich współczynnikach kontaktowej wymiany ciepła uzyskano znaczne zwiększenie intensywności suszenia, obniżając wilgotność ziarna kukurydzy o 3,4% w ciągu 30 sekund. To oryginalne rozwiązanie wprowadzone w skali półtechnicznej zasługuje na uwagę.

Większość współczesnych prac badawczych z zakresu suszenia ziarna i nasion opiera się na modelowaniu matematycznym i symulacji komputerowej. Sformułowano modele matematyczne opisujące m.in. procesy wymiany masy i ciepła w suszarniach różnych typów, opracowano model pozwalający dobierać główne parametry pracy suszarni oraz model optymalizujący pod względem technicznym i ekonomicznym dobór urządzeń i system suszenia ziarna w gospodarstwie. Prowadzono eksperymenty symulacyjne optymalizujące proces pod względem energetycznym oraz określające efektywność automatycznego sterowania. Technika komputerowa stanowi narzędzie badawcze szczególnie przydatne w odniesieniu do suszenia ziarna zbóż.

W porównaniu z suszeniem termicznym inne znane [94, 96] metody jak konserwowanie środkami chemicznymi, przechowywanie w niskiej temperaturze lub atmosferze beztlenowej — są ograniczone przeznaczeniem ziarna (siewne, konsumpcyjne, przemysłowe, paszowe) a także dostępnością środków technicznych. O ich zastosowaniu decydują warunki ekonomiczne. Przy sprzyjających warunkach atmosferycznych metodą konkurencyjną — zwłaszcza w gospodarstwach drobnotowarowych — może być przewietrzanie ziarna powietrzem nieogrzany lub lekko podgrzany.

LITERATURA

1. Anderson R.J.: ASAE Paper 72-846, St. Joseph, Mich. 1972.
2. Awdiejew A.W.: Opieredelenije aerodinamičeskich koefficientow soprotiwlenija gazoraspredeleitelej zernosušilnych ustanowok. (Perspektiwy razwitija i powyšeniya techničeskogo urownija mašin dla uborki i posleuboročnoj obrabotki zerna), Moskwa, 1986 (91—102).
3. Babaew O.B. i in.: Technika w Selskom Chozjajstwie, nr 2, 1986 (49—50).
4. Barry J.L.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 1, 1985 (1—29).
5. Bauer W.W. i in.: ASAE Paper 77-319, St. Joseph, Mich. 1977.
6. Bakker-Arkema F.W. i in.: ASAE Paper 77-3527, St. Joseph, Mich. 1977.
7. Baum A.E., Režčikow W.A.: Suška zerna. Moskwa, Kołos, 1983.
8. Beggel H.: Die Trocknung von Getreide unter speziellen Bedingungen. Die Mühle und Mischfuttertechnik, nr 24, 1987.
9. Bridges T. i in.: Transactions ASAE, nr 1, (228—232), 1980.
10. British Standards Institution: Methods of test for agricultural grain driers. BSI 3986, 1966.
11. Buraczewska L., Szamrej R.: Przegląd Hodowlany, nr 11, 1984 (37—39).
12. Bruce D.M.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 4, 1985 (337—347).
13. Cimbria Unigrain Ltd.: Moisture and heat balances for standard drier AE-8 and air recirculation drier SAE-9. Thisted, 1980 (materiały firmowe).
14. CNEEMA Report 1856: Official test of the LAW SCI-109 continuous-flow grain drier. Antony, 1975.
15. CNEEMA Report nr 2588: Official test on continuous grain drier FAO GD170E. Antony, 1978.
16. CNEEMA Report nr 2688: Official test of LAW SCE-112S continuous grain drier, with heat economiser. Antony, 1979.
17. Cenkowski S.: Matematyczne modelowanie suszenia ziarna w komorze suszarki komorowo-daszkowej. Materiały z V Sympozjum Suszarnictwa (II), Wrocław 1984.
18. Cenkowski S., Krupa A.: Optymalizacja procesu suszenia w suszarce kolumnowo-grawitacyjnej pod względem zużycia energii. Materiały z V Sympozjum Suszarnictwa (II), Wrocław, 1984.
19. Dmytrów E.: Nowe Rolnictwo, nr 7/8, 9, 10, 1985.
20. Dawila S. i in.: Transactions ASAE, nr 6, 1983 (1842—1848).
21. Do-Sup Chung, Chong-Ho Lee: ACJAR Proceedings, nr 15, 1986 (53—66).
22. Fritz W.: Die Nahrung, nr 1, (83—87), 1974.
23. Fokanow A.M.: Sbornik Naučnych Trudow WIM, t. 112, Moskwa 1987 (98—113).
24. Górniak W. i in.: Przystosowanie suszarki DSP32OT (prod. ZSRR) do recyrkulacyjnego suszenia ziarna. CLTPPZ, Warszawa 1982 (maszynopis).
25. Górniak W. i in.: Przystosowanie wybranych typów suszarek zbożowych do recyrkulacyjnego suszenia ziarna (LSO-40 i SD 20/40). CLTPPZ, Warszawa 1984 (maszynopis).

26. Górniak W., Jasińska M.: Opracowanie koncepcji technicznej i wprowadzenie nagrzewnic parowych w suszarkach zbożowych DSP 32 OT i LSO 40/50. CLTPPZ, Warszawa 1984 (maszynopis).
27. Górniak W.: Przemysł Zbożowo-Młynarski, nr 11—12, 1985 (20—24).
28. Górniak W., Kruglak D.: Ocena suszarek zbożowych typu M-840. CLTPPZ, Warszawa 1987 (maszynopis).
29. Gołubkowič A.W., Cižikow A.G.: Sbornik Naučnych Trudow WIM, t. 112, Moskwa 1987 (80—92).
30. Gołubkowič A.W.: Sbornik Naučnych Trudow WIM, t. 112, Moskwa 1987 (93—98).
31. Ghaly T.F. i in.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 3, 1974 (289—298).
32. Górniak W. i in.: Opracowanie linii technologicznej suszenia ziarna metodą skojarzenia pracy suszarki z urządzeniem aktywnego wietrzenia. CLTPPZ, Warszawa, 1981 (maszynopis).
33. Ghaly T.F., Sutherland J.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 4, 1984 (337—345).
34. Gromow A.: Traktory i Selchozmašiny, nr 8, 1982 (20—22).
35. Górniak W.: Zmniejszenie energochłonności suszarek zbożowych przez stosowanie recyrkulacji ziarna. Materiały z V Sympozjum Suszarnictwa (III). Wrocław 1984 (518—527).
36. Hall G.E., Anderson R.J.: Batch international recycling drier. ASAE Paper 80-3515. St. Joseph, Mich, 1980.
37. Hutt W. i in.: Canadian Agricultural Engineering nr 2, (103—107) 1978.
38. Hutt W., Oelschlager W.: Grundlagen der Landtechnik, nr 4, (134—140) 1976.
39. Hunter A.J.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 2, (93—105) 1987.
40. Jayas D.S. i in.: Canadian Agricultural Engineering, nr 2, (189—192) 1987.
41. Kulik T.: Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 287, Warszawa (345—362) 1984.
42. Kolesow L.W., Grisin E.F.: Mechanizacija i Elektrifikacija Selskogo Chozajstwa, nr 1, (11—15) 1981.
43. Kato K.: Research Report on Agricultural Machinery, nr 15, (62—76) Kyoto 1985.
44. Loëwer O. i in.: Transactions ASAE, nr 2 (603—608) 1984.
45. Lykow C.: Selskostopanska Technika, nr 3, (93—98) 1988.
46. Martin C. i in.: Transactions ASAE, nr 4, (1319—1329) 1985
47. Marchant J.A.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 4, (417—429) 1976.
48. Marchant J.A.: The Agricultural Engineer, nr 4, (145—149) 1985.
49. Marshall J.: Power Farming, nr 3, (17—25) 1983.
50. Miller P., Whitefield R.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 4, (373—380) 1984.
51. Morey R.V., Huizen L.I.: Transactions ASAE, nr 6, (1924—1928) 1984.
52. Mühlbauer W.: Energy in Agriculture, nr 2, (121—137) 1986.

53. Mühlbauer W.: Landtechnik, nr 1, (30—33) 1988.
54. Mühlbauer W.: Agrartechnik, nr 5, (56—59) 1986
55. Mühlbauer W. i in.: Grundlagen der Landtechnik, nr 4, (131—140) 1979.
56. Mühlbauer W.: Grundlagen der Landtechnik, nr 1, (1—5) 1971.
57. Mühlbauer W., Christ W.: Grundlagen der Landtechnik, nr 5, (161—164) 1974.
58. Nellist M.E.: NIAE Report nr 29, Silsoe 1978.
59. Nellist M.E.: The Agricultural Engineer, nr 3, (74—80) 1982.
60. Nellist M.E.: Seed Science and Technology, nr 9, (439—455) 1981.
61. Nellist M.E.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 1, (43—57) 1987.
62. Newekin S.L., Kibarowa M.: Naučni Trudowe, WTU Ruse, t. 23, ser. 10, (171—178) 1981.
63. Nowakowski Z. i in.: Sterowanie procesem suszenia w suszarkach daszkowych. Materiały z V Sympozjum Suszarnictwa (II), Wrocław 1984.
64. NIAE Test Reports on grain driers: nr 138, 1956; nr 254, 1960; nr 313, 1962; nr 314, 1962; nr 343, 1962; nr 360, 1963; nr 414, 1964; nr 570, 1967.
65. Otten L. i in.: Canadian Agricultural Engineering, nr 2, (163—170), 1980.
66. Pawlica R.: Zemedelska Technika, nr 5, (285—286) 1985.
67. Pawlica R.: Zemedelska Technika, nr 12, (717—727) 1986.
68. Pawlica R.: Mechanizace Zemedelstvi, nr 6, (248—252) 1986.
69. Peroń S., Zdrojewski Z.: Wykorzystanie ciepła przewodzonego przez rurę gazów odlotowych suszarki bębnowej do suszenia ziarna. IMR-AR Wrocław, 1987 (maszynopis).
70. Pannu K.S., Raghavan G.S.V.: Canadian Agricultural Engineering, nr 1, (34—43) 1987.
71. Prevention incendies-explosions dans les installations de sechage de grains. Motorisation et Technique Agricole, nr 61, (58—61) 1984.
72. Pawlica R.: Zemedelska Technika, nr 12, (719—729) 1985.
73. Pichotte J.L.: Bulletin d'Information du CNEEMA, nr 196, (337—347) 1974.
74. Rownyj A.W. i in.: Issledowanie gazoraspredelenija w korobkach śachtnych zernosušilok. Perspektywy razwitija i powyšeniija techničeskogo urownija mašin dla uborki i posleuboročnoj obrabotki zerna. Moskwa, (102—110) 1986.
75. Roszkowski A.: Czy spalać słomę? Mechanizacja Rolnictwa, nr 10, (17—20) 1988.
76. Scott D.W.: ASAE Paper 80-103, St. Joseph, Mich. 1980.
77. Stevens G.R., Thompson T.L.: Transactions ASAE, nr 4, (778—781) 1976.
78. SPHR Agroma: Informator 1986/87. Warszawa, 1986.
79. Strutyńska K. i in.: Poprawa wskaźników eksploatacyjnych krajowych suszarek zbożowych. CLTPPZ, Warszawa 1987 (maszynopis).
80. Strutyńska K.: Opracowanie koncepcji techniczno-technologicznej recyrkulacji czynnika suszącego w wytypowanych suszarkach. CLTPPZ, Warszawa 1984 (maszynopis).
81. Seyedin N. i in.: Canadian Journal of Plant Science, nr 3, (497—504) 1984.

82. System Maszyn Rolniczych. Cz. 6: Przemysłowe przygotowanie pasz. IBMER, Warszawa 1988.
83. Sokhansanj S. i in.: Transactions ASAE, nr 3, (837—839) 1986.
84. Tessier S., Raghavan G.S.V.: Transactions ASAE, nr 4, (1233—1238) 1984.
85. Tessier S., Raghavan G.S.V.: Transactions ASAE, nr 4, (1227—1232), 1984.
86. Wilcke W.F., Bern C.J.: Transactions ASAE, nr 3, (854—859) 1986.
87. Wilcke W.F., Bern C.J.: Transactions ASAE, nr 3, (860—867), 1986.
88. Walton L.R. i in.: Transactions ASAE, nr 1, (279—284), 1988.
89. Wimberly J., Sistler F.E.: Transactions ASAE, nr 6, (1905—1910), 1984.
90. Whitefield R.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 3, (171—178), 1986.
91. Waszkiewicz C.: Roczniki Nauk Rolniczych, ser. C, nr 1, (107—114; 115—125; 127—139), 1988.
92. Yamashita R., Goto K.: Research Report on Agricultural Machinery Kyoto, nr 13, (53—63). 1984.
93. Zelenko W.: Mechanizacja i Elektryfikacja Selskiego Chojajstwa, nr 1, (32—35), 1986.
94. Dmytrów E.: Nowe technologie konserwacji ziarna. Studium wstępne. PIMR Poznań, 1988 (maszynopis).
95. Ratschow J.P.: DLG Mitteilungen, nr 14, (738—739), 1988.
96. Rothkaehl J. i in.: Opracowanie optymalnych metod konserwacji ziarna o wysokiej wilgotności w magazynach zbożowych. CLTPPZ Warszawa, 1987 (maszynopis).
97. Wilcher A.D.: The Agricultural Engineer, nr 3, (81), 1982.

Materiały nadesłano do redakcji w marcu 1989 r.

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO ROLNICZE I LEŚNE
POLECA

DIETMAR LOCHNER

JAK ZBUDOWAĆ DOMEK NA DZIAŁCE

WARSZAWA, 1990 R., NAKŁAD 50 000 EGZ., STRON 148, CENA ŻŁ 16 000,—

Nabywanie i zagospodarowanie działek rekreacyjnych stanowi stale aktualne zagadnienie jako element spędzania wolnego czasu. Budowa altanki czy domku to problem, z którym nie jeden działkowicz nie może sobie poradzić. Niniejsza publikacja ułatwia rozwiązanie tych problemów. W książce jest wiele cennych rad dla majsterkowiczów. Czytelnicy znajdą odpowiedź jak zbudować domek od fundamentów, konstrukcji nośnej do wyposażenia. Autor podkreśla wprost lecznicze działanie domku na działce, choćby działkowicz przebywał w nim niewiele dni w roku.

Cenne rysunki wzbogacają publikację i decydują o większym zrozumieniu zawartego materiału.

W pierwszym rozdziale podano typy budynków, materiały, z których zbudowane są domki oraz narzędzia konieczne i niezbędne przy wykonaniu prac. W tej części podano poszczególne etapy budowy domku. Autor dzieli całość wykonanych prac przy budowie domku na osiem etapów.

Dalej Autor przedstawia budowę fundamentu, który może być betonowy lub ceglany. Następnie podano różne systemy konstrukcyjne (różne rodzaje wiązarów).

Dach nadaje kształt pomieszczeniom oraz chroni przed czynnikami zewnętrznymi, dlatego rodzaj dachu w decydujący sposób wpływa na wygląd domku. Scharakteryzowano rodzaje dachów i ich pokrycie oraz zabezpieczenie i wentylację.

Następnie Autor omawia prace wykończeniowe wewnątrz budynku. Układanie podłogi, ściany okna i wywietrzniki, drzwi, schody i balustrady.

Publikację kończą informacje na temat wykonania instalacji domowych, które decydują o pełnej funkcjonalności domku. Autor udziela wskazówek dotyczących instalacji elektrycznych, sanitarnych i ogrzewczych. Ilustrując rysunkami podano kilka typów domków rekreacyjnych i działkowych. Ta wyjątkowo cenna książka jest już do nabycia w „Domach Książki”.

Publikacja jest tłumaczeniem z języka niemieckiego z serii „Wiedza fachowa dla majsterkowiczów”.