

ZASTOSOWANIE PROCESU FLUIDYZACJI DO SUSZENIA ZIARN ZBÓŻ W SKALI PRZEMYSŁOWEJ

JAN PABIS

Instytut Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa — Warszawa

W związku z coraz bardziej rozwijającą się w kraju mechanizacją zbioru zbóż oraz rosnącymi potrzebami w zakresie suszenia ziarn zbóż, zachodzi potrzeba wprowadzenia do rolnictwa nowoczesnego typu suszarni przeznaczonych głównie dla gospodarstw rolnych.

Zakład Suszarnictwa Płodów Rolnych IMER opracował w roku 1958 dokumentację i prototyp suszarni fluidyzacyjnej do suszenia ziarna zbóż w oparciu o badania laboratoryjne i półtechniczne przeprowadzone w Katedrze Inżynierii Chemicznej Politechniki Warszawskiej przez zespół pracowników naukowych pod kierunkiem prof. dr J. Ciborowskiego.

Po zbadaniu prototypu w roku 1958, na którym uzyskano zadowalające wyniki opracowano w roku 1959 założenia wstępne do projektu suszarni, której prototyp w ilości 2 sztuk został wykonany przez Inowrocławską Fabrykę Sprzętu Rolniczego. Jeden egzemplarz przebadano w Stacji Doświadczalnej IMER w Kłudzienku, a drugi w Stacji Doświadczalnej IMER w Strzeszynie k. Poznania.

Proces fluidyzacji, który został szczegółowo przedstawiony w pracy prof. dr J. Ciborowskiego pt.: Fluidyzacja PWT Warszawa 1957 oraz w artykule Przemysł Spożywczy nr 11 str. 247—253/1957, polega ogólnie biorąc, na ruchu cząsteczek ziarnistego materiału pod wpływem odpowiednio dobranej prędkości przepływu gazu przez warstwę tego materiału.

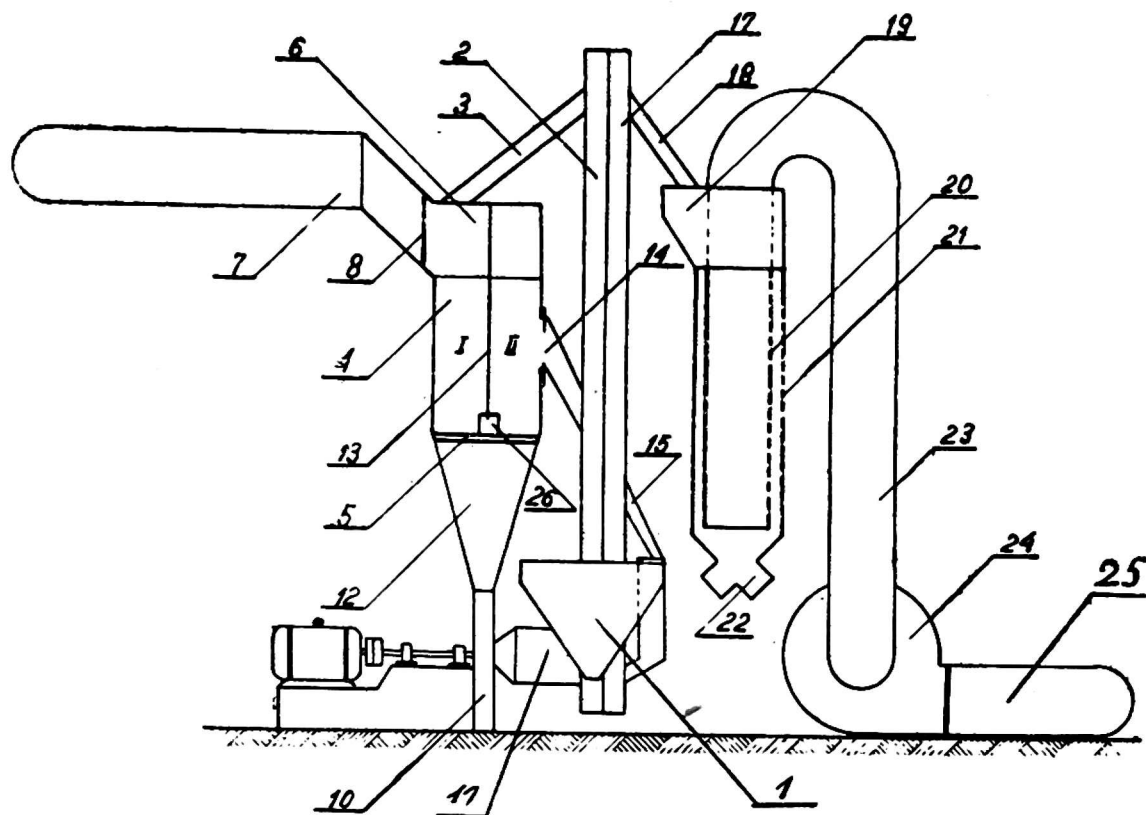
Z punktu widzenia techniki suszenia ziarn zbóż, olbrzymie znaczenie posiada fakt prawie jednakowej temperatury suszonego materiału w całej warstwie oraz znaczne zwiększenie współczynnika wymiany ciepła i masy między fazą stałą i gazową.

Z punktu widzenia ekonomicznego duże znaczenie ma mniejszy jednostkowy koszt budowy suszarni fluidyzacyjnej, zaś dla eksploatacji suszarni ważna jest prosta jej obsługa w porównaniu do innych typów suszarni do ziarna.

Schemat prototypu suszarni fluidyzacyjnej pokazano na rys. 1.

Ziarno wilgotne z kosza zasypowego 1 dostaje się za pomocą podnośnika kbelkowego 2 i rynny zsykowej 3 do komory suszenia 4. Komora posiada

dno sitowe 5, a od góry zamknięta jest cylindryczną pokrywą 6 połączoną z przewodem rurowym 7 wylotu gazów z warstwy suszonego ziarna. W przewodzie rurowym 7 znajduje się ruchomo nastawne sito 8 mające za zadanie zatrzymywanie ziarn unoszonych w górę cylindra przy zbyt intensywnej cyrkulacji ziarna w komorze suszenia.



Rys. 1. Schemat prototypu suszarni fluidyzacyjnej SFZ-6
Outline of the prototype Fluidisation drier SFZ-6

W piecu 9 spalane jest paliwo stałe (koks). Tu następuje również mieszanie gazów spalinowych z powietrzem, tworząc w ten sposób gaz suszący, który zostaje zasysany przez wentylator 10 z przewodu 11 i tłoczony do dyfuzora 12, stąd dostaje się do komory suszenia 4. Komora suszenia przedzielona jest przegrodą 13 na dwie części I i II.

Ziarno w fluidyzowanej warstwie przedostaje się na podobieństwo cieczy w naczyniach połączonych z przegrody I do przegrody II, ulegając w tym czasie intensywnemu mieszaniu. Ziarno po wypełnieniu części II komory do wysokości otworu wylotowego 14 o regulowanej szczelinie wysypuje się tym otworem i przewodem 15 do kosza zasypowego 16 podnośnika kbelkowego 17. Z podnośnika ziarno zsypuje się rynną 18 do kosza zasypowego chłodnicy 19. Chłodnica składa się z dwu dzielonych cylindrów sitowych, wewnętrznego 20 zamkniętego od spodu blaszanym dnem i zewnętrznego 21 zakończonego od góry koszem zasypowym 19. W czasie chłodzenia ziarno z kosza zasypowego chłodnicy zsypuje się między cylindrami sitowymi do rozdzielacza dwudrogowego 22, pod którym następuje workowanie wysuszonego ziarna.

Ponieważ wewnętrzny cylinder sitowy jest zarazem końcówką ssącą wentylatora chłodnicy, chłodzenie ziarna odbywa się skrzyżowanym stru-

mieniem powietrza, które przepływa poprzez warstwę zsypującego się ziarna między cylindrami 20 i 21 oraz przewodem 23 zasysane jest przez wentylator 24, a następnie przewodem rurowym 25 tłoczone na zewnątrz pomieszczenia.

Po zakończeniu suszenia pozostaje w komorze 4 pewna ilość ziarna, którą wygarnia się otworem 26.

Badania pierwszego prototypu suszarni wykonanego w IMER przeprowadzono przy suszeniu pszenicy, rzepaku i mieszanki (wyka z owsem). Ogółem przeprowadzono ok. 500 pomiarów susząc ok. 45 ton ziarna.

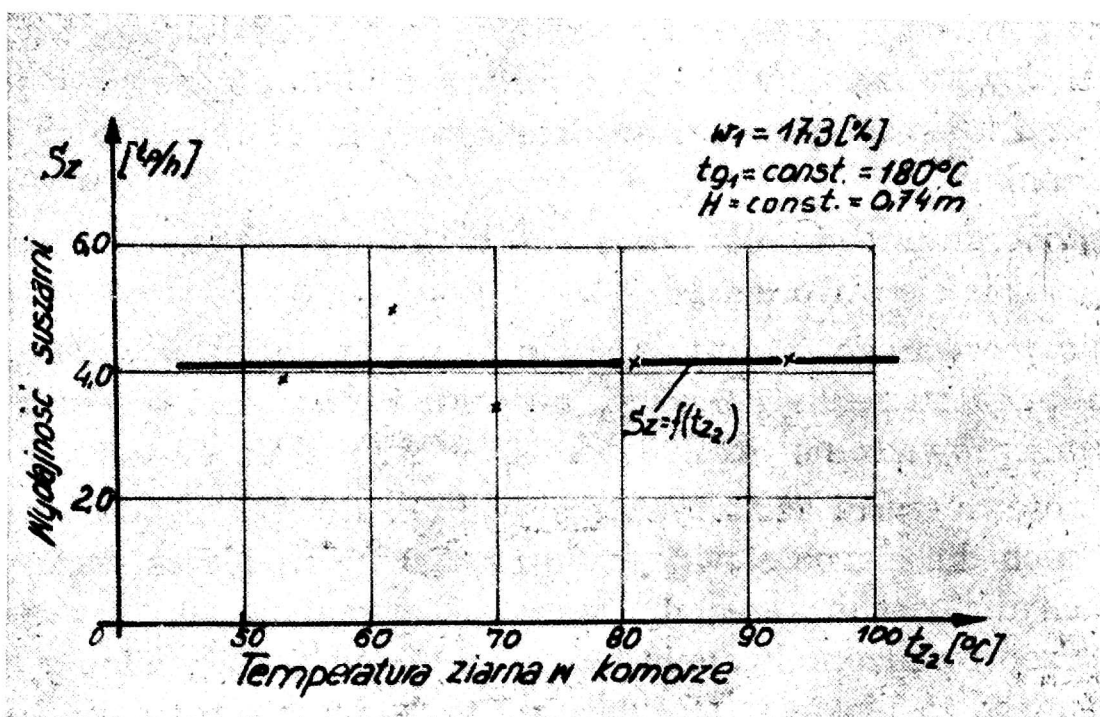
Wydajność suszarni kształtowała się od ok. 1,0 tp/h podczas warunków odpowiednich dla ziarna siewnego do ok. 3,0 tp/h podczas warunków odpowiednich dla ziarna konsumpcyjnego. Z uwagi na to, że materiał, na którym przeprowadzono badania był już dość suchy, uzyskane wydajności są raczej nieco za niskie w stosunku do tych, jakie otrzymano by, gdyby ziarno było o takiej wilgotności jak się przeważnie w czasie zbiorów spotyka. Ze względu na stosowany w czasie badań nietypowy piec nie badano zużycia opału na suszenie oraz kosztów suszenia.

Prototyp fabryczny suszarni fluidyzacyjnej SFZ-6 zbudowany wg założeń Zakładu Suszarnictwa IMER i Katedry Inżynierii Chemicznej Politechniki Warszawskiej został przebadany w roku 1959. Ogółem w czasie badań przesuszono 80 ton żyta i pszenicy wykonując ok. 450 pomiarów. Niektóre wyniki pomiarów zestawiono w tabeli I i II. Odnoszą się one do badań laboratoryjnych, w czasie których pobrano próbki na określenie wartości technologicznych i biologicznych wysuszonego materiału.

Badania prowadzono wg następującego programu:

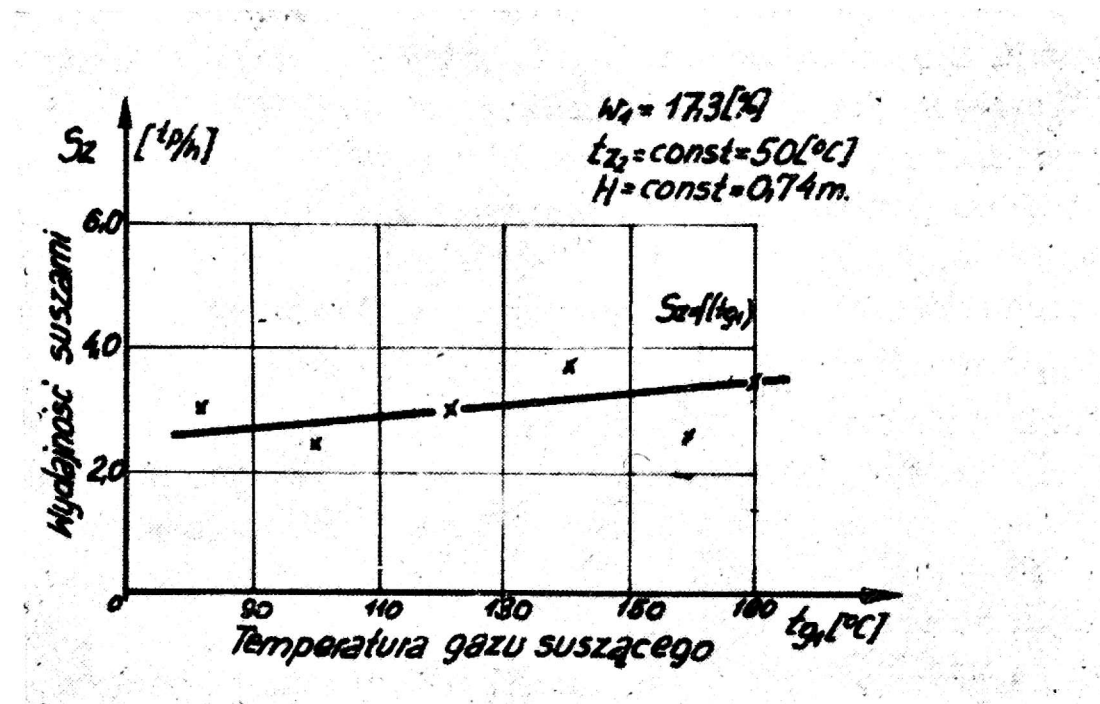
1. Badania eksploatacyjne wykonano susząc ziarno w temperaturze gazu suszącego zmieniającej się w zakresie od ok. 80—200° C przy zmianach temperatury warstwy ziarna w komorze suszenia od ok. $t_{z_2} = 50—90^{\circ} \text{C}$ oraz zmiennych wysokościach warstwy ziarna od ok. 0,515 m do ok. $H = 0,740$ m.
2. Badania laboratoryjne wykonano susząc w stałej temperaturze gazu suszącego $t_{g_1} = 160^{\circ} \text{C}$, stałej temperaturze warstwy ziarna $t_{z_2} = 60^{\circ} \text{C}$, a zmiennej grubości warstwy ziarna od $H = 0,425$ do $H = 0,740$ m. Grubość warstwy zmieniano co 5,0 cm.
3. Susząc przy stałej grubości warstwy ziarna $H = 0,740$ m, stałej temperaturze ziarna $t_{z_2} = 50^{\circ} \text{C}$, a zmiennej temperaturze gazu suszącego od ok. $t_{g_1} = 80^{\circ} \text{C}$ do $t_{g_1} = 180^{\circ} \text{C}$, zmieniając co 10° C.
4. Susząc przy stałej temperaturze gazu suszącego $t_{g_1} = 180^{\circ} \text{C}$, a zmiennej temperaturze warstwy ziarna od ok. $t_{z_2} = 50$ do $t_{z_2} = 100^{\circ} \text{C}$ przy stałej grub. warstwy ziarna.

Na podstawie wyników otrzymanych w czasie badań laboratoryjnych sporządzono wykresy rys. 2, 3 i 4.



Rys. 2. Wydajność suszarni w zależności od temperatury ziarna w komorze

Dependence of drier output on grain temperature in the drier chamber



Rys. 3. Wydajność suszarni w zależności od temperatury gazu suszącego

Dependence of drier output on drying gas temperature

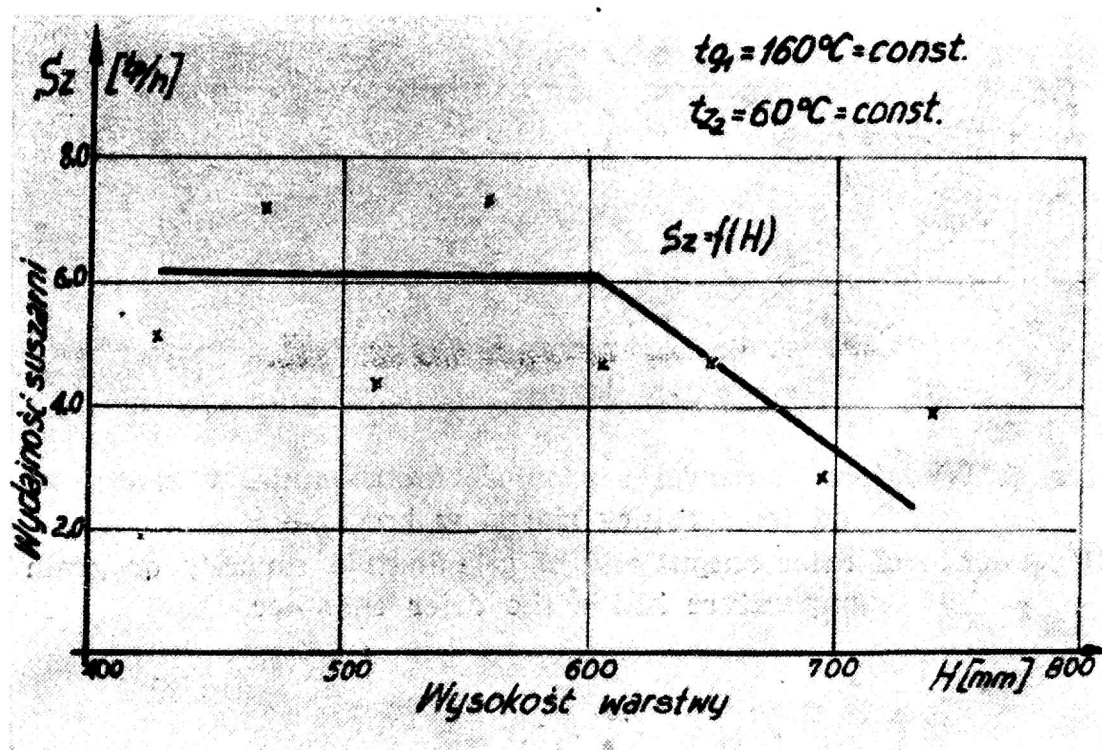
Z wykresu 2 widać, że przy stałej temperaturze gazu suszącego, a zmiennej temperaturze suszonego ziarna wydajność suszarni praktycznie nie zmienia się.

Natomiast przy stałej temperaturze ziarna, a zmiennej temperaturze gazu suszącego (wykres rys. 3) wydajność suszarni zmienia się, jednak w niezbyt dużym zakresie.

Na wykry. rys. 4 przedstawiono zależność między wydajnością suszarni, a grubością warstwy ziarna przy stałej temperaturze gazu suszącego i sta-

łej temperaturze warstwy ziarna. Z przebiegu krzywej widać, że w miarę wzrostu grubości warstwy ziarna do $H = 0,6$ m, wydajność suszarni nie zmienia się. Natomiast przy dalszym wzroście grubości warstwy wydajność wyraźnie maleje.

Podczas badań laboratoryjnych pobierano po wysuszeniu próbki ziarna w celu oznaczenia jego wartości technologicznych w porównaniu do ziarna suszonego bardzo powoli w suszarni laboratoryjnej w temperaturze 30°C .



Rys. 4. Wydajność suszarni w zależności od zmiany grubości warstwy ziarna

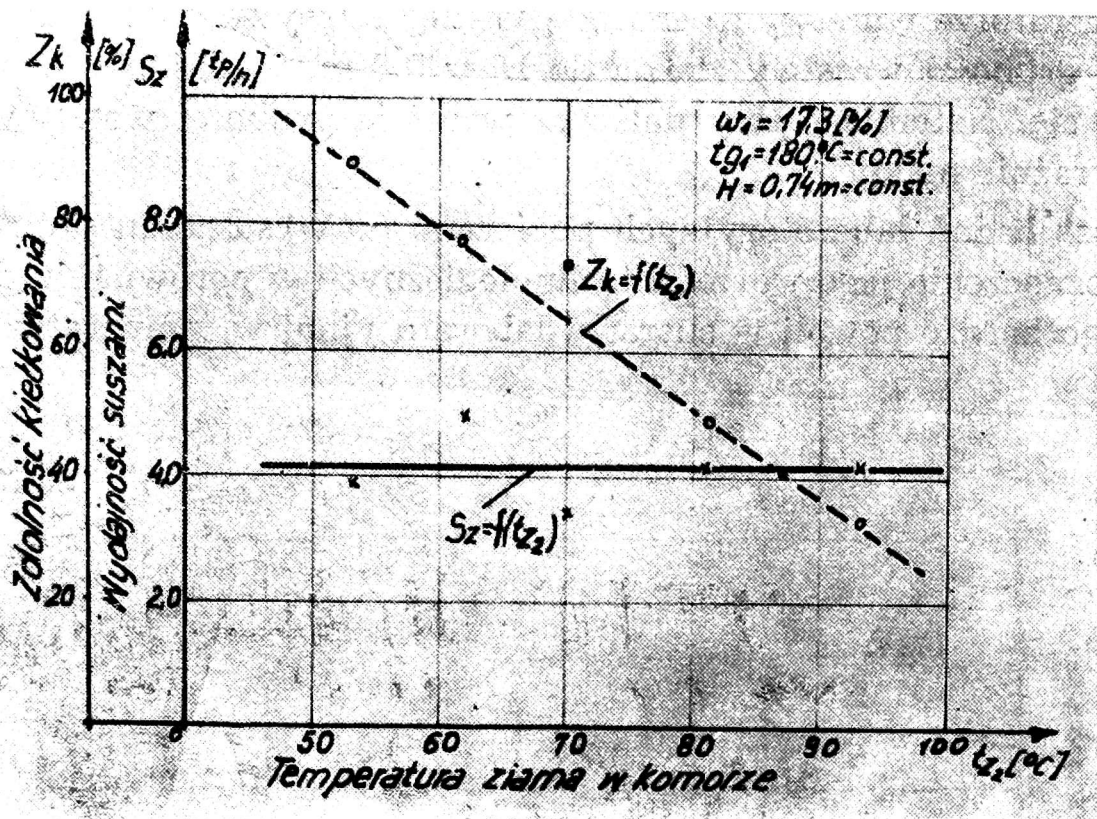
Dependence of drier output on change of thickness of grain layer

Ocena technologiczna ziarna została przeprowadzona przez pracowników Katedry Technologii Zbóż WSR w Poznaniu pod kierunkiem doc. dr St. Jankowskiego oraz w Centralnym Laboratorium Technologii Przetwórstwa i Przechowalnictwa Zbóż w Warszawie przez mgr. inż. Jana Łysaka i mgr Danutę Dębczyńską.

Wyniki oceny technologicznej wykonane w Poznaniu i Warszawie można uznać za zgodne.

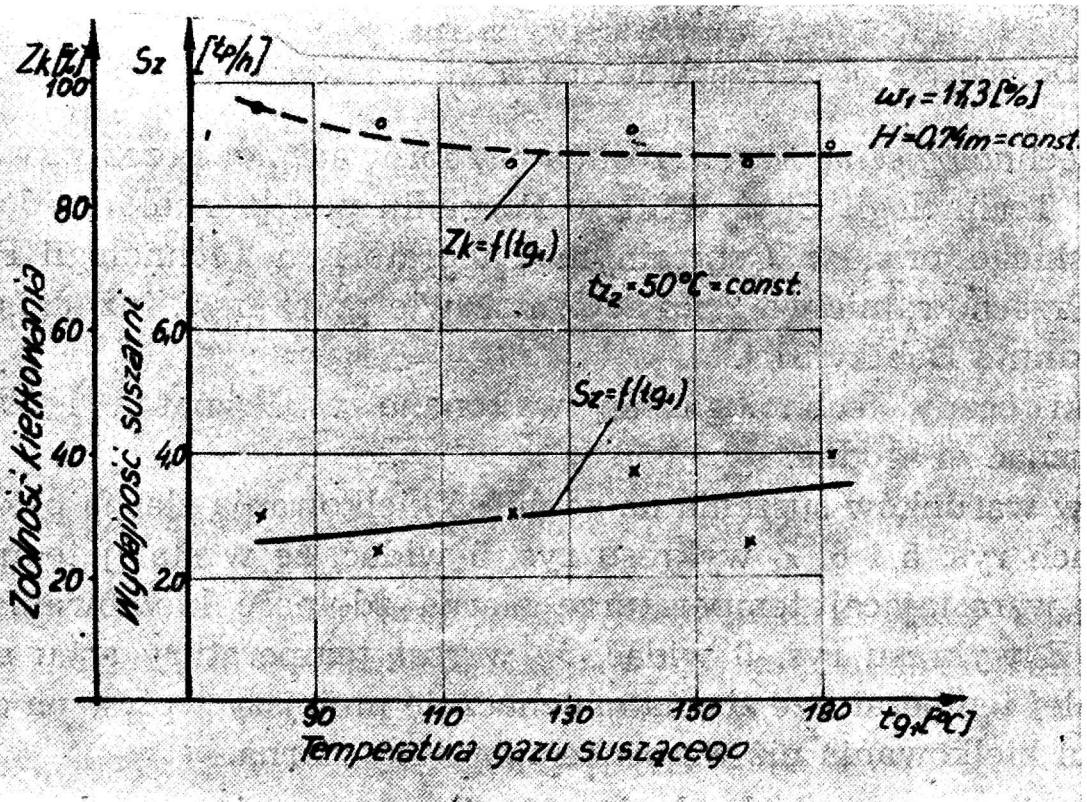
Wpływ warunków suszenia na zdolność kiełkowania ziarna pokazano na wykresach rys. 5 i 6. Z wykresu rys. 5 widać, że w stałej temperaturze gazu, a wzrastającej temperaturze ziarna zdolność kiełkowania szybko maleje. Z wykresu rys. 6 widać, że wzrost temperatury gazu suszącego przy stałej temperaturze ziarna ma znacznie mniejszy wpływ na obniżenie zdolności kiełkowania niż wzrost temperatury ziarna.

W wyniku oceny technologicznej ziarna pszenicy spadek zdolności kiełkowania zaznaczył się dopiero po przekroczeniu temperatury warstwy ziarna $t_{z_2} = 50^{\circ}\text{C}$ przy temperaturze gazu suszącego $t_{g_1} = 180^{\circ}\text{C}$ (wykres rys. 6). Natomiast nie zaobserwowano ujemnego wpływu wzrastającej od



Rys. 5. Wydajność suszarni i zdolność kiełkowania w zależności od temperatury ziarna w komorze

Dependence of drier output and of germination capacity on grain temperature inside the drier chamber



Rys. 6. Wydajność suszarni i zdolność kiełkowania w zależności od temperatury gazu suszącego

Dependence of drier output and of germination capacity on drying gas temperature

Tabela 1

Lp.	Rodzaj mater.	Efekt. czas pracy Θ_e min	Czas ekspoz. Θ min	Temp. otocz. t_{po} °C	Temp. gazu na włoc. do kom. susz. t_{g1} °C	Temp. ziarna na włoc. do kom. susz. t_{z1} °C	Temp. ziarna w kom. susz. t_{z2} °C	Temp. gazu susz. na wylocie z komory t_{g2} °C	Wysok. warstwy fluid. H m	Zasil. mater. M_1 kg/h	Średnia wilg. ziarna		Ubytek wilg. Δw %	Wydajn. suszarni w tp S_z tp/h	Uwagi
											pocz.	końc.			
											w_1 %	w_2 %			
1	pszenica	14'40''	10'10''	16,6	81,7	19,3	40,4	45,4	0,740	1315	18,1	15,8	2,5	3,0	
2	"	24'20''	9'58''	19,7	99,5	19,3	52,2	47,7	0,740	1330	17,3	15,5	1,7	2,4	
3	"	15'00''	6'09''	20,2	121,0	19,4	54,3	45,7	0,740	2160	17,0	15,6	1,4	3,0	
4	"	12'10''	5'00''	20,6	140,0	19,1	51,8	48,3	0,740	2660	17,0	15,6	1,5	3,7	
5	"	10'30''	4'18''	21,4	158,5	19,6	51,5	48,0	0,740	3090	17,2	16,4	0,8	2,5	
6	"	9'50''	4'00''	22,8	181,5	19,3	53,7	50,6	0,740	3500	17,7	16,5	1,2	3,9	
7	"	15'00''	6'06''	23,5	181,0	19,3	62,0	58,0	0,740	2180	17,7	15,4	2,3	5,0	
8	"	19'00''	7'48''	24,1	183,0	19,1	70,0	64,2	0,740	1710	17,0	15,0	2,0	3,4	
9	"	32'00''	12'42''	22,8	182,0	19,0	80,5	73,7	0,740	1050	16,5	12,4	4,0	4,2	
10	"	42'00''	16'30''	23,2	179,0	19,4	93,0	72,4	0,740	810	16,7	11,5	5,2	4,2	

80—180° C temperatury gazu suszącego, o ile temperatura warstwy ziarna nie przekroczyła 50° C.

Uwzględniając powyższe dane, że w badanej suszarni fluidyzacyjnej można suszyć ziarno dla celów konsumcyjnych bez obawy o pogorszenie jego jakości o ile temperatura warstwy ziarna nie przekroczy 60° C, a temperatura gazu suszącego 180° C.

Istnieje również możliwość suszenia ziarna siewnego, o ile temperatura warstwy ziarna nie przekroczy 40° C, a temperatura gazu suszącego 100—120° C.

W czasie badań wydajność suszarni SFZ-6 kształtowała się od ok. 3,0 (tp/h) do ok. 6,5 (tp/h). Uzyskane w czasie badań wydajności są niższe w stosunku do tych, jakie można by otrzymać gdyby ziarno było wilgotniejsze. Podczas pracy na 3 zmiany, gdy czas pracy będzie równy 22 godz/dobę, a współczynnik wykorzystania suszarni 0,8 dobową wydajność

Tabela 2

Lp.	Rodzaj materiału	Czas ekspoz.	Temp. otocz.	Temp. ziarna wlotowego	Temp. ziarna wylot.	Temp. powietrza wylot.	Zasil. mater.	Wydajn. chłodn. przy M ₃
		Min. <i>E_{ch}</i>	°C <i>t_{po}</i>	°C <i>t_{z2}</i>	°C <i>t_{z3}</i>	°C <i>t₁</i>	kg/h <i>Q_{ch}</i>	kg/m ³ h <i>W_{ch}</i>
1	pszenica	12'30''	18,6	39,8	19,8	26,7	1315	6230
2	„	12'24''	19,7	42,8	20,6	28,6	1230	5040
3	„	7'46''	20,2	40,0	21,4	41,0	2160	9820
4	„	6'12''	20,6	44,6	24,2	36,7	2660	10025
5	„	5'32''	21,4	47,5	24,5	38,0	3080	14050
6	„	5'00''	22,8	44,3	27,8	38,3	3300	15000
7	„	7'45''	23,7	51,7	26,2	42,6	2180	99200
8	„	5'48''	24,1	57,0	24,2	37,5	1710	7800
9	„	13'42''	22,8	50,0	24,4	33,9	1050	4770
10	„	20'10''	23,2	51,2	23,7	34,8	850	3680

suszarni wyniesie od ok. 50 tp ziarna siewnego do ok. 110 tp ziarna konsumcyjnego przy obniżeniu wilgotności od 2,0—5,0 (%). Wynika to stąd, że o ile wilgotność ziarna nie przekroczy 18—19 (%) suszarnia może obsługiwać dwa kombajny zbożowe lub jeden kombajn, gdy wilgotność ziarna będzie wynosić ok. 21—22 (%).

Średnie zużycie opału (koks) wynosiło od 2,0—2,9 (kG/tp). Wartości te znajdują się w granicach zużycia opału przez inne typy suszarni.

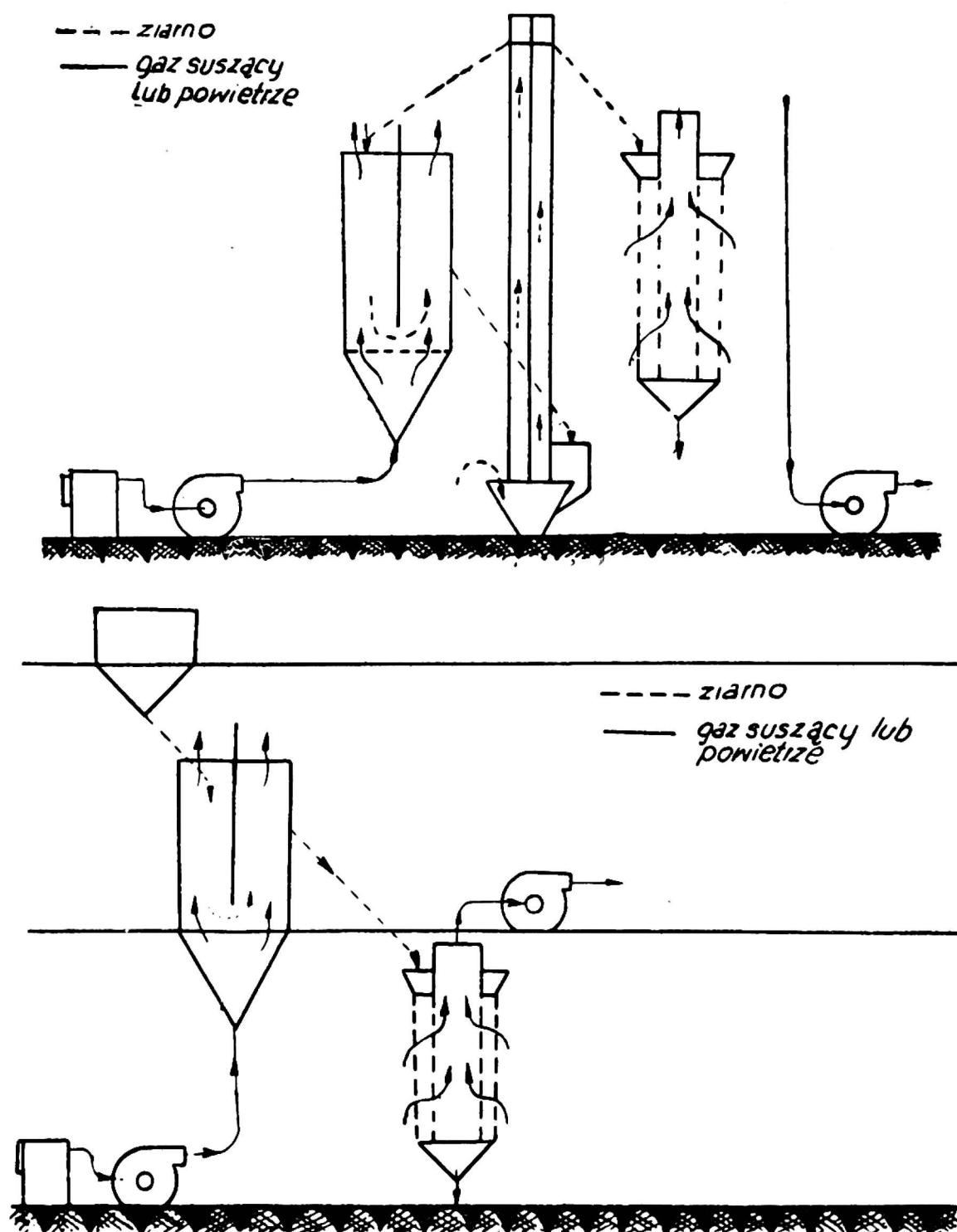
Całkowite zapotrzebowanie energii elektrycznej na napęd wentylatora chłodnicy oraz podnośnika kubelkowego wynosiło 15,7 (kWh), co w przeliczeniu na 1 tp wysuszonego ziarna wynosiło od 2,2 (kWh/tp) do 5,2 (kWh/tp). Takie zapotrzebowanie mocy spowodowane było zainstalowaniem do napędu wentylatora suszarni silnika elektrycznego o zbyt dużej

mocy oraz suszeniu przy dużych grubościach warstwy ziarna. W suszarniach serii próbnej zużycie energii elektrycznej będzie znacznie niższe.

Orientacyjny koszt suszenia, bez uwzględnienia kosztów amortyzacji, napraw oraz oprocentowania kapitału (ze względu na nie ustaloną jeszcze dotychczas cenę suszarni) wynosił ok. 3,2 (zł/tp) uwzględniając koszt energii elektrycznej, opału i robocizny.

Wyniki pomiarów komory chłodzenia zestawiono w tabeli 2. Jak widać z tabeli w czasie suszenia schładzano ziarno średnio z temperatury $t_{z_3} = 40-60^{\circ}\text{C}$ do temperatury bliskiej temperaturze otoczenia.

Z otrzymanych wyników widać, że schładzanie ziarna przebiegało bardzo dobrze.



Rys. 7 (a, b). Sposoby zainstalowania suszarni
 Ways of installing of the drier

W czasie badań komory chłodzenia stwierdzono możliwość wykorzystania powietrza wylotowego z chłodnicy do suszenia ziarna siewnego lub konsumpcyjnego w suszarniach sitowych, podłogowych silosach, względnie podsuszanie ziarna przed suszeniem w suszarni fluidyzacyjnej jest to możliwe dlatego, że w tym typie suszarni, komora chłodzenia nie łączy się bezpośrednio z komorą suszenia.

Ilość ciepła, która może być wykorzystana w ten sposób wynosi ok. 46 000 (kcal/h). Przy temperaturze powietrza wylotowego z chłodnicy $t_2 = 39,5^\circ \text{C}$, wilgotności powietrza wylotowego z chłodnicy $\varphi_2 = 32,5\%$, temperaturze powietrza otoczenia $t_{po} = 19,7^\circ \text{C}$ i wilgotności powietrza otoczenia $\varphi_2 = 72,0\%$.

Badania techniczne suszarni wykazały, że poszczególne zespoły robocze i ich mechanizmy pracowały dobrze. W czasie suszenia nie było żadnych przestojów spowodowanych uszkodzeniem części mechanicznych suszarni.

Obsługa suszarni jest łatwa lecz wymaga kwalifikowanego dozoru.

Suszarnia fluidyzacyjna może być instalowana w magazynach płaskich jak i piętrowych. Sposoby zainstalowania suszarni pokazano na schematach rys. 7 a i b.