

OKREŚLENIE OPTYMALNYCH PARAMETRÓW SUSZENIA NASION SŁONECZNIKA W NIERUCHOMEJ WARSTWIE

Mirostaw Kolano, Helena Lis

Instytut Mechanizacji Rolnictwa AR w Lublinie

WPROWADZENIE

Istnieje obecnie potrzeba zwiększenia arealów uprawy słonecznika. Wiąże się to ze wzrostem zapotrzebowania na tłuszcze roślinne o wysokiej jakości, a olej słonecznikowy ma zastosowanie zarówno jako olej jadalny, w produkcji konserw, jako surowiec do fabrykacji margaryny, a także w przemyśle skórzanym, mydlarskim, lakierniczym, włókienniczym itp. Niektóre odmiany słonecznika wykorzystywane są w produkcji pasz treściwych dla zwierząt.

W Polsce uprawa słonecznika ma jeszcze charakter eksperymentalny. Uprawia się go przede wszystkim jako roślinę pastewną, szczególnie na zielonki i kiszonki. Dla polskiej odmiany słonecznika - Borowski, okres wegetacji wynosi w zależności od warunków atmosferycznych w danym roku od 105 do 147 dni. W Polsce przy wczesnym siewie nasiona dojrzewają przy końcu sierpnia. Gdy niełupki są już prawie dojrzałe, dna koszyczków zawierają jeszcze 75-85% wody [13]. Aby umożliwić wcześniejszy zbiór, stosuje się chemiczną desykację słonecznika na pniu po dojrzaniu nasion /oprysk preparatem Reglone lub Gramoxon [3, 13].

PRZEGLĄD LITERATURY

Nasiona słonecznika zbieranego w naszych warunkach mają wilgotność w granicach 30-45% [6, 12] i zawierają 48-57% tłuszczu [5]. Przeznaczając je do długookresowego przechowywania należy zmniejszyć wilgotność do 6% poprzez suszenie. Wilgotność kompleksu skrobiowo-białkowego będzie wtedy wynosiła 12-14%. Różnica ta wynika z faktu, iż tłuszcze jako substancje hydrofobowe nie uczestniczą w wiązaniu wody. Ogólnie wyróżnia się cztery stany wilgotności części beztłuszczowej [1, 7, 11, 4]:

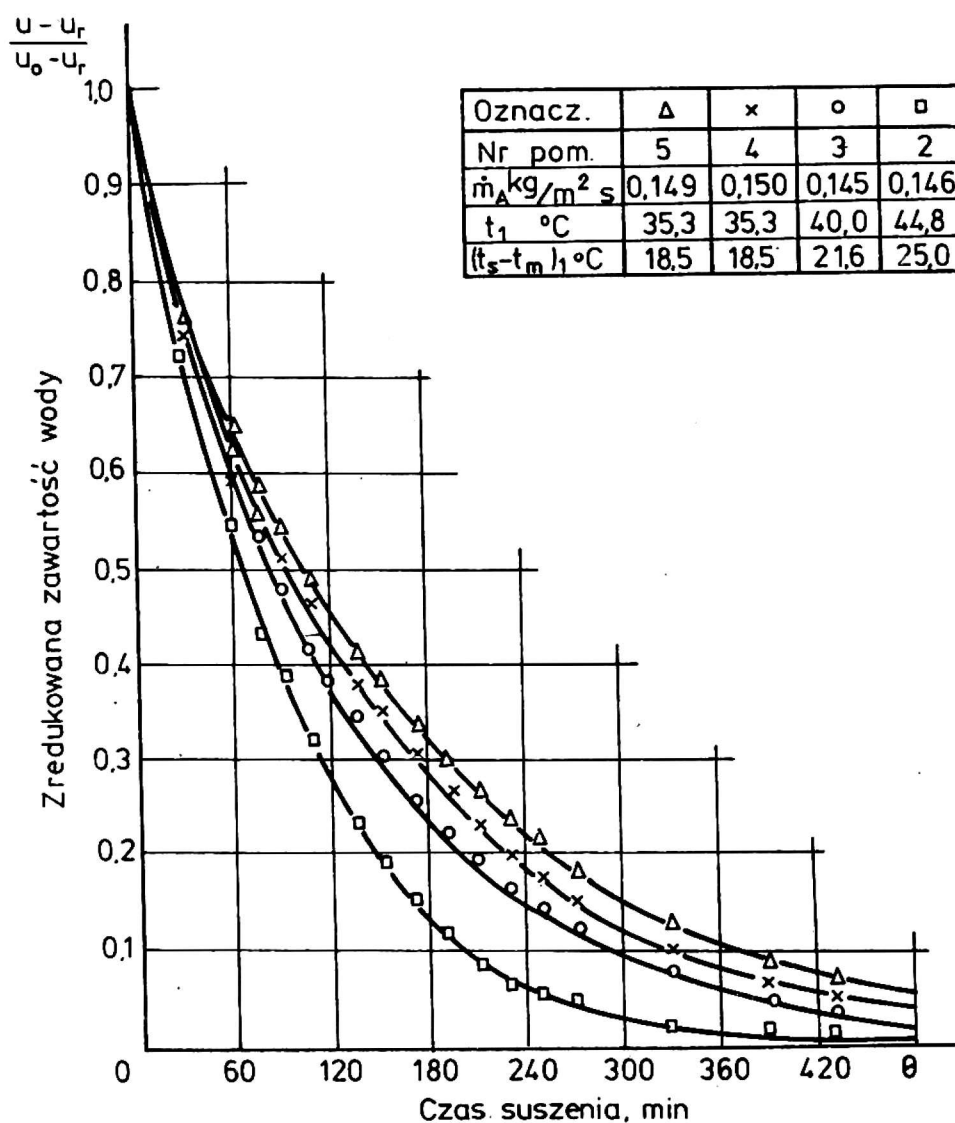
- 1/ nasiona suche - do 11%,
 2/ nasiona średnio suche - od 11 do 13%,
 3/ nasiona wilgotne - od 13 do 14,5%,
 4/ nasiona mokre - powyżej 14,5%.

Badania laboratoryjne nad konwekcyjnym suszeniem nasion słonecznika podgrzanym powietrzem wykonała Garbuz [6] w latach 1958-1959 w Zakładzie Suszarnictwa Płodów Rolnych w Kłodzku. W ramach tych badań przeprowadzone zostały dwa rodzaje pomiarów:

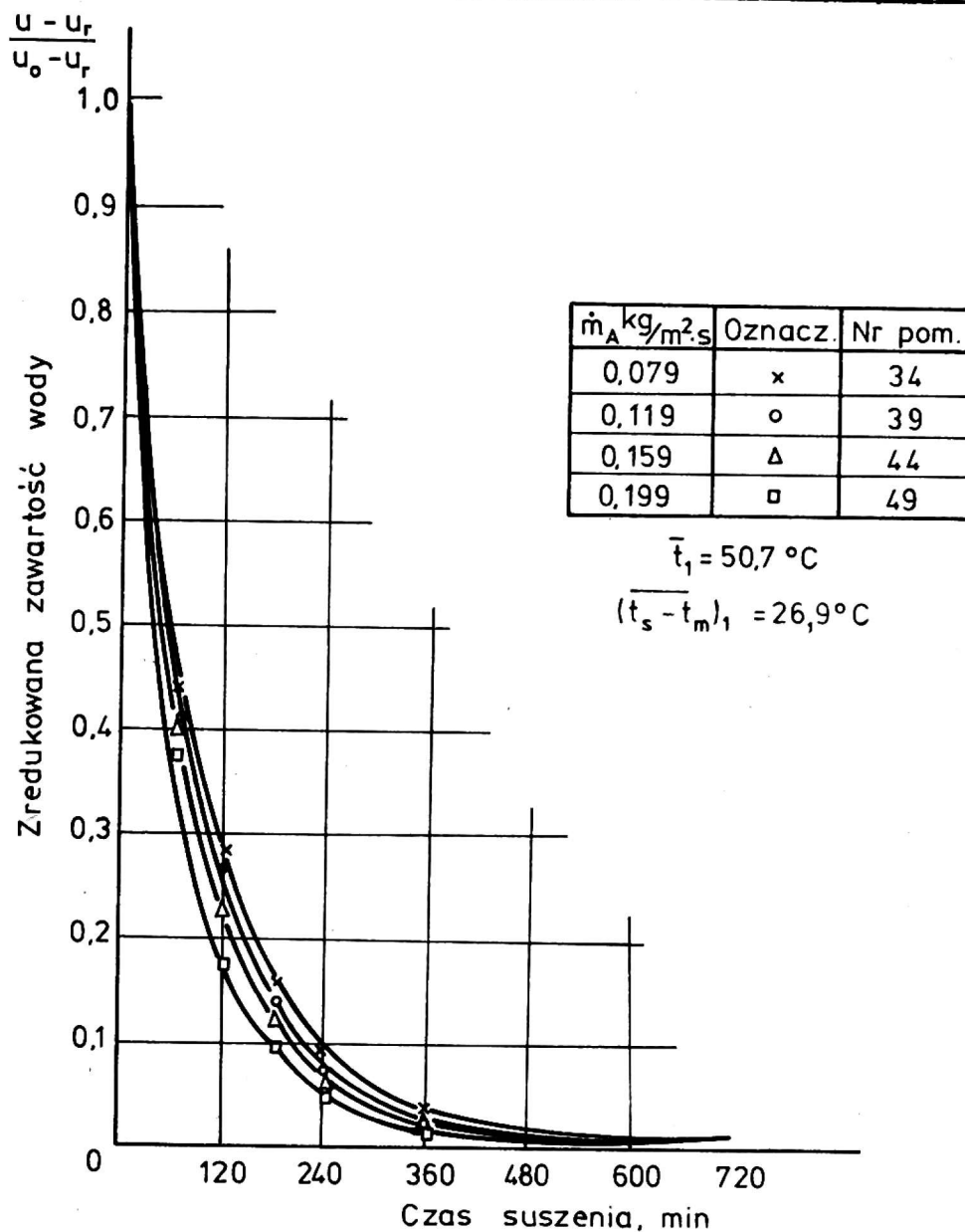
- a/ suszenie w cienkiej warstwie przy obciążeniu sit suchą masą $M_s/A = 5,1 \text{ kg/m}^2$,
 b/ w grubiej warstwie przy obciążeniu $M_s/A = 64 \text{ kg/m}^2$.

Wilgotność początkowa nasion była w granicach 31-44%. Stosowano następujące parametry czynnika suszącego:

- natężenie przepływu powietrza $\dot{m}_A = 0,03 \text{ do } 0,3 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$,
 - temperaturę pod sitem pomiarowym $t_1 = 35 \text{ do } 95^\circ\text{C}$, przy wilgotności względnej otoczenia $\psi = 35 \text{ do } 65\%$.



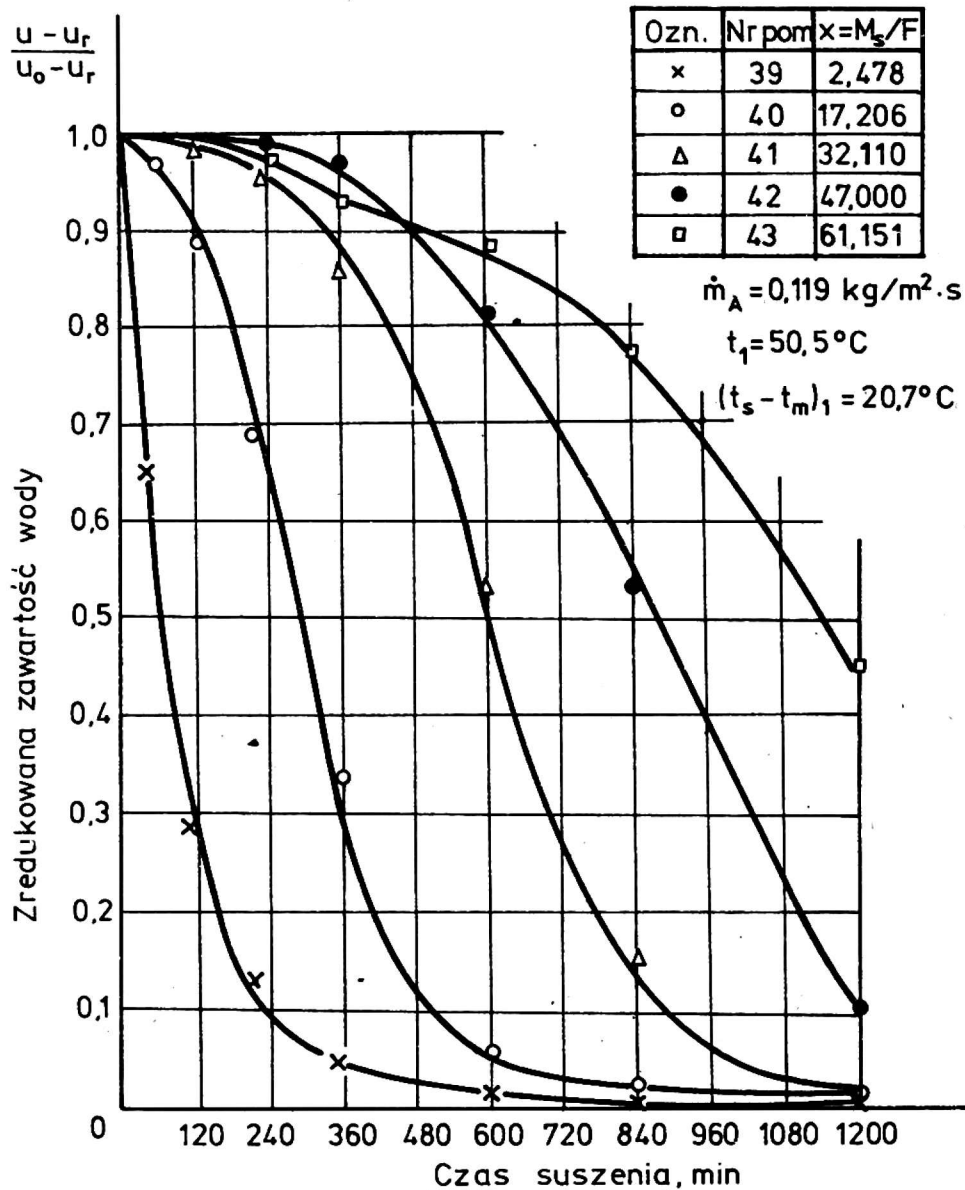
Rys. 1. Wpływ temperatury czynnika suszącego na szybkość suszenia nasion słonecznika w warstwie brzegowej



Rys. 2. Wpływ natężenia przepływu G_p na szybkość suszenia nasion słonecznika w warstwie brzegowej

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że czas suszenia nasion w koszyczkach jest bez porównania dłuższy od czasu suszenia nasion wyłuskanych [6]. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że większy wpływ na szybkość suszenia nasion słonecznika ma temperatura czynnika suszącego niż natężenie jego przepływu \dot{m}_A . Na podstawie przeprowadzonych badań Garbuz [6] stwierdziła, że zredukowana zawartość wody jest funkcją nie tylko czasu, ale i położenia w warstwie $x = M_s/F$ /rys. 3/. Tą samą zależność przedstawiła w układzie przestrzennym /rys. 4/.

Według Ginzburga i Riezcikowa [8] nasiona słonecznika charakteryzują się większą odpornością na działanie wyższych temperatur niż ziarno zbóż. Tłumaczy się to właściwościami budowy i składem chemicznym nasion, które są pokryte ścisłą okrywą owocową /łuską/ o budowie włóknistej. Komórki łuski są martwe i nie zmieniają się pod wpływem wysokiej temperatury. Pod łuską występuje warstwa powietrza, która jest izolatorem cieplnym, ochraniającym zarodek

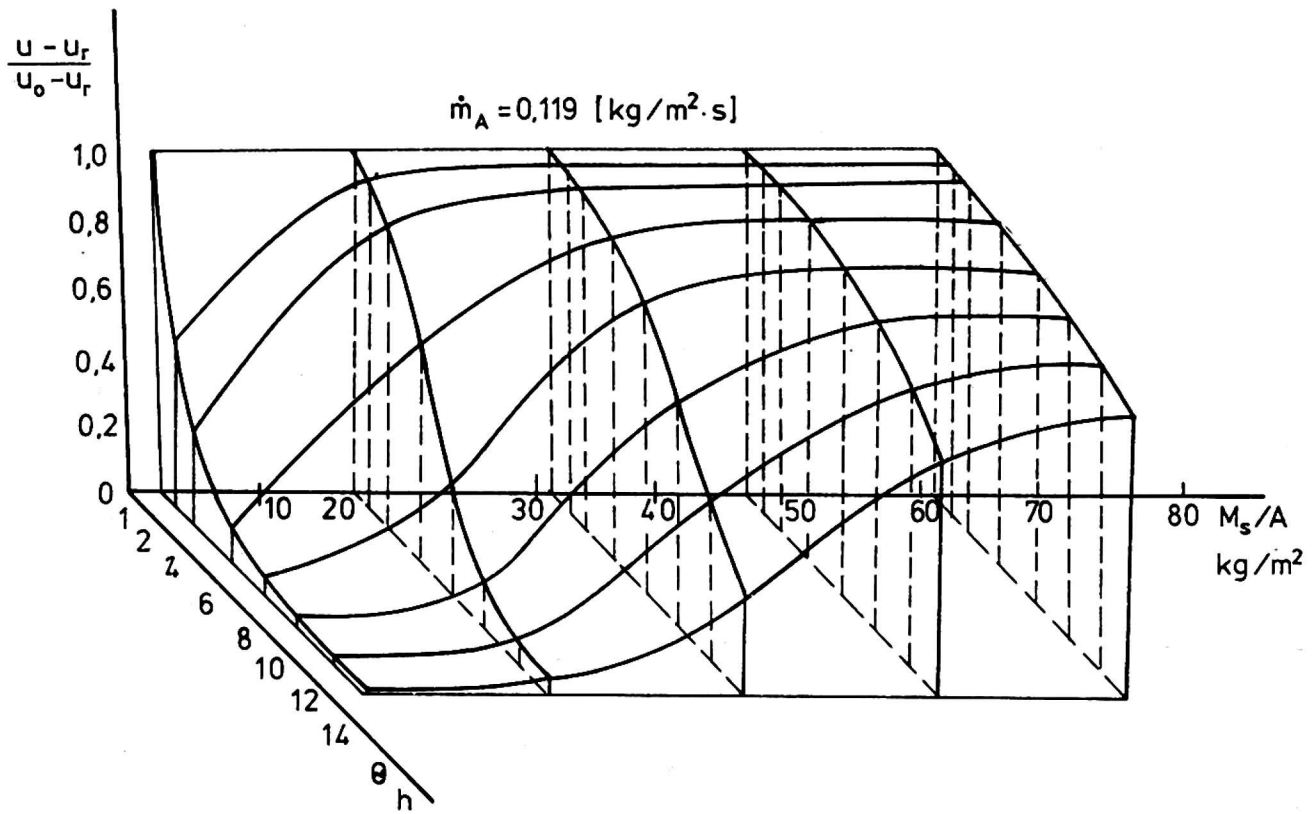


Rys. 3. Krzywe suszenia ziarna słonecznika przy $m_A = 0,119$

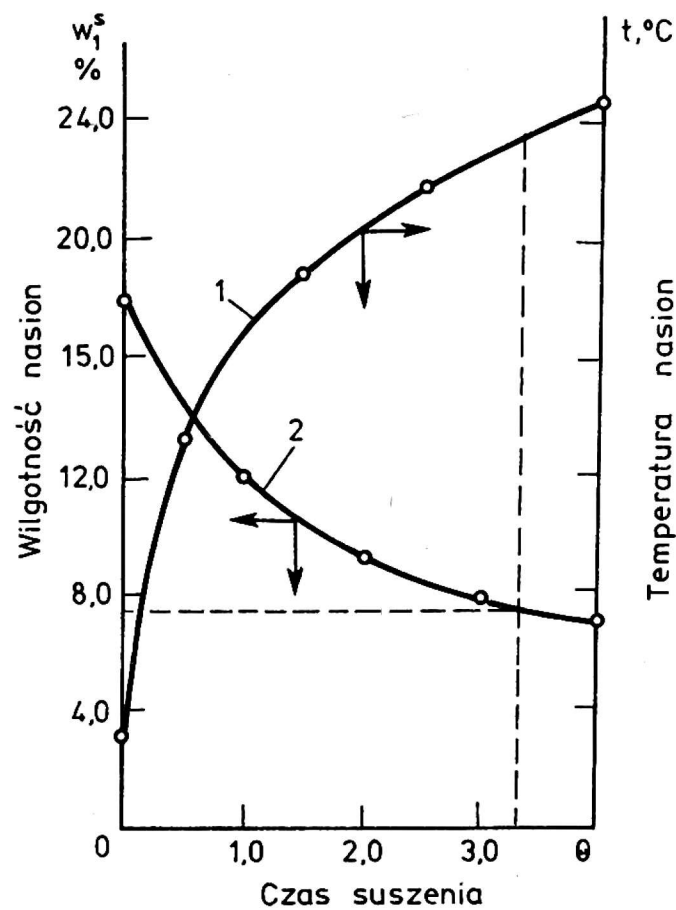
od szybkiego nagrzewania. Tłuszcze zawarte w nasionach słonecznika dobrze znoszą nagrzewanie i przy suszeniu tych nasion skład i właściwości fizyczne nie zmieniają się. Skład chemiczny, znaczne przewodnictwo wilgoci i podwyższona odporność na temperaturę nasion słonecznika stwarzają dobrą perspektywę do zastosowania szybkiego suszenia.

Kirijewskij [10] badał proces suszenia nasion słonecznika metodą fluidyzacji. Na rysunku 5 przedstawiono krzywą suszenia i krzywą nagrzewania nasion słonecznika w temperaturze 152°C , przy prędkości przepływu powietrza $1,4 \text{ m/s}$ oraz obciążeniu sita $42,2 \text{ kg/m}^2$.

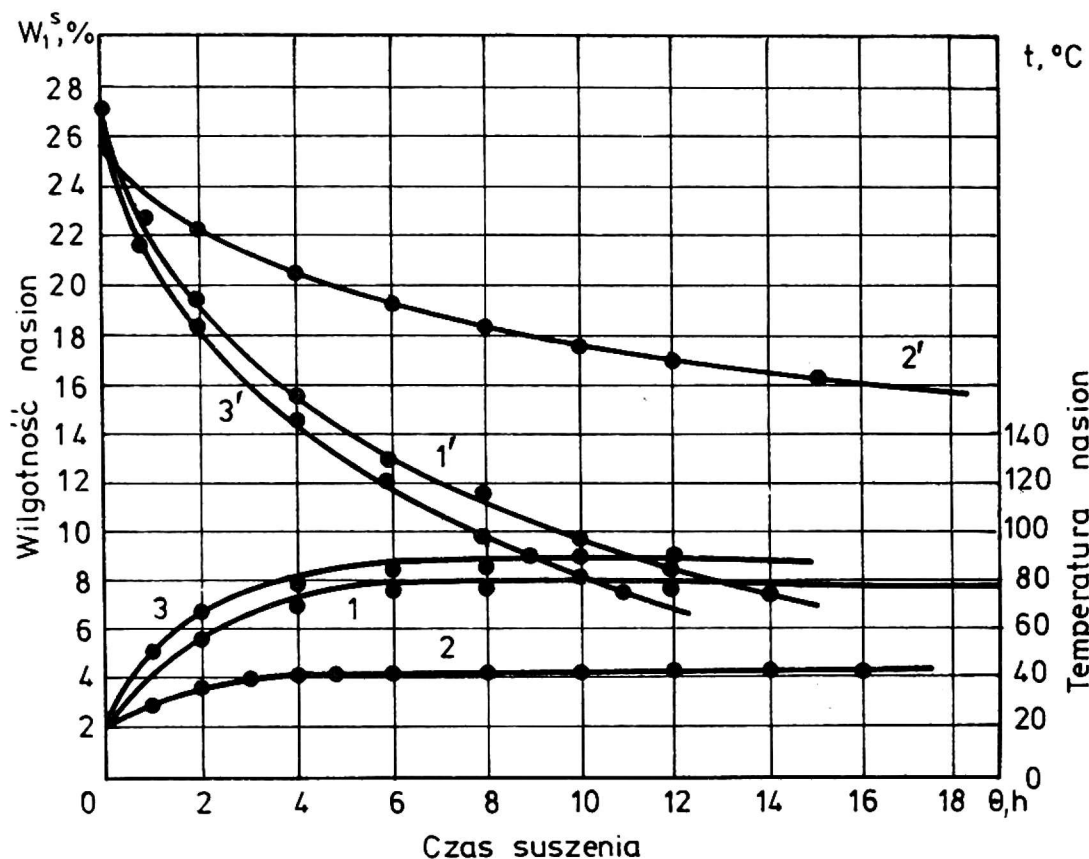
W ostatnich latach uwaga badaczy procesu suszenia słonecznika skupiła się na kombinowanych metodach suszenia, np. konwekcyjnoradiacyjnej. Ginzburg i Wasiliewa [9] badali proces suszenia nasion słonecznika metodą fluidyzacji przy konwekcyjnym, radiacyjnym i kombinowanym, tj. konwekcyjno-radiacyjnym doprowadzaniu ciepła. Krzywe nagrzewania i suszenia nasion słonecznika przedstawione są na wykresie /rys. 6/.



Rys. 4. Zależność z rysunku 3 w układzie przestrzennym



Rys. 5. Krzywa nagrzewania /1/ i krzywa suszenia /2/ nasion słonecznika w ładunku fluidalnym



Rys. 6. Krzywe nagrzewania /1-3/ i krzywe suszenia /1'-3'/ nasion słonecznika w ładunku fluidalnym o wysokości $h = 100$ mm przy różnych metodach doprowadzania ciepła: 1 - metodą konwekcyjną: $t_1 = 100^\circ\text{C}$, $v = 2,2$ m/s; 2 - metodą radiacyjną: $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $v = 1,8$ m/s $E = 14,65$ kW/m²; 3 - metodą konwekcyjno-radiacyjną: $t_1 = 100^\circ\text{C}$, $v = 2,2$ m/s, $E = 14,65$ kW/m²

Z wykresu tego wynika, że proces suszenia słonecznika przebiega najbardziej intensywnie przy kombinowanym doprowadzaniu ciepła. Istotne znaczenie ma również znajomość oporów przepływu powietrza przez warstwę nasion słonecznika podczas suszenia. Zjawisko oporów przepływu związane jest z prędkością przepływu powietrza, grubością warstwy, jej porowatością, ze stopniem zanieczyszczeń oraz z wilgotnością. Według Drogalina [14] wartość oporów p przepływu można wyznaczyć z równania o postaci:

$$p = a \cdot H_w \cdot v + b \cdot H_w \cdot v^2,$$

gdzie:

H_w - wysokość warstwy,

v - prędkość przepływu powietrza,

a, b - stałe współczynniki, zależne od rodzaju nasion /dla słonecznika wynoszą one /15/:

$$a = 177, b = 1700/.$$

Ważną cechą nasion słonecznika, na którą należy zwrócić uwagę w procesie suszenia, jest ich żywotność, tj. energia i zdolność kiełkowania. Jak podaje Brzostowski [2], a także Pawłowski i Koźuchowski [11] nasiona słonecznika przeznaczone do siewu powinny mieć zdolność

kiełkowania co najmniej 90%. Garbuz [6] stwierdziła, że energia i zdolność kiełkowania nasion słonecznika nie zależy od natężenia przepływu powietrza w granicach najczęściej stosowanych /od 0,03 do 0,3 kg/m² · s/. Zależy natomiast od temperatury czynnika suszącego. Najbardziej odpowiednią temperaturą czynnika suszącego dla nasion siewnych w przedziale natężenia strumienia powietrza $0,03 \leq m_A \leq 0,3 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ jest 35 do 53°C. Dane te dotyczą nasion o wilgotności początkowej nie większej niż 35%.

CEL PRACY, METODYKA I WARUNKI BADAN

Celem badań było ustalenie wpływu temperatury i natężenia przepływu powietrza na szybkość suszenia oraz żywotność nasion słonecznika. Badania przeprowadzone zostały w pięciokanałowej konwekcyjnej suszarce laboratoryjnej, umożliwiającej dowolną regulację temperatury i prędkości przepływu powietrza. Suszenie przeprowadzone było dla dwóch alternatyw:

- 1/ warstwy cienkiej - przy obciążeniu sit suchą masą $\frac{M_s}{A} = 6 \text{ kg/m}^2$,
- 2/ warstwy grubej - przy obciążeniu sit $M_s/A = 68 \text{ kg/m}^2$.

W czasie tych badań przeprowadzone były następujące pomiary:

- temperatury czynnika suszącego przy wlocie i wylocie suszarki,
- wilgotności względnej otaczającego powietrza /psychometrem Assmana/,
- natężenia przepływu powietrza /anemometrem skrzydełkowym/,
- ubytku wilgoci /na podstawie pomiaru ubytku masy suszonego materiału określono wilgotność materiału w ciągu całego okresu suszenia,
- energii i zdolności kiełkowania nasion.

Do badań używany był słonecznik oleisty, którego okres dojrzewania przypada na połowę września. Był on przed zbiorem opryskany preparatem Reglone w celu przyspieszenia okresu zbioru. Wilgotność słonecznika bezpośrednio po zbiorze sięgała 36%. Badania przeprowadzone były przy natężeniu przepływu powietrza $\dot{m}_A = 0,08-0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, w temperaturze czynnika suszącego przy wlocie do komory $t_1 = 35-78^\circ\text{C}$. Jakość wysuszonych nasion określano na podstawie badania ich żywotności, tj. energii i zdolności kiełkowania. Zarówno energię, jak i zdolność kiełkowania określano zgodnie z obowiązującą normą. Ponieważ próbki słonecznika miały różne początkowe zawartości wody, krzywe suszenia rozpoczynały się w różnych punktach. Aby można było te krzywe porównać, sprawdzono ich przebieg do jednej wartości początkowej. W tym celu wprowadzono za Pabisem [12] pojęcie zredukowanej zawartości wody U, wyrażonej bezwymiarowo następującym wzorem:

$$U = \frac{u - u_r}{u_o - u_r}$$

gdzie:

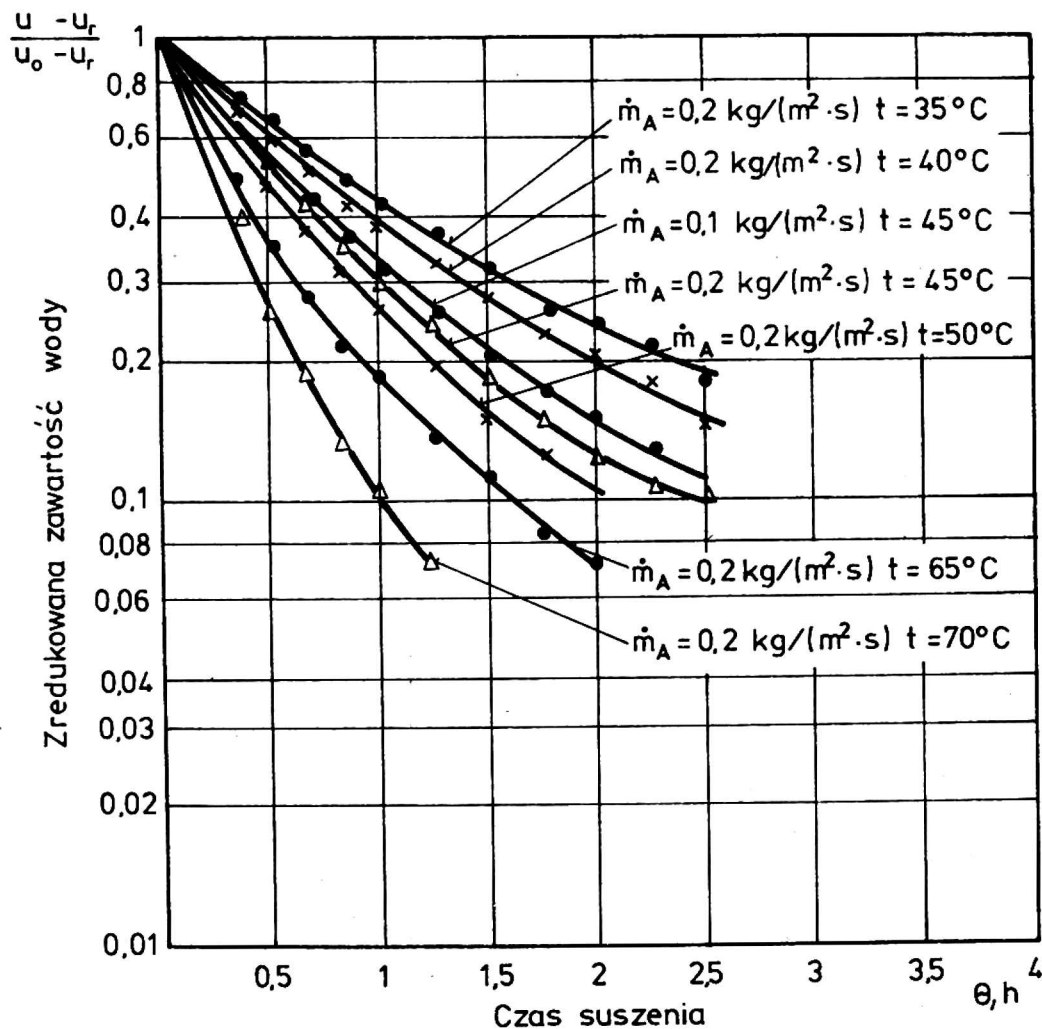
u - aktualna zawartość wody /kg H₂O/kg s · m/,

u_r - równowagowa zawartość wody /kg H₂O/kg s · m/,

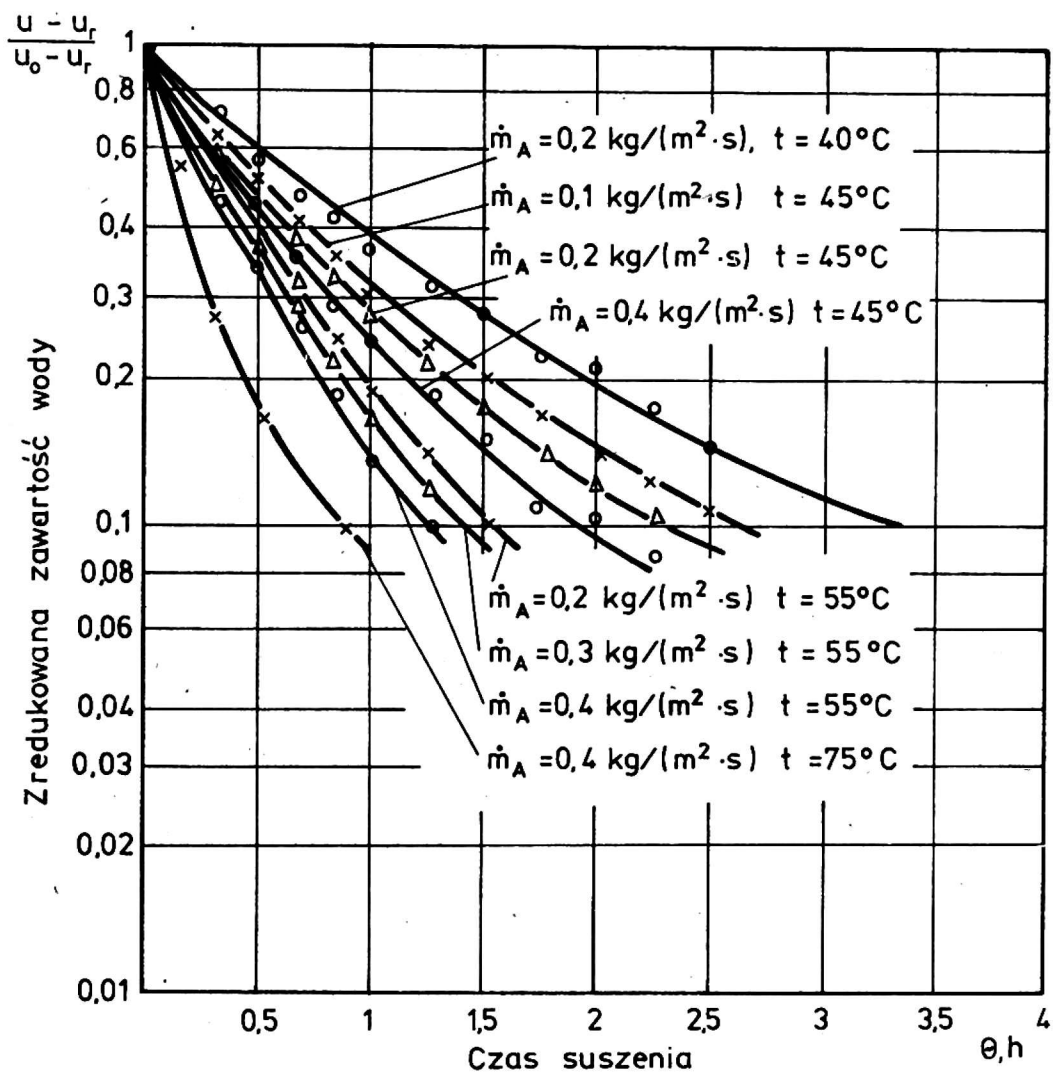
u_o - początkowa zawartość wody /kg H₂O/kg s · m/.

WYNIKI BADAŃ

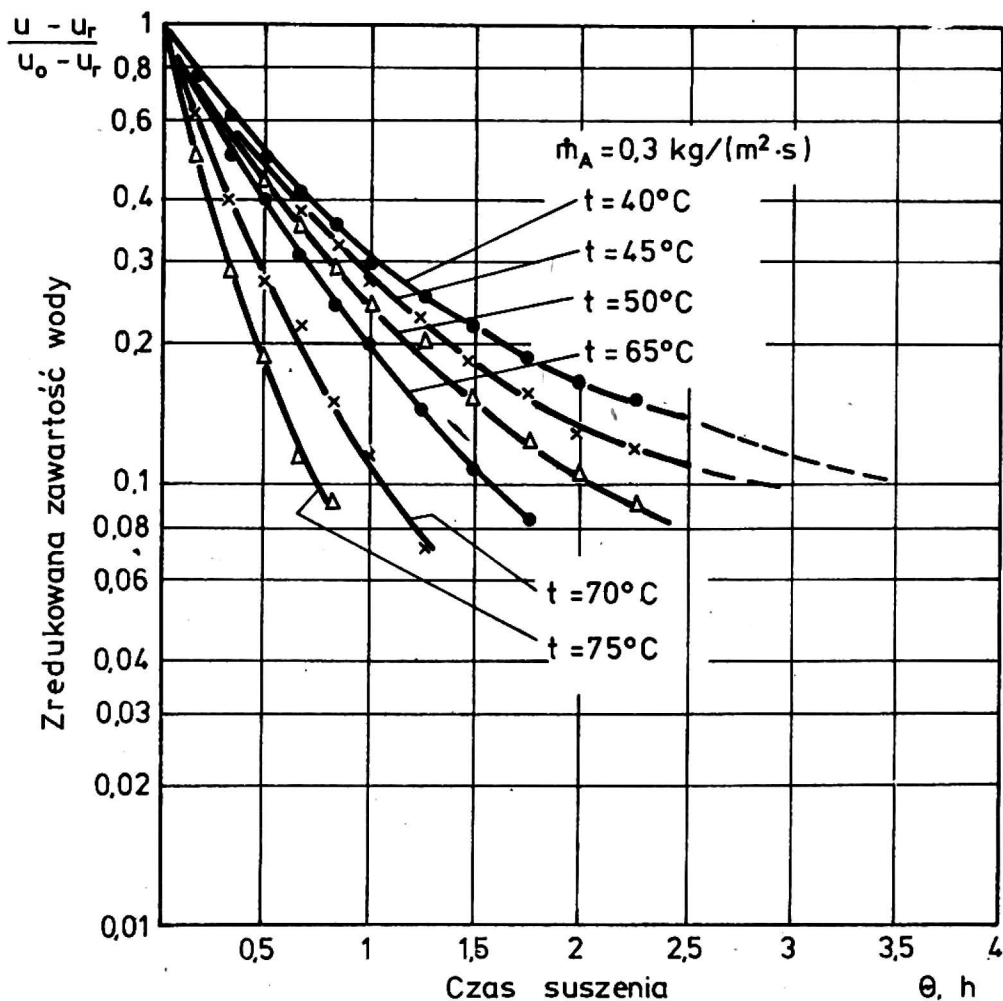
Krzywe suszenia nasion słonecznika w cienkiej warstwie w zależności od masowego natężenia przepływu powietrza i od temperatury przedstawiono w podziałce półlogarytmicznej na wykresach /rys. 7, 8, 9/.



Rys. 7. Wpływ natężenia przepływu powietrza oraz temperatury na przebieg procesu suszenia nasion słonecznika w cienkiej warstwie



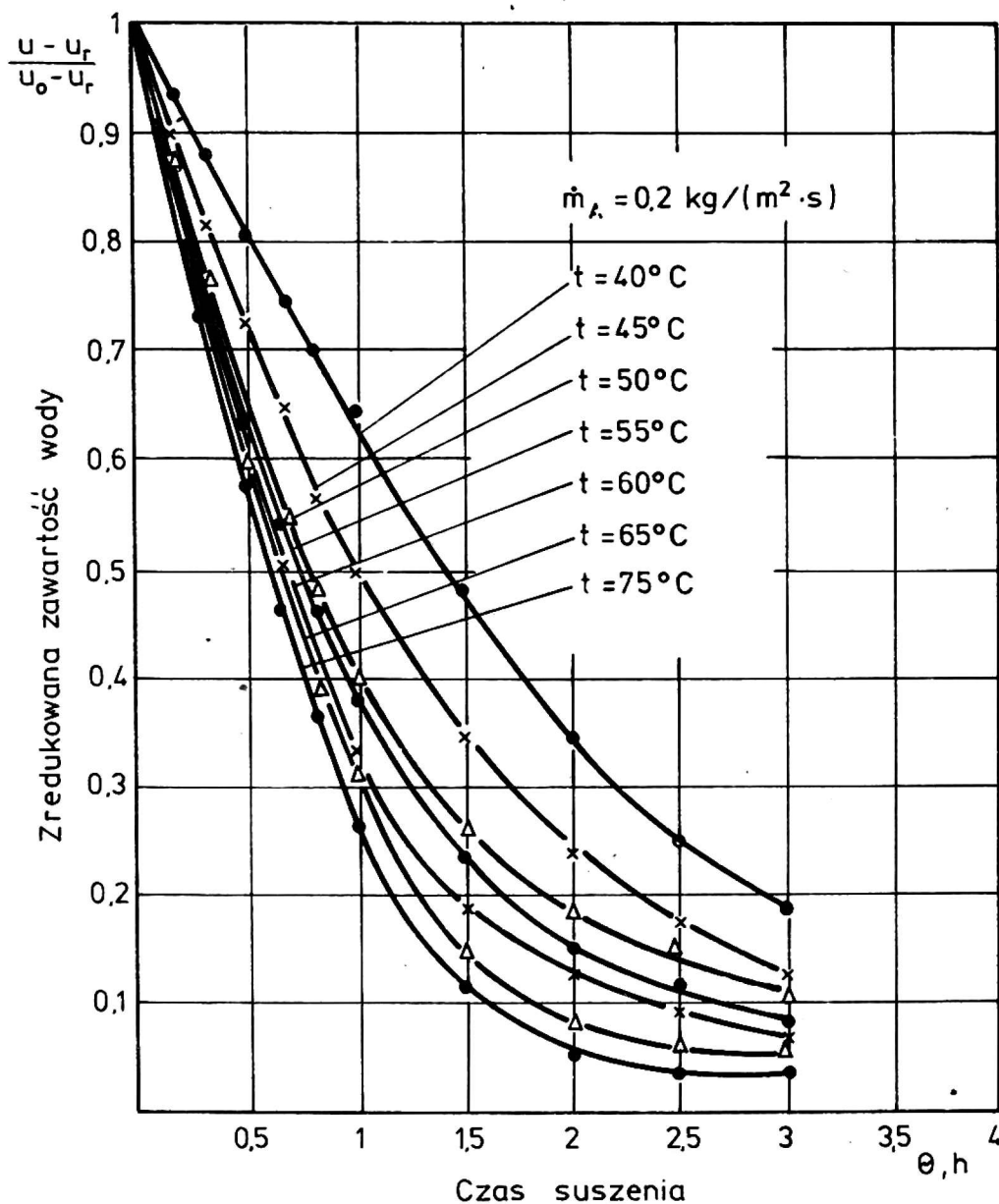
Rys. 8. Wpływ natężenia przepływu powietrza oraz temperatury na przebieg procesu suszenia nasion słonecznika w cienkiej warstwie



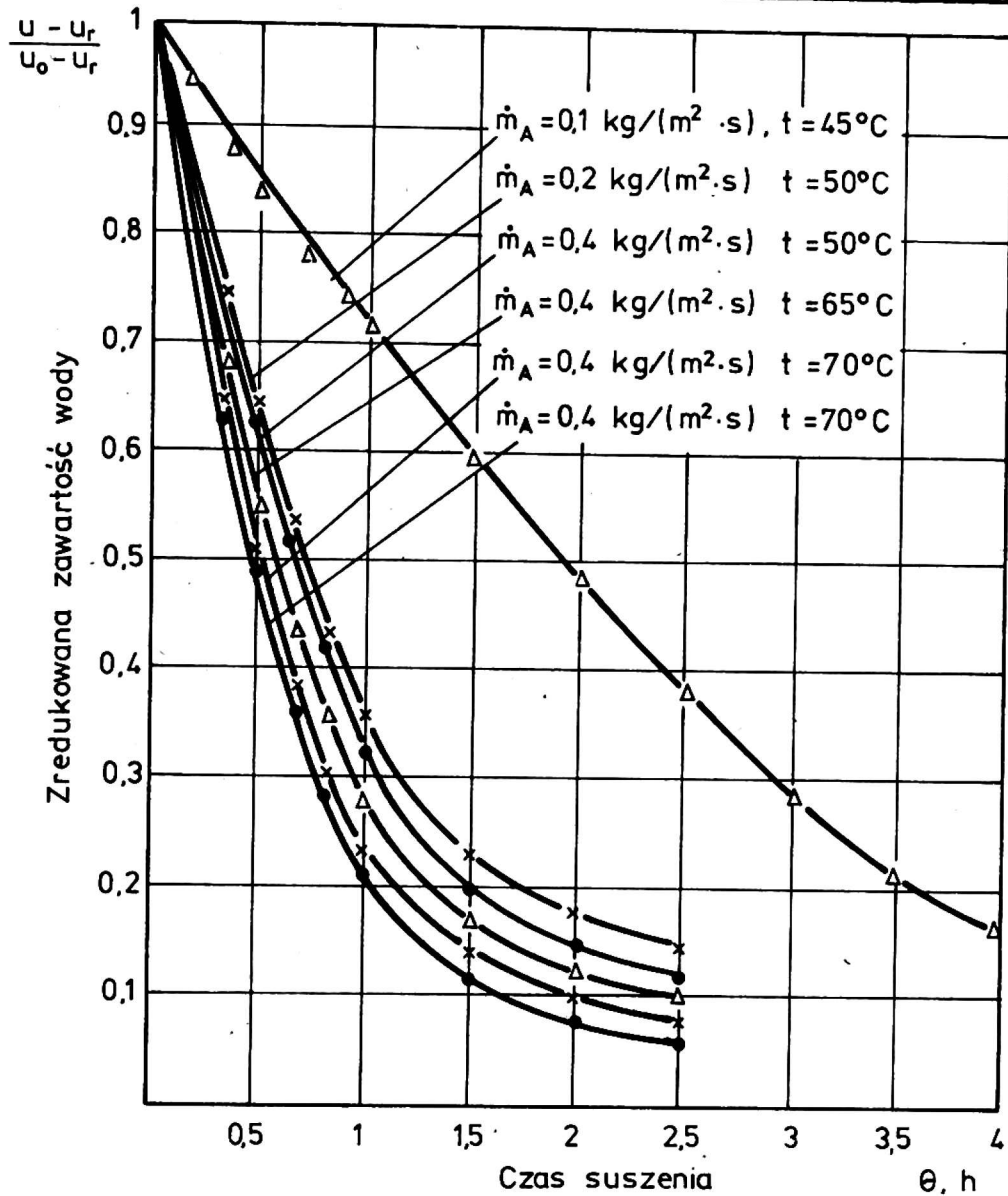
Rys. 9. Wpływ natężenia przepływu powietrza oraz temperatury na przebieg procesu suszenia nasion słonecznika w cienkiej warstwie

Jak wynika z przedstawionych wykresów, zarówno przy wzroście temperatury, jak i przy wzroście natężenia przepływu powietrza czas suszenia potrzebny do uzyskania końcowej wilgotności nasion $w = 6\%$ $(U = 0,1106)$ maleje. Widoczny jest większy wpływ temperatury niż natężenia przepływu powietrza.

Podobne zależności otrzymano w przypadku suszenia nasion słonecznika w grubej warstwie. Wyniki tych badań przedstawiono na rysunkach 10 i 11. Czas potrzebny do uzyskania wilgotności końcowej nasion słonecznika 6% przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 10. Wpływ natężenia przepływu powietrza oraz temperatury na przebieg procesu suszenia nasion słonecznika w grubej warstwie



Rys. 11. Wpływ natężenia przepływu powietrza oraz temperatury na przebieg procesu suszenia nasion słonecznika w grubej warstwie

Skrócenie czasu suszenia zwiększało przepustowość suszarki, jednak wartość temperatury powietrza wpływa na żywotność nasion. Wyniki badań żywotności nasion w zależności od warunków suszenia zestawiono w tabeli 2. Na podstawie tych wyników można stwierdzić, że na żywotność nasion słonecznika temperatura ma o wiele większy wpływ niż natężenie przepływu powietrza. Należy jednak zwrócić uwagę na wartość minimalnej dawki powietrza, przy której nasiona słonecznika zachowują dobrą żywotność /rys. 12/.

Biorąc pod uwagę żywotność nasion oraz przepustowość suszarki na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że optymalne dla nasion słonecznika, znajdujących się w nieruchomej warstwie, jest suszenie w temperaturze $55-65^\circ\text{C}$ i przy masowym natężeniu przepływu powietrza $0,19-0,25 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$.

Tabela 1

Czas suszenia słonecznika do wilgotności 6% oraz przepustowość suszarki /przy obciążeniu sita 68 kg wilgotnego słonecznika na 1 m²/w zależności od warunków suszenia

Temperatura, °C	Wilgotność początkowa, %	Masowe natężenie przepływu $\dot{m}_A / \text{kg/m}^2 \cdot \text{s/}$	Czas suszenia, h	Przepustowość su- szarki $\frac{\text{kg wilg. słon.}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$
38	38,40	0,11	5,75	15,50
40	30,26	0,17	4,85	18,35
42	30,31	0,11	4,95	18,00
42	30,31	0,34	3,90	22,70
50	30,91	0,22	3,41	25,97
50	30,91	0,33	3,40	26,00
51	28,81	0,11	3,01	29,40
51	28,81	0,22	2,80	31,75
53	30,87	0,22	2,45	36,36
53	29,71	0,33	2,44	36,40
54	26,01	0,22	2,45	36,36
54	26,00	0,32	2,45	36,36
57	26,50	0,21	2,36	37,73
57	26,50	0,32	2,31	38,46
58	25,50	0,21	2,25	39,20
58	25,50	0,32	2,23	40,00
60	20,30	0,21	1,99	44,00
60	20,30	0,32	1,99	44,00
64	22,50	0,21	1,90	46,50
64	22,50	0,31	1,80	48,78
66	23,50	0,31	1,80	48,78
66	23,50	0,42	1,76	50,00
69	19,45	0,21	1,60	55,60
69	19,45	0,31	1,58	56,00
69	18,90	0,41	1,56	57,00
71	19,42	0,41	1,50	59,00
71	19,42	0,51	1,50	59,00

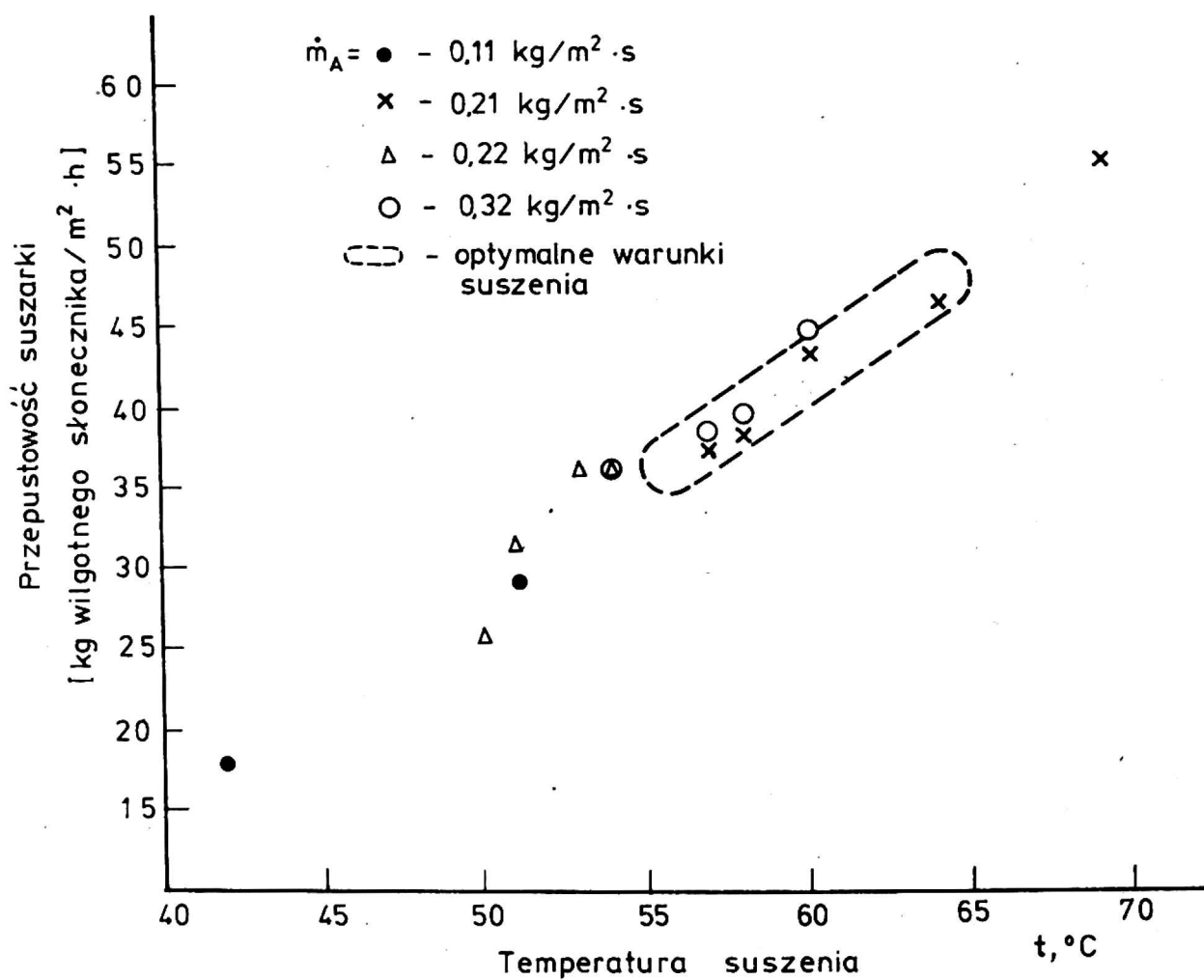
Tabela 2

Wpływ parametrów suszenia na żywotność nasion słonecznika

Temperatura powietrza °C	Masowe natężenie przepływu powietrza $\dot{m}/\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$	Zdolność kiełkowania	
		wstępna po 3 dniach %	końcowa po 7 dniach %
42	0,13	90	91
42	0,15	89	92
42	0,31	92	92
42	0,38	91	92
43	0,11	90	92
43	0,20	89	90
43	0,32	91	93
45	0,21	93	94
46	0,22	94	95
47	0,31	92	93
48	0,23	89	91
48	0,29	92	94
49	0,19	92	93
50	0,19	90	91
51	0,26	89	90
51	0,28	90	91
51	0,29	93	94
52	0,27	90	91
52	0,33	90	91
52	0,43	92	93
53	0,18	90	91
53	0,25	95	96
53	0,29	91	93
54	0,20	94	94
54	0,21	93	94
54	0,23	91	92
54	0,28	95	96
54	0,33	90	91
55	0,20	90	92
55	0,26	90	92
55	0,33	94	95
56	0,32	92	93
58	0,29	90	91
58	0,34	91	92
60	0,27	91	92
62	0,25	92	93
64	0,22	91	94
66	0,34	93	93
66	0,36	91	92
66	0,39	90	92
66	0,40	91	92
67	0,39	90	91
69	0,42	91	91

cd. tabeli. 2

Temperatura powietrza °C	Masowe natężenie przepływu powietrza $\text{m/kg/m}^2 \cdot \text{s}$	Zdolność kiełkowania	
		wstępna po 3 dniach %	końcowa po 7 dniach %
71	0,49	85	86
72	0,36	56	61
72	0,43	83	84
73	0,42	87	89
73	0,46	85	87
75	0,49	47	54



Rys. 12. Wpływ temperatury suszenia i natężenia przepływu powietrza na przepustowość suszarki

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że:

1. Przy suszeniu nasion słonecznika w nieruchomej warstwie /obciążenie sita $M_s/F = 68 \text{ kg/m}^2$ / nasiona miały zadowalającą żywotność w określonym przedziale temperatury i natężenia przepływu powietrza, tj.:

40-50°C przy natężeniu przepływu $0,13-0,38 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ - 91-92%,

50-55°C przy natężeniu przepływu $0,18-0,43 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ - 90-96%,

55-60°C przy natężeniu przepływu $0,20-0,34 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ - 91-93%,

60-65°C przy natężeniu przepływu $0,22-0,40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ - 92-94%.

2. Ze względu na stosunkowo niewielki wzrost wydajności suszarki przy wzroście natężenia przepływu powietrza /w stałej temperaturze/, mając na uwadze względy ekonomiczne, wypada stosować minimalne wartości natężenia przepływu powietrza z przedziałów, w których zostaje zachowana żywotność powyżej 90%, tj.

w temperaturze 40-50°C - $0,13 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$

w temperaturze 50-55°C - $0,18 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$

w temperaturze 55-60°C - $0,20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$

w temperaturze 60-65°C - $0,22 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$

Wskazane jest suszenie w wyższych temperaturach, tj. 55-65°C przy masowym natężeniu przepływu $0,20-0,22 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, gdyż przepustowość suszarki jest ściśle uzależniona od temperatury. Poczynszy od temperatury 70°C spadała gwałtownie zdolność kiełkowania nasion słonecznika.

LITERATURA

1. Biekasow A.G., Dienisow N.I.: Suszenie zboża. 1956.
2. Brzostowski S.: Uprawa słonecznika. PWRiL, Warszawa 1954.
3. Dembiński F.: Rośliny oleiste. PWRiL, Warszawa 1971.
4. Dżorogan G.A.: Ziarnosuszenie. Moskwa 1964.
5. Encyklopedia rolnicza
6. Garbuz T.: Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 1961, z. 26.
7. Gierżoj A.P., Samoczetow W.F.: Ziarnosuszenie i ziarnosuszilki. Moskwa 1967.
8. Ginzburg A.S., Riecznikow W.A.: Suszenie produktów spożywczych metodą fluidyzacji. WNT.

9. Ginzburg A. S., Wasiliewa A. S.: Kombiniruwannaja suszka siemian podsołniecznika w kipiarszczem słoje i intrakrasnymi łuczami. SG Chranienije i pierierobotka ziarna. CJNTJ. Goskomitieta zagotowok SSSR, 4 /1965/.
10. Kirijewski B., N.: Izuczenije kinetiki processa suszki siemien podsołniecznika w kipiarszczem słoje. Masłobojnożyrowaja promyszlennost 1964 nr 10.
11. Kozuchowski I. E., Pawłowski G. T.: Mechanizacja oczystki i suszki ziarna. Moskwa 1963.
12. Pabis S.: Suszenie płodów rolnych PWRiL, Warszawa 1965.
13. Praca zbiorowa pod red. Listowskiego: Uprawa roślin. PWRiL. Warszawa 1970.
14. Drogalin K.W.: Soprotywlenie ziernowoj nasypi wentilirowaniju primienjamomu pri borbie s razwitiem mikroflory. Trudy WNiiZ, tom XXX, Zagotizdat 1955.
15. Pabis J.: Rocz. Nauk Rol. t. 73 z. 2.

М. Коляно, Г. Лис

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СУШКИ СЕМЯН
ПОДСОЛНЕЧНИКА В НЕПОДВИЖНОМ СЛОЕ

Р е з ю м е

В настоящее время возникает необходимость расширения площади возделывания подсолнечника в связи с повышенным спросом на растительные масла высокого качества. В Польше возделывание подсолнечника носит экспериментальный характер; его возделывают в первую очередь на корм. Влажность семян подсолнечника собираемых в наших условиях составляет 30-45%. Для обеспечения длительного хранения следует снизить их влажность до 6%. Целью настоящего труда являлось определение влияния температуры и интенсивности потока воздуха на скорость сушки и жизнеспособность семян подсолнечника. Соответствующие исследования проводились в лабораторной пятиканальной конвекционной сушилке, делающей возможным произвольное регулирование температуры и скорости потока воздуха. Полученные результаты обнаружили, что продолжительность сушки требуемая для обеспечения конечной влажности сокращается для разной толщины слоев семян, как при росте температуры так и при повышении интенсивности потока воздуха; однако более сильным является в данном случае влияние температуры. Учитывая жизнеспособность семян /зависящую в значительной степени от температуры/ и пропускную способность сушилки, можно констатировать, что оптимальной для семян подсолнечника лежащих в неподвижном слое /нагрузка сита $M_sF = 68 \text{ кг/м}^2$ / является сушка в температуре $55-65^\circ\text{C}$ при массовом потоке воздуха, составляющем $0,19-0,25 \text{ г/м}^2/\text{сек.}$

M. Kolano, H. Lis

DETERMINATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF DRYING OF SUNFLOWER
SEED IN A MOTIONLESS LAYER

Summary

A necessity arises at present to widen the area of the sunflower cultivation. It is connected with a growth of the demand for vegetal oil of a high quality. The sunflower cultivation in Poland is of an experimental character; this crop is cultivated, first of all, as a fodder plant. The sunflower seed moisture, harvested under this country conditions is 30-45%. When designed for a prolonged storage, the sunflower seed moisture should be reduced to 6%. The aim of the work was to determine the effect of temperature and of the air flow intensity on the drying rate and viability of the sunflower seed. The investigations were carried out in the five-channel convectional laboratory drier, rendering possible an arbitrary regulation of temperature and of the air flow rate. The results obtained prove that the drying time required for getting the final seed moisture decreases for different thickness of layers, both at a growth of temperature and at an increase of the air flow rate, higher being the temperature effect. While taking into consideration the seed viability /being affected significantly by temperature/ and the drier capacity, it can be stated that optimum for the sunflower seed laying in a motionless layer /the sieve load $M_s F = 68 \text{ kg/m}^2$ / is drying at the temperature of 55-65°C and at a massy air flow of 0.19-0.25 kg/m²/s.