

PRZEBIEG KONWEKCYJNEGO SUSZENIA NASION KOSTRZEWY ŁĄKOWEJ W CIENKIEJ WARSTWIE

Z. KATEWICZ — Polska

Produkcja ziarniaków traw uprawnych, a szczególnie wzrastający ich przerób w zakładach suszenia i czyszczenia, stwarza zainteresowanie przebiegiem procesu wysychania.

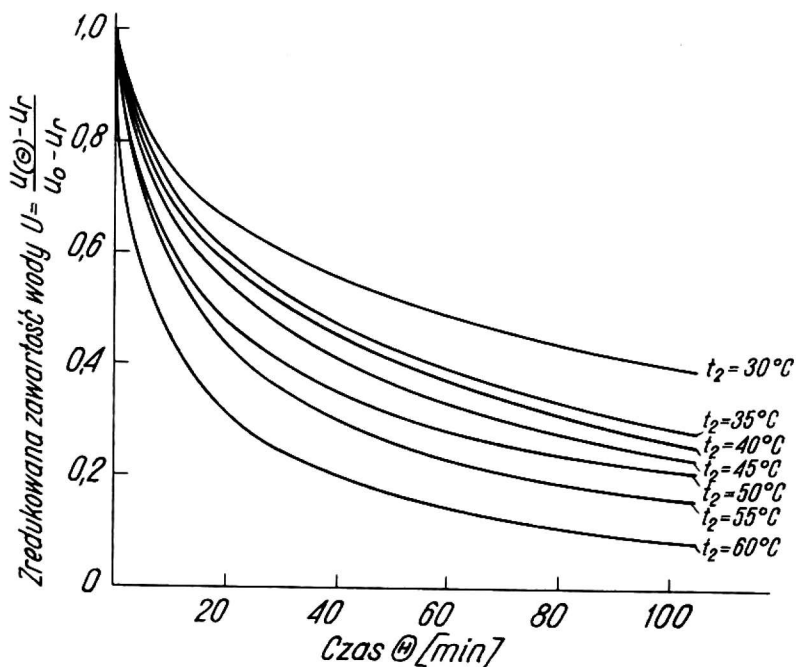
Celem podjętych i przeprowadzonych badań jest poznanie oraz ustalenie ścisłego charakteru procesu suszenia nasion traw na przykładzie ziarniaków kostrzewy łąkowej.

Badania przeprowadzono w suszarce laboratoryjnej, opisanej przez autora [5], umożliwiającej regulację oraz pomiar parametrów czynnika suszącego i temperatury nasion.

Wszystkie dokonane pomiary charakteryzował ten sam przebieg. Suszarkę rozgrzewano do poziomu wymaganej temperatury, zachowując określone natężenie przepływu czynnika G_p . Następnie sypano próbną porcję nasion kostrzewy łąkowej na sito pomiarowe, stosując obciążenie suchą masą $\frac{M_s}{F}$ założone dla danego doświadczenia. Próbną porcję nasion na sicie pomiarowym przetrzymywano tak długo, dopóki nie nastąpił stan cieplnej równowagi, co uwidoczniło się ustaleniem temperatury t_2 czynnika suszącego pod sitem pomiarowym w komorze suszenia. Po tym czasie zatrzymywano pracę suszarki, wysypywano nasiona z komory suszenia, zasypywano równomiernie na sito pomiarowe pierwszą próbkę nasion i natychmiast włączano grzejniki, wentylator i stopery. Po upływie 10, 20, 35, 50, 65 i 85 min czasu suszenia θ wyłączano suszarkę, wysypywano zawartość komory suszenia do naczynia szklanego, zamykano doszlifowanym korkiem i ważono ubytek odparowanej wody. Następnie znów zasypywano tę samą próbkę nasion na sito pomiarowe. Po 105 min ostatecznie usuwano nasiona z komory suszenia i określano ubytek zawartości wody.

Otrzymane wyniki z badań cienkiej warstwy nasion kostrzewy łąkowej pogrupowano, wybierając do analiz pomiary o nieznacznym odchyleniu różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_2$ oraz nieznacznym wahaniach temperatury czynnika suszącego t_2 pod sitem pomiarowym, traktując je jako powtórzenia pomiaru pewnej wartości. Wartości otrzymane drogą pomiarów przedstawiono po odpowiednich przeliczeniach na krzywych suszenia (rys. 1). Analizując przebieg krzywych suszenia (rys. 1) można stwierdzić, że suszenie nasion kostrzewy łąkowej o wilgotności początkowej

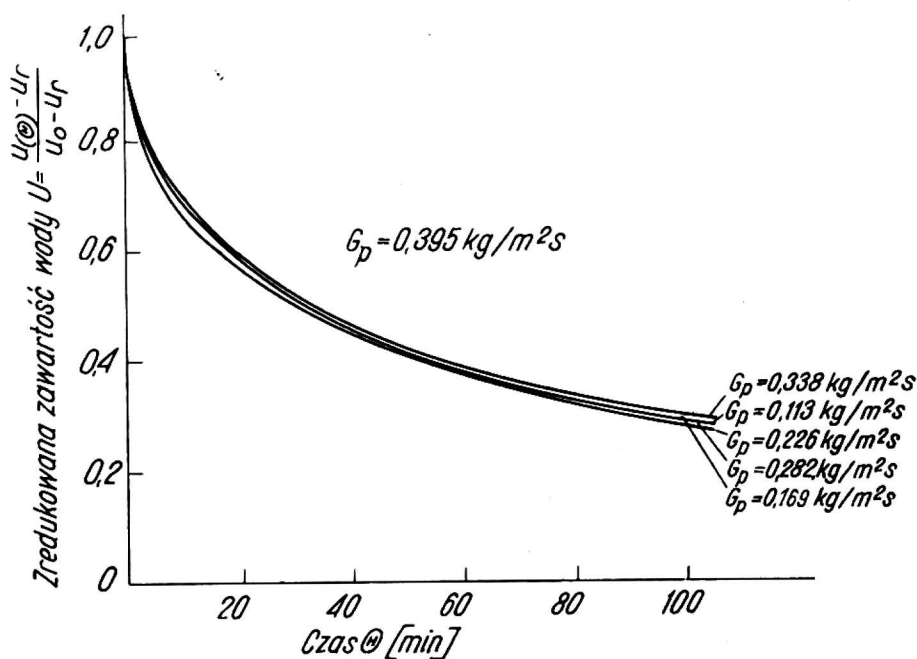
$w_0 \leq 19,2\%$ przebiegało tylko przy malejącej szybkości suszenia [6], tzn. w jego drugim okresie. Postawienie takiego wniosku uzasadnia spadek zawartości wody $U = f(\Theta)$, który od początku przebiega wzdłuż krzywej bez punktów krytycznych, oraz temperatura suszonego materiału (rys. 3), która wzrasta od momentu rozpoczęcia suszenia [8, 11]. Należało się spodziewać takiego przebiegu, gdyż nasiona



Rys. 1. Wpływ temperatury czynnika suszącego na prędkość suszenia nasion kostrzewy łąkowej w cienkiej warstwie

kostrzewy łąkowej używane do badań miały wilgotność początkową najprawdopodobniej niższą od wilgotności krytycznej.

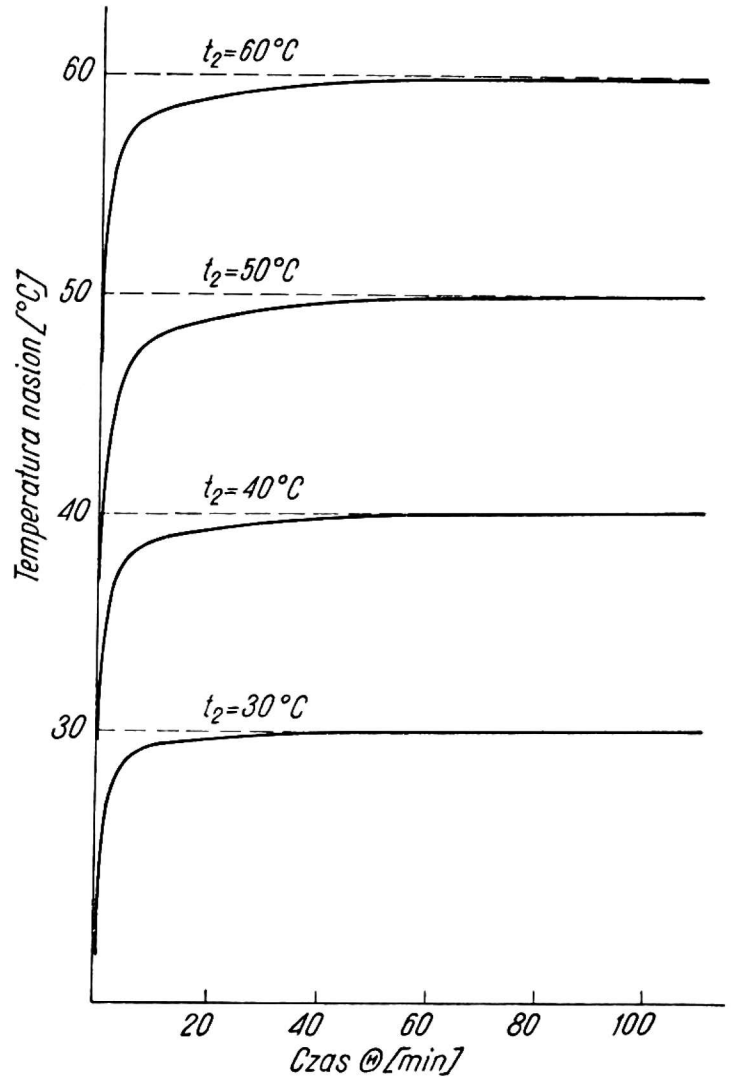
Ze wszystkich otrzymanych krzywych suszenia sporządzono wykresy zbiorcze, z których wynika, że w wypadku konwekcyjnego suszenia ziarniaków kostrzewy łąkowej większy wpływ na szybkość suszenia $\frac{du}{d\Theta}$ w cienkiej warstwie ma temperatura t_2 (rys. 1), mniejszy natomiast natężenie przepływu czynnika suszącego G_p (rys. 2),



Rys. 2. Wpływ natężenia przepływu czynnika suszącego G_p o $t_2 = 40^\circ\text{C}$ na szybkość suszenia nasion kostrzewy łąkowej w cienkiej warstwie

co potwierdza literatura [6, 8, 11, 12, 3, 2, 1]. Tak jest dla innych materiałów ziarnistych i dla nasion kostrzewy łąkowej. Wpływ ten występuje tylko w początkowym okresie suszenia i prawie zanika pod koniec [6, 12, 3].

Średnie wyniki uzyskane z wybranych pomiarów temperatury nasion naniesiono na oddzielny układ współrzędnych $t_n = f(\Theta)$ (rys. 3). Zmiany temperatury nasion t_n przedstawiono w podziałce zwiększonej, celem pokazania ich dokładnego przebiegu. Analiza krzywych wzrostu temperatury nasion t_n (rys. 3) pozwoliła na stwierdzenie, że wraz ze wzrostem temperatury czynnika suszącego t_2 wzrastał czas nagrzewania

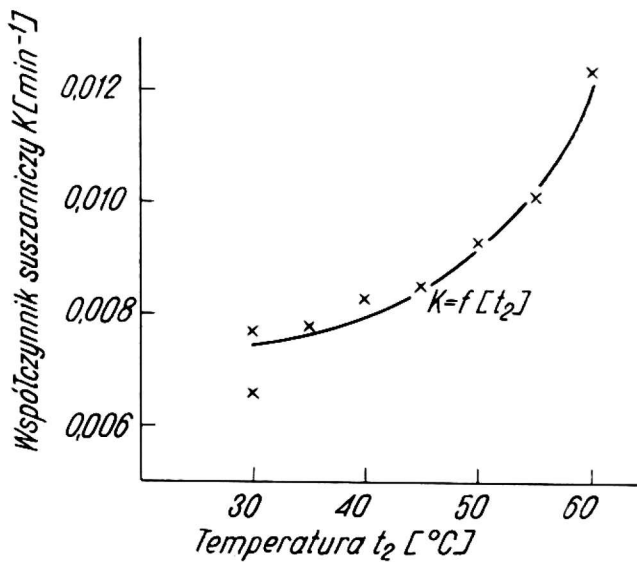


Rys. 3. Krzywe wzrostu temperatury cienkiej warstwy nasion w zależności od temperatury czynnika suszącego t_2 i czasu suszenia Θ

nasion, po którym osiągały one stopień nagrzania zbliżony do wartości temperatury podgrzanego powietrza. Ponadto stwierdzono, że w krótkim stosunkowo czasie, bo już po 15 min suszenia, nasiona kostrzewy łąkowej osiągną temperaturę t_n bardzo bliską temperaturze podgrzanego powietrza t_2 , a temperatura nasion t_n wahała się od 15 do 45 minuty czasu suszenia Θ w granicach 0,7-0,1°C. Jak już podano, w okresie malejącej szybkości suszenia decydujący wpływ na tę szybkość $\frac{du}{d\Theta}$ posiada właśnie temperatura czynnika suszącego t_2 .

Szybkość suszenia $\frac{du}{d\Theta}$ charakteryzuje współczynnik suszarniczy K . Ponieważ ze wzrostem temperatury nagrzania nasion wzrasta wartość współczynnika suszar-

niczego [3, 7, 8, 10, 12], do dalszych analiz i obliczeń korzystano z części krzywych suszenia (rys. 1, 3) zawartych między 45 a 105 minutą procesu suszenia, w czasie trwania którego nasiona posiadały stałą temperaturę. Na podstawie wykresów umieszczonych na rysunku 1 oraz różnicy czasu $\Theta = 105 \text{ min} - 45 \text{ min}$ obliczono wartość współczynnika suszarniczego K dla poszczególnych temperatur. Charakter zmian współczynnika suszarniczego K w zależności od temperatury czynnika suszącego $K = f(t_2)$ przedstawiono na rysunku 4. Tę samą zależność sprawdzono



Rys. 4. Wpływ temperatury czynnika suszącego na wartość współczynnika suszarniczego K

w układzie półlogarytmicznym $\ln K = f(t_2)$, uzyskując linię prostą (o współczynniku korelacji $r = 0,91$), co pozwoliło na podanie równania (1), według którego następują zmiany współczynnika suszarniczego K w funkcji temperatury czynnika suszącego t_2

$$K = 438 \cdot 10^{-5} \exp(1,63 \cdot 10^{-2} \cdot t_2) \cdot [\text{min}^{-1}]. \quad (1)$$

Korzystając z przedstawionych wartości współczynnika suszarniczego K i z zależności

$$K = \frac{a_m \cdot \pi^2}{R^2}, \quad (2)$$

obliczono współczynnik dyfuzji wody a_m . Wymieniona zależność (2) odnosi się do nasion kulistych. Z tego względu wyznaczono dla nasion kostrzewy łąkowej zastępczą średnicę $d_e = 2R = 1,6 \text{ mm}$. Zastępując w równaniu (2) współczynnik suszarniczy K zależnością (1) otrzymano równanie (3), określające wpływ temperatury czynnika suszącego t_2 na wartość współczynnika dyfuzji wody a_m

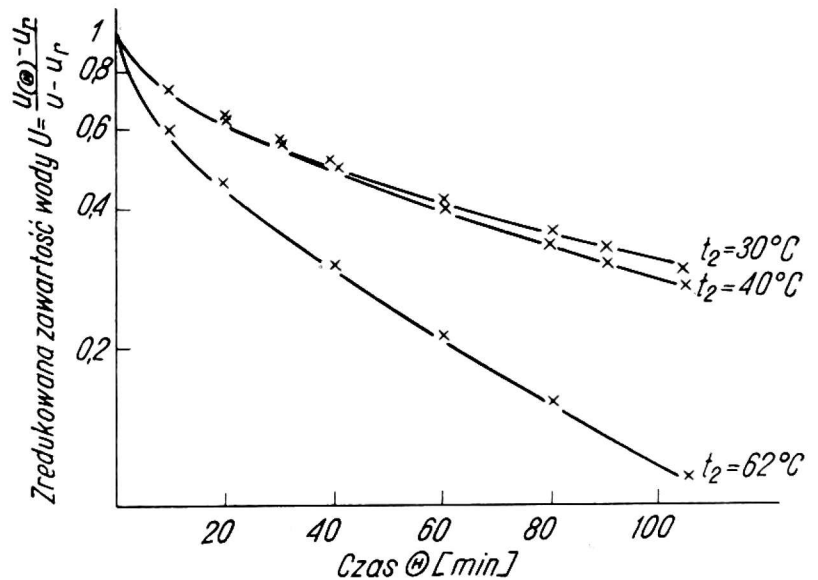
$$a_m = 285 \cdot 10^{-5} \exp(1,63 \cdot 10^{-2} \cdot t_2) \cdot \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{min}} \right]. \quad (3)$$

Na podstawie znanego współczynnika dyfuzji masy a_m obliczono z równania (4) wartość liczby Fouriera dla wymiany masy

$$Fo_m = \frac{a_m \cdot \Theta}{R^2}. \quad (4)$$

Dla poszczególnych wartości liczb Fouriera odczytywano z wykresu $U = f(Fo_m)$, podanego przez Łykowa [9], wartości zredukowanej zawartości wody w zależności od czasu suszenia Θ . Przebieg krzywej suszenia otrzymanej według podanych obliczeń przedstawiono na rysunku 5. Naniesione punkty pomiarów doświadczalnych wskazują na prawidłowość przeprowadzonych obliczeń. Niezgodność wartości obliczonych z danymi doświadczalnymi występuje tylko w czasie suszenia Θ krótszym od 40 min [6]. Jest to wynik działań przy założeniu stałej wartości współczynnika suszarniczego $K = \text{const}$, którą posiada ona przy stałej temperaturze nasion $t_n = \text{const}$ [4, 7, 8, 10, 11, 12]. Równania (1) i (3) mogą być stosowane w zakresie $0,136 \text{ kg H}_2\text{O/kg s. m.} < u < 0,238 \text{ kg H}_2\text{O/kg s. m.}$ dla temperatury nasion $30^\circ\text{C} < t_n < 62^\circ\text{C}$.

Przebieg krzywych suszenia przedstawionych w układzie półlogarytmicznym sprawdzono w oparciu o teoretyczne równanie suszarnicze. Jak wynika z analizy, przebieg krzywych suszenia uzyskanych drogą pomiarów doświadczalnych jest



Rys. 5. Krzywe suszenia cienkiej warstwy nasion kostrzewy łakowej uzyskane z obliczeń oraz punkty (x) z pomiarów doświadczalnych

zgodny z krzywymi wyznaczonymi za pomocą równania teoretycznego (5) podanego przez Pabisa [11, 12, 13].

$$\frac{u(\Theta) - u_r}{u_0 - u_r} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-n^2 \pi^2 Fo_m). \quad (5)$$

Przedstawione równanie (5) w postaci szybko zbieżnej sumy szeregu zastąpiono przy dokonywaniu obliczeń tylko pierwszymi trzema wyrazami tego szeregu, co dla praktyki inżynierskiej daje wyniki o dostatecznej dokładności [11, 12, 13].

$$\frac{u(\Theta) - u_r}{u_0 - u_r} = \frac{6}{\pi^2} \left[e^{-\pi^2 Fo_m} + \frac{1}{4} e^{-4\pi^2 Fo_m} + \frac{1}{9} e^{-9\pi^2 Fo_m} \right]. \quad (6)$$

Odchylenie krzywych doświadczalnych w zestawieniu z krzywymi obliczonymi teoretycznie według równania (6) występuje w pierwszych 50 min czasu suszenia [6].

Jest to efekt założenia przebiegu procesu suszenia przy stałej wartości współczynnika dyfuzji wody $a_m = \text{const}$, która w rzeczywistości rośnie wraz ze wzrostem temperatury [7, 9, 11, 12, 15].

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. Suszenie nasion kostrzewy łąkowej o wilgotności początkowej 19,2% przebiega tylko w drugim okresie suszenia, przy czym na krzywej nie stwierdzono punktów krytycznych.
2. Temperatura czynnika suszącego ma decydujący wpływ na szybkość suszenia nasion kostrzewy łąkowej w cienkiej warstwie w okresie malejącej szybkości suszenia.
3. Natężenie przepływu podgrzanego powietrza przy stałej różnicy psychrometrycznej pod sitem suszarki nie ma wpływu na szybkość suszenia cienkiej warstwy ziarniaków kostrzewy łąkowej w II okresie suszenia.
4. Wartość współczynnika suszarniczego i współczynnika dyfuzji wody nasion kostrzewy łąkowej rośnie wraz ze wzrostem temperatury czynnika w badanym przedziale wilgotności nasion.
5. Przebieg krzywych suszenia jest zgodny z równaniami teoretycznymi.

LITERATURA

1. Brown G. G.: Operacje jednostkowe. Inż. Chemiczna. PWT, Warszawa 1960.
2. Ciborowski J.: Podstawy inżynierii chemicznej. WNT, Warszawa 1965.
3. Garbuz T.: Wstępne badania nad konwekcyjnym suszeniem ziarna słonecznika ogrzewanym powietrzem. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 1961, z. 26, s. 267-279.
4. Henderson S. M., Pabis S.: Grain drying theory: 1. Temperature effect on drying coefficient. J. Agric. Engin. Research, 1961, nr 3, s. 169.
5. Katewicz Z., Lesiecki B.: Dokumentacja techniczna komorowej suszarki laboratoryjnej. Kat. Mech. Roln., WSR. Olsztyn, 1967.
6. Katewicz Z.: Wstępne badania nad konwekcyjnym suszeniem nasion kostrzewy łąkowej w cienkiej warstwie. Biul. inf. IMER, 1968, nr 10, s. 180-185.
7. Katewicz Z.: Wyznaczanie współczynnika suszarniczego i współczynnika dyfuzji wody z nasion kostrzewy łąkowej. Doniesienie wygłoszone w IMER 28.3.1969.
8. Łykov A. W.: Teorija suszki. Gosenergoizdat. Moskwa 1950.
9. Łykov A. W.: Teorija ciepłopropowodnosti G. J. T-T.L. Moskwa 1952.
10. Okuń G. S.: K'rasczotu prodložitielnosti suszki ziarna w słoje. Miech. i Elektr. Soc. Siel. Choz., 1963, nr 3, s. 20-23.
11. Pabis S.: Suszenie płodów rolnych. PWRiL, Warszawa 1965.
12. Pabis S.: Grain drying in thin layers. Paper, 1967, No 1/c/4, Agric. Engin. Symposium of the Inst. of Agric. Engineers on 12 Sept. of the National College of Agricultural Engineering. Silsoe.
13. Pabis S.: Zastosowanie uproszczonego analitycznego rozwiązania równania suszenia ciała stałego do obliczeń praktycznych. Roczn. Nauk rol. Ser. C. 1966, t. 68, z. 1, s. 69-79.

14. Sziefier W.: Izmierienije raznicy temperatur powierzchni i wnutriennej czasti ziarna. Sh. suszka i termiczeskaja obrabotka ziarna pierewody i riefieraty. Moskwa 1967.
15. Woprosy: Woprosy intensyfikacji pierienosa tiepla i massy w suszilnych i tiermiczeskich processach. Nauka i Technika, Mińsk 1967.

ХОД ПРОЦЕССА КОНВЕКЦИОННОЙ СУШКИ СЕМЯН ОВСЯНИЦЫ ЛУГОВОЙ В ТОНКОМ СЛОЕ

З. КАТЕВИЧ — Польша

Р е з ю м е

На основе проведенного лабораторного опыта сделан анализ влияния температуры и интенсивности течения сушильного агента на процесс сушки семян овсяницы луговой. Установлено, что значительное влияние на скорость сушки в тонком слое имеет интенсивность течения сушильного агента.

Одновременно с ростом температуры сушильного агента возрастало время нагрева семян, после чего эти два параметра достигали близкие по значению степени нагрева, что и решало характер изменений сушильного коэффициента и коэффициента диффузии массы. Представлено уравнения определяющие влияние температуры сушильного агента на значение данных коэффициентов.

Полученные действительные кривые сушки согласуются с теоретическими уравнениями при начальной влажности семян меньше чем 19,2%, когда процесс проходит во время падающей скорости сушки.

THE COURSE OF CONVECTIONAL THIN LAYER DRYING OF MEADOW FESCUE SEEDS

Z. KATEWICZ — Poland

S u m m a r y

Laboratory experiments were carried out on the basis of which the drying process of meadow fescue grains was analysed, as influenced by the temperature and the flow intensity of drying medium. The rate of thin layer drying was found to be more influenced by the temperature, while the flow intensity of drying medium appeared to have a less significant effect.

The more the temperature of drying medium increased, the greater duration of grain heating was observed, in which these both parameters could attain approximative values of the temperature at which the nature of changes in drying coefficient and mass diffusion coefficient were determined.

In addition, equations which describe the effect of drying medium temperature on the values of the coefficients in question were presented.

Actual drying curves were obtained which appeared to be in agreement with theoretical equations, when the original grain moisture content was less than 19.2% and the process was taking place in decreasing rate of drying.

DER VERLAUF DER KONVEKTIONS-DÜNNSCICHTTROCKNUNG VON WIESENSCHWINGELSSAMEN

Z. KATEWICZ — Polen

Z u s a m m e n f a s s u n g

Auf Grund der ausgeführten Laboratoriumsversuche wurde der Einfluss der Temperatur und der Durchflussintensität von Trocknungsmittel auf den Trocknungsvorgang von Wiesenschwingskörnern analysiert.

Es wurde festgestellt, dass die Geschwindigkeit der Dünnschichttrocknung ist mehr durch die Temperatur beeinflusst, während die Durchflussintensität eine weniger starke Wirkung hatte.

Mit der erhöhten Temperatur wurde auch die Zeit der Körnerwärmung verlängert, in dem diese beide Parameter die annähernden. Werte des Erwärmungsgrades erreichten, der über die Natur des Trocknungs und Massdiffusionskoeffizienten entschiedete. Gleichungen wurden ausgeführt, die Beeinflussung der angegebenen Koeffizientenwerte durch die Temperatur des Trocknungsmittels bestimmten.

Die erhaltenen wirklichen Trocknungskurven stimmten mit den theoretischen Gleichungen überein, wenn die Anfangsfeuchtigkeit der Samen unter 19,2% lag, dann ging der Vorgang in dem Period der abnehmenden Trocknungsgeschwindigkeit vor sich.