

SYNTETYCZNE WYNIKI BADAŃ KONWEKCYJNEGO SUSZENIA NIERUCHOMEJ GRUBEJ WARSTWY NASION KOSTRZEWEY ŁĄKOWEJ

Z. KATEWICZ — Polska

WSTĘP

Dążność do optymalizacji procesów technologii suszenia nasion trwa, a przez nią do osiągnięcia maksymalnych wydajności suszarni i skrócenia przez to czasu przerobu surowca prowadzi przez gruntowne poznanie i określenie ścisłych parametrów procesu suszenia. Dlatego podjęto badania, które miały na celu określenie takich parametrów termicznego procesu wysychania ziarniaków kostrzewy łąkowej, przy których nie występują ujemne skutki biologiczne.

METODYKA BADAŃ

Suszarkę laboratoryjną opisaną przez autora [5] doprowadzono do stanu równowagi cieplnej. Następnie zatrzymywano jej pracę i do komór suszenia na sita pomiarowe zasypywano po 10 kg nasion kostrzewy łąkowej, po czym włączano urządzenia i rejestrowano początek czasu suszenia Θ . Po upływie czasu $\Theta = 30, 70, 120, 180$ i 240 min wyłączano grzejniki oraz wentylator i za pomocą specjalnej sondy pobierano przez poziome otwory w ściankach komór suszenia pięć próbek nasion w celu oznaczenia ubytku wody na poszczególnych 5 poziomach nieruchomej warstwy nasion i natychmiast włączano pracę suszarki.

WYNIKI BADAŃ

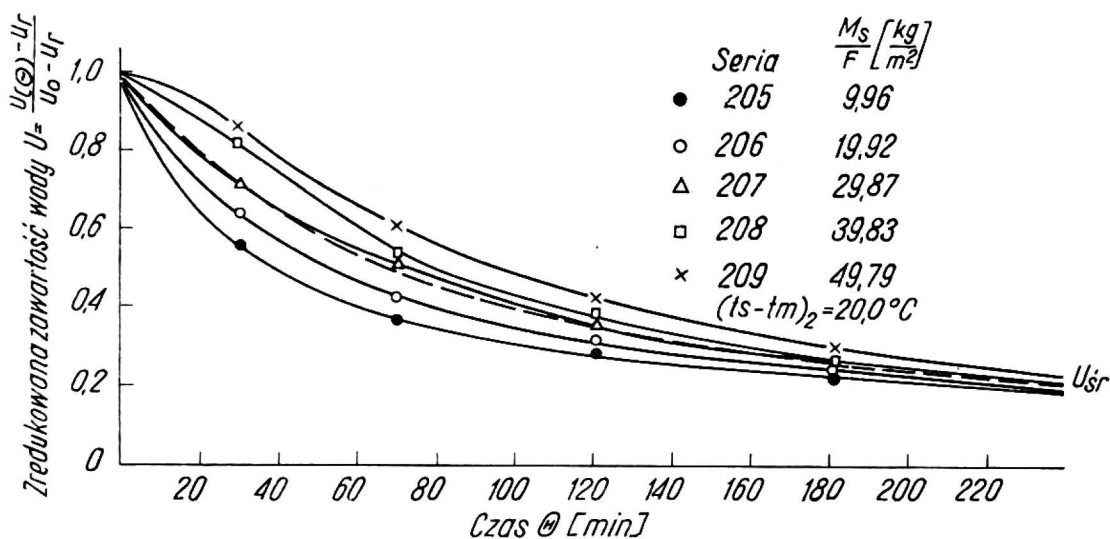
Do analizy przyjęto serie pomiarów przebiegających przy stałej w przybliżeniu różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_2 = 18,7 - 20,0^\circ\text{C}$ i natężeniu przepływu czynnika suszącego $G_p = 0,113 - 0,396 \text{ kg/m}^2\text{s}$ oraz obciążeniu sit pomiarowych suchą masą nasion $H = \frac{M_s}{F} = 45 - 50 \text{ kg/m}^2$. Zmierzone i odpowiednio przeliczone wartości z pomiarów naniesiono na układy współrzędnych w zależności $U = f(\Theta)$. Otrzymano krzywe suszenia przedstawiające przebieg wysychania każdego z pięciu poziomów nieruchomej warstwy ziarnistego materiału. Graficzny obraz wysychania takiej warstwy przedstawiono przykładowo na rysunku 1. Podane wykresy sugerują, że średnia zredukowana zawartość wody U w suszonej warstwie ziarniaków kostrzewy

ławkowej jest zależna nie tylko od czasu suszenia Θ , ale także od poziomu warstwy $H = \frac{M_s}{F}$. Potwierdza to również literatura [1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

Tak więc:

$$U = \frac{u_{(\Theta)} - u_r}{u_0 - u_r} = f(\Theta, H). \quad (1)$$

Wzrost natężenia przepływu podgrzanego powietrza G_p nieznacznie zwiększył szybkość suszenia pierwszego (a) poziomu warstwy nasion $\frac{M_s}{F} \approx 10 \text{ kg/m}^2$, wywarł natomiast zdecydowany wpływ na przebieg szybkości suszenia i rozkład zawartości



Rys. 1. Krzywe suszenia nasion kostrzewy ławkowej w grubych warstwach $U = f(\Theta)$ dla $t_2 = 40,4^\circ\text{C}$ i $G_p = 0,396 \text{ kg/m}^2\text{s}$

wody wewnątrz warstwy, co uwidoczniło się zmianą przebiegu krzywych dla poszczególnych poziomów nasion. W związku z powyższym zależność (1) można napisać w postaci następującej:

$$U = f(\Theta, H, G_p). \quad (2)$$

Równanie (2) określa w sposób ogólny zależności panujące we wnętrzu suszonej warstwy nasion.

Ubytki średniej zredukowanej zawartości wody U w warstwie w określonym czasie Θ i na poziomie H zależą także od warunków wysychania na brzegu warstwy. Podobnie jak w cienkiej warstwie przy obciążeniu sita pomiarowego suchą masą nasion $\frac{M_s}{F} = H_1 \text{ kg/m}^2$. Takiemu przedstawieniu powyższego problemu odpowiada układ zależności:

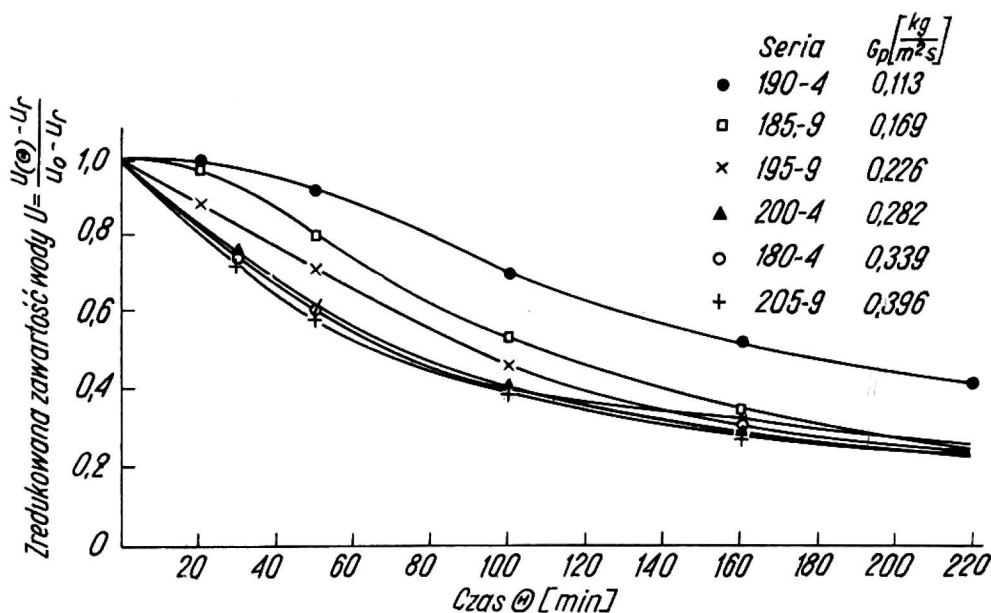
$$U = f(\Theta, H, G_p, U_1), \quad (3)$$

gdzie $U_1 = f(\Theta, H_1)$.

Z analizy danych wykresów wynika, że szerokość wiązki krzywych (każda odpowiada innemu poziomowi warstwy) a tym samym wartość gradientu zawartości

wody między poszczególnymi słojami warstwy zmienia się w zależności od czasu suszenia Θ , obciążenia sita pomiarowego suszarki suchą masą M_s/F i natężenia przepływu czynnika suszącego G_p przez warstwę suszonych ziarniaków. Wzrost tego natężenia wpływa na równomierność wysychania poszczególnych poziomów nasion. Równomierność wysychania, a zatem rozkład zawartości wody w wysuszonej warstwie materiału, posiada duże znaczenie dla praktyki przy otrzymywaniu dobrego materiału siewnego o wyrównanej zawartości wody. Dlatego wprowadzono pojęcie i wyznaczono zależność współczynnika równomierności wysychania zależnie od natężenia przepływu podgrzanego powietrza. W tym celu przeprowadzono na wykresach dla $U = f(\Theta)$ (np. rys. 1) średnie wartości (linie przerywane) zredukowanej zawartości wody dla całej warstwy ziarnistego materiału.

Otrzymane średnie wartości zredukowanej zawartości wody dla warstwy suszonych nasion naniesiono na wykres zbiorczy (rys. 2). W punkcie, w którym średnia zredukowana zawartość wody w warstwie nasion osiągnęła wartość odpowiadającą wilgotności 13% wyznaczono maksymalną i minimalną zawartość wody. Iloraz różnicy maksymalnej i minimalnej przez średnią zredukowaną zawartość wody nazwano współczynnikiem równomierności wysychania. Przyjęto, że wilgotne ziarniaki kostrzewy łąkowej powinny przeciętnie być suszone do wilgotności 13%,



Rys. 2. Przebieg krzywych średniej zredukowanej zawartości wody U w grubych warstwach nasion w zależności od natężenia przepływu czynnika suszącego G_p i czasu suszenia Θ

którą uznano za średnią odpowiadającą średniej zredukowanej zawartości wody w nasionach zależnie od wilgotności początkowej. Opierając się na analizie podanych już wykresów współczynnika równomierności wysychania można podać w formie następującej zależności (rys. 3):

$$\frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{sr}}} = f(G_p) \quad (4)$$

$$\text{przy } \frac{M_s}{F} \approx \text{const}, \quad t_2 \approx \text{const}, \quad (t_s - t_m)_2 \approx \text{const}.$$

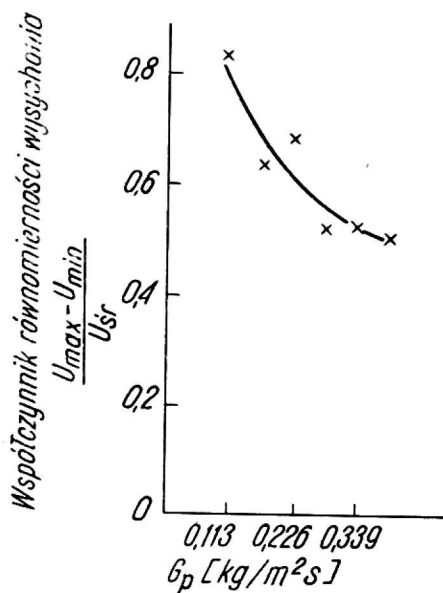
Podaną zależność (4) sprawdzono w układzie półlogarytmicznym

$$\ln \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{sr}}} = f(G_p)$$

i otrzymano linię prostą o współczynniku korelacji $r = 0,91$. Fakt ten posłużył do wyznaczenia równania wykładniczego:

$$\frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{sr}}} = 93,35 \cdot 10^{-2} \exp(-171,3 \cdot 10^{-2} \cdot G_p), \quad (5)$$

które określa spadek nierównomierności zawartości wody w warstwie suszonych nasion w zależności od wzrostu natężenia przepływu czynnika G_p przy średniej



Rys. 3. Zależność współczynnika równomierności wysychania nasion kostrzewy łąkowej w grubej warstwie, przy $u_{\text{sr}} = 0,149$ kg H₂O/kg s.m. od natężenia przepływu czynnika suszącego G_p

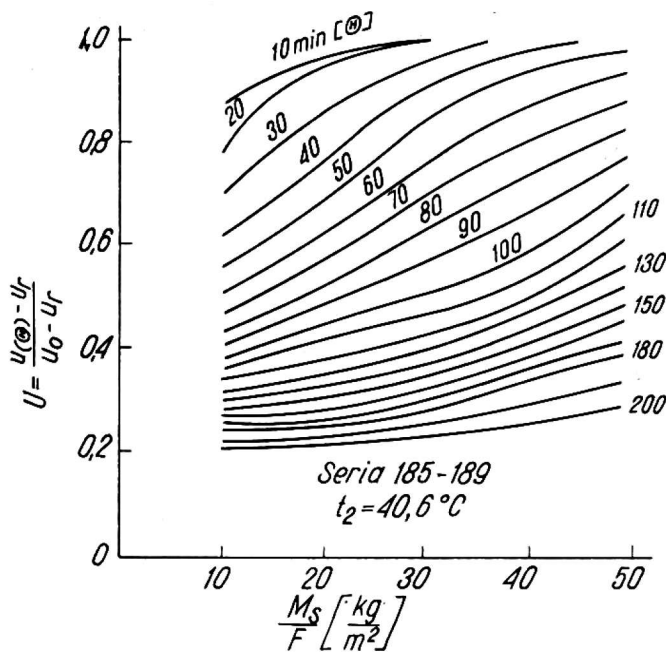
końcowej wilgotności nasion równej 13%. Wyrównanie wilgotności nasion uzyskuje najwyższy efekt przy natężeniu przepływu powietrza będącego na pograniczu fluidyzacji, która następuje przy $G_p \geq 0,400 - 430$ kg/m²s. Przyjęto, że końcowa zawartość wody w nasionach po przeprowadzeniu suszenia nie powinna ze względów ekonomicznych być niższa od 0,136 kg wody na 1 kg suchej masy (12%), ale jednocześnie nie powinna przekraczać 0,163 kg wody na 1 kg s. m. (14%) [12]. Przy takich granicznych zawartościach wody współczynnik nierównomierności wysychania dla nasion o wilgotności początkowej 19,4% wynosi tylko 0,29. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono w jakich poziomach znajdują się nasiona o podanych granicznych zawartościach wody oraz po jakim okresie ją uzyskują. Wykresy te podają linie rozkładu zredukowanej zawartości wody U w czasie suszenia Θ w zależności od

obciążenia sit pomiarowych suchą masą nasion $\frac{M_s}{F}$. Wynika z nich, że krzywe

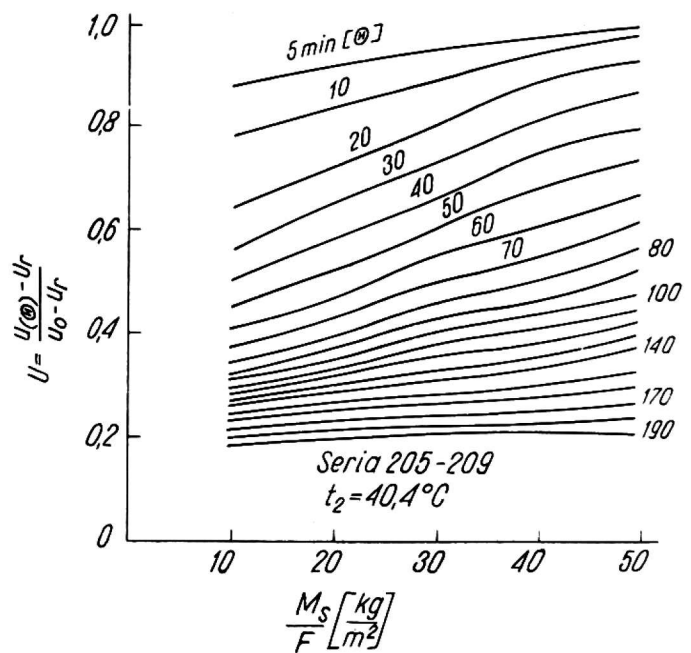
rozkładu zawartości wody wydłużają się w miarę wzrostu natężenia przepływu podgrzanego powietrza przez warstwę, obejmując swym zasięgiem większość poziomów; zwiększa się więc strefa suszenia nasion. Przy natężeniu przepływu $G_p \geq 0,339$ kg/m²s strefa suszenia obejmuje całą warstwę nasion o wilgotności

18-19%, przy obciążeniu sit pomiarowych $\frac{M_s}{F} = \text{ok. } 50$ kg/m².

Najbardziej efektywne z uwagi na czas suszenia i równomierność wysychania nieruchomej warstwy jest obciążenie sita pomiarowego suchą masą nasion $\frac{M_s}{F} = 20-30 \text{ kg/m}^2$, przy natężeniu przepływu czynnika suszącego w granicach $0,226-0,339 \text{ kg/m}^2\text{s}$, przy jego temperaturze $t_2 \text{ const} = 40^\circ\text{C}$ i różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_2 = 18,7-20^\circ\text{C}$. Wówczas dolna (na sicie) warstwa posiada średnią zawartość



Rys. 4. Rozkład zredukowanej zawartości wody U w czasie Θ w zależności od obciążenia sita suchą masą nasion kostrzewy łąkowej $H = M_s/F$ podczas suszenia w grubych warstwach, dla $G_p = 0,169 \text{ kg/m}^2\text{s}$



Rys. 5. Rozkład zredukowanej zawartości wody U w czasie Θ w zależności od obciążenia sita suchą masą nasion kostrzewy łąkowej $H = M_s/F$ podczas suszenia w grubych warstwach, dla $G_p = 0,396 \text{ kg/m}^2\text{s}$

wody $0,136$, a górna $0,163 \text{ kg H}_2\text{O/kg s. m.}$ Dla uzyskania tej samej zredukowanej zawartości wody w warstwie suszonych nasion od $0,45$ do $0,60$, przy obciążeniu

sita pomiarowego suchą masą $\frac{M_s}{F} = 25 \text{ kg/m}^2$ i przy różnych natężeniach przepływu

powietrza przez warstwę, czas suszenia Θ dla $G_p = 0,113 \text{ kg/m}^2\text{s}$ wyniósł 160 min , dla $G_p = 0,169 \text{ kg/m}^2\text{s}$ czas suszenia wyniósł tylko 75 min . Pozwala to sądzić, że w danych warunkach suszenia natężenie przepływu czynnika suszącego ma decydujący wpływ na szybkość i równomierność wysychania nasion w grubej warstwie [2, 3, 8, 9, 13]. Ponadto zaobserwowano przy $G_p \geq 0,282 \text{ kg/m}^2\text{s}$ spulchnienie nieruchomej warstwy, dzięki czemu zwiększyła się czynna powierzchnia parowania nasion.

WNIOSKI

1. Suszenie ziarniaków kostrzewy łąkowej w grubych warstwach jest zależne od:
 - przebiegu suszenia warstwy brzegowej,
 - obciążenia sita suchą masą nasion,
 - natężenia przepływu czynnika suszącego,

- wilgotności nasion w danym poziomie,
- wilgotności względnej powietrza,
- czasu suszenia.

2. Natężenie przepływu czynnika w decydujący sposób wpływa na szybkość i równomierność wysychania nasion kostrzewy łąkowej w grubych warstwach przy stałej temperaturze podgrzanego powietrza wynoszącej około 40°C.

3. Stwierdzono, że najbardziej ekonomiczne natężenie przepływu czynnika suszącego stosowane w procesie suszenia ziarniaków kostrzewy łąkowej jest $0,22 \leq G \leq 0,34$ kg/m²s, przy temperaturze powietrza $t_2 \approx 40^\circ\text{C}$ i obciążeniu sita suchą masą materiału $\frac{M_s}{F}$ w granicach 20-30 kg/m².

LITERATURA

1. Boyce D. S.: Heat and moistur transfer in ventilated grain. J. Agric. Engng. Res. 1966, nr 4, s. 255-265.
2. Garbuz T.: Wstępne badania nad konwekcyjnym suszeniem ziarna słonecznika ogrzewanym powietrzem. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 1961, z. 26, s. 267-279.
3. Ginzburg A.: Naukowe podstawy technologii suszenia ziarna. Naukowe podstawy ochrony plonów. 1966, s. 260-269.
4. Isaaes G., Schevermann A.: Die Berechnung von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen mit dicken Schüttontschichten. Landtechnik Torsch. 1964, nr 4, s. 111-120.
5. Katewicz Z., Lesicki B.: Dokumentacja techniczna komorowej suszarki laboratoryjnej. Kat. Mech. Roln. WSR Olsztyn 1967.
6. Łykow A. W.: Teorija suszki Gosenergoizdat. Moskwa 1950.
7. Okuń G. S.: K'rasczotu prodłozitielnosti suszki ziarna w słoje. Miech. i Elektr. Soc. Siel. Coz. 1963, nr 3, s. 20-23.
8. Pabis S.: Suszenie płodów rolnych. PWRiL, Warszawa 1965.
9. Pabis S.: Wykreślno-analityczna metoda obliczenia procesu suszenia kaczanów kukurydzy w grubych warstwach. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 1961, z. 26 s. 7-23.
10. Pabis S.: Wpływ różnicy psychrometrycznej nateżenia przepływu powietrza oraz obciążenia sita suszarni na przebieg sztucznego dosuszania lucerny. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 1961, z. 26, s. 119-139.
11. Pczelkin J.: Optimalnyje energeticzeskije parametry processa suszki ziarna w niepodwiznym słoje. Miech. Elektr. 1965, nr 1, s. 42-43.
12. Polska Norma: PN-65/R-65025.
13. Rownyj G.: Raszczot processa suszki pri wientilirowaniu. Miech. Elektr. 1965, nr 2, s. 11-13.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНВЕКЦИОННОЙ СУШКИ НЕПОДВИЖНОГО ТОЛСТОГО СЛОЯ СЕМЯН ОВСЯНИЦЫ ЛУГОВОЙ

З. КАТЕВИЧ — Польша

Резюме

Анализ результатов исследований показал, что среднее приведенное содержание влаги в сушеном слое семян овсяницы луговой зависит не только от времени сушки, а также от уровня слоя и условий сушки граничного слоя. Увеличение интенсивности течения сушиль-

ного агента незначительно повышает скорость сушки первого уровня слоя семян. Оно имеет решающее влияние на ход скорости сушки и распределение влагосодержания внутри слоя, вследствие чего повышается равномерность сушки, определяемая с помощью выведенного коэффициента равномерности сушки, изменения которого представлены уравнем.

Анализ пополнен оптимальными параметрами хода сушки в толстом слое семян овсяницы луговой.

Опыт проведен на специальной лабораторной сушилке, дающей возможность брать пробы для определения влагосодержания с разных мест высоты слоя семян во время хода процесса.

SYNTHETIC RESULTS OF STUDIES ON THE CONVECTIONAL DRYING OF THE IMMOBILE THICK LAYER OF MEADOW FESCUE SEEDS

Z. KATEWICZ — Poland

S u m m a r y

The results of the analysis showed that the average reduced water content in the layer of meadow fescue grains to be dried depended not only on the drying time, but also on the thickness of layer and drying conditions of the bottom thin layer.

The increased flow intensity of drying medium resulted in a slightly higher drying rate of the bottom thin grain layer. It was however influencing the development of drying rate and water content distribution inside the layer, thus increasing the uniformity of drying, as expressed by the uniformity coefficient, the variations of which were presented by an equation.

The analysis was completed with optimum development parameters for the thick layer drying of meadow fescue grains. The experiments were carried out on a special laboratory dryer which allowed to remove the samples of dried grain during the drying process from 5 levels of grain layer.

SYNTHETISCHE VERSUCHSERGEBNISSE BEI DER KONVEKTIONSTROCKNUNG DER UNBEWEGLICHEN DICKEN SCHICHTE VON WIESENSCHWINGELSKÖRNERN

Z. KATEWICZ — Polen

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

Die Analyse der Versuchsergebnisse wies auf, dass der mittlere reduzierte Wassergehalt in der zu trockenden Schichte von Weidenschwingelskörnern nicht nur von der Trocknungszeit, sondern auch von Schichtenniveau und von den Trocknungsbedingungen der Randschichte abhängig ist. Durch die zunehmende Durchflussintensität des Trocknungsmittel wird die Trocknungsgeschwindigkeit im ersten Schichtenniveau von Körner nur unwesentlich erhöht, aber der Verlauf der Trocknungsgeschwindigkeit und die Wassergehaltsverteilung im innern der Schichte wurde dadurch entscheidend beeinflusst, und die Gleichmässigkeit der Trocknung, die mit dem eingeführten Trocknungsgleichmässigkeitskoeffizienten berechnet wurde, erhöht. Die Veränderung dieses Koeffizienten wurden mit der Gleichung dargestellt.

Die Analyse wurde mit optimalen Parametern für den Verlauf der Dickschichttrocknung von Wiesenschwingelskörnern ergänzt.

Die Vresuche wurden in speziellen Labortrockner ausgeführt der die Entnahme der Feuchtigkeitsproben von 5 Niveau der Körnerschichte während des Vorgangs ermöglichte.