

NIEKTÓRE ZALEŻNOŚCI PRĘDKOŚCI PRZEPLYWU POWIETRZA W DZIAŁANIU SUSZARNI O GRUBEJ WARSTWIE ZIARNA

S. M. HENDERSON — USA

Niezadowalające działanie suszarń do ziarna i innych produktów jest często wynikiem niedostatecznego natężenia przepływu powietrza poprzez masę suszonego materiału. Doświadczenie wykazało, że wiele czynników może przyczyniać się do powstawania takiej sytuacji. Na przykład uszkodzenie kanału powietrznego, modyfikacja systemu doprowadzenia powietrza, osiadanie pyłu w zaworach regulujących ilość powietrza, obniżenie obrotów wentylatora, nieodpowiednia konstrukcja urządzenia (wynikająca z dążenia do obniżenia początkowych nakładów), wzrost oporów przepływu powietrza przez masę ziarna itp.

Badania przeprowadzone przez autora wskazują, że niedostateczny przepływ powietrza najczęściej powoduje wadliwe działanie istniejących systemów suszarń. Dotyczy to szczególnie suszarń, w których suszy się partie ziarna w grubych warstwach. W związku z tym, analiza działania suszarni z punktu widzenia natężenia przepływu powietrza przez warstwę ziarna ułatwia zrozumienie problemu.

ZAPOTRZEBOWANIE MOCY PRZEZ WENTYLATOR]

Zapotrzebowanie mocy do napędu wentylatora wyraża się iloczynem prędkości objętościowej przepływu powietrza q w suszarni oraz ciśnienia powietrza p , które to wielkości są wynikiem pracy wentylatora [1]. Ciśnienie składa się z sumy spadków ciśnienia wynikających z różnych przeszkód stwarzających opory przepływu w systemie doprowadzającym powietrze oraz masie ziarna. Ciśnienie dla systemu przedstawionego schematycznie na rysunku 1 może być wyrażone następująco:

$$p = ahq^N. \quad (1)$$

Przyjmuje się, że w najczęściej stosowanych grubościach warstwy ziarna h spadek ciśnienia jest liniową funkcją grubości warstwy. Dla przewodów o przekroju okrągłym lub prostokątnym wraz z systemem komory wyrównującej ciśnienie $N = 1,8$. Przeprowadzono także liczne studia dotyczące współzależności między spadkiem ciśnienia a natężeniem przepływu gazu w materiałach ziarnistych [2, 3, 4]. Wartości N dla różnych materiałów zmieniają się na ogół w zakresie 1,4-1,7. Wartość 1,6 jest reprezentatywna dla większości materiałów. Wykładnik potęgowy N jest mniejszy od dwu, ponieważ wartość liczby Reynolds'a zależy od prędkości przepływu po-

wietrza. Wraz ze zmianą prędkości przepływu powietrza zmienia się również współczynnik tarcia.

W wyniku tego, moc P w warunkach ustalonych wyniesie:

$$P = bqp, \quad (2)$$

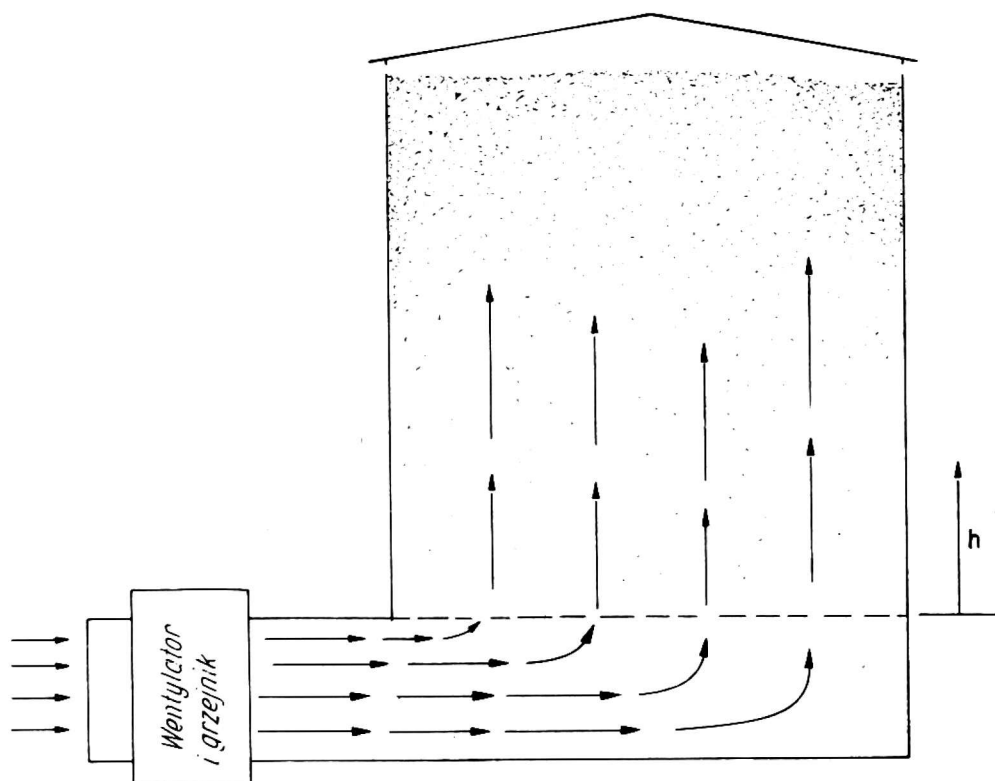
po wprowadzeniu zaś równości z równania (1)

$$P = abhq^{1+N}. \quad (3)$$

Zmianę zapotrzebowania mocy wymaganą dla określonej zmiany prędkości przepływu powietrza można przewidywać stosując równanie (3) w następującej formie:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^{1+N}. \quad (4)$$

Gdy np. prędkość przepływu powietrza ma wzrosnąć o 15%, a N wynosi 1,6, należy przewidywać niezbędny przyrost mocy o około 44%. Gdy prędkość przepływu powietrza musi być podwojona, niezbędny wzrost mocy będzie wynosił około 505%.



Rys. 1. Schemat przedstawiający suszarnię przeznaczoną do suszenia grubej warstwy ziarna z przyjętym modelem przepływu powietrza (wentylator oraz grzejnik)

W pewnych okolicznościach, ze względu na potrzebę zwiększania zdolności suszącej urządzenia, może być umieszczana w systemie suszarni dodatkowa ilość ziarna. W wyniku tego opory systemu suszarni wzrosną, prędkość przepływu powietrza ulegnie obniżeniu, a czas suszenia wydłuży się.

Większa masa ziarna może być wysuszona w takim samym czasie co i mniejsza, jeśli prędkość przepływu powietrza na jednostkę objętości zostanie zachowana stała

(patrz równanie 9 i dalszy tekst). A zatem, dla układu suszarni na rysunku 1 oraz przy stałym czasie suszenia, niezależnie od grubości warstwy

$$q = Ch. \quad (5)$$

Po podstawieniu tego równania do równania (3) otrzymujemy

$$P = \frac{ab}{C^{1+N}} h^{2+N} \quad (6)$$

lub w formie stosunku określającego zmianę mocy

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^{2+N}. \quad (7)$$

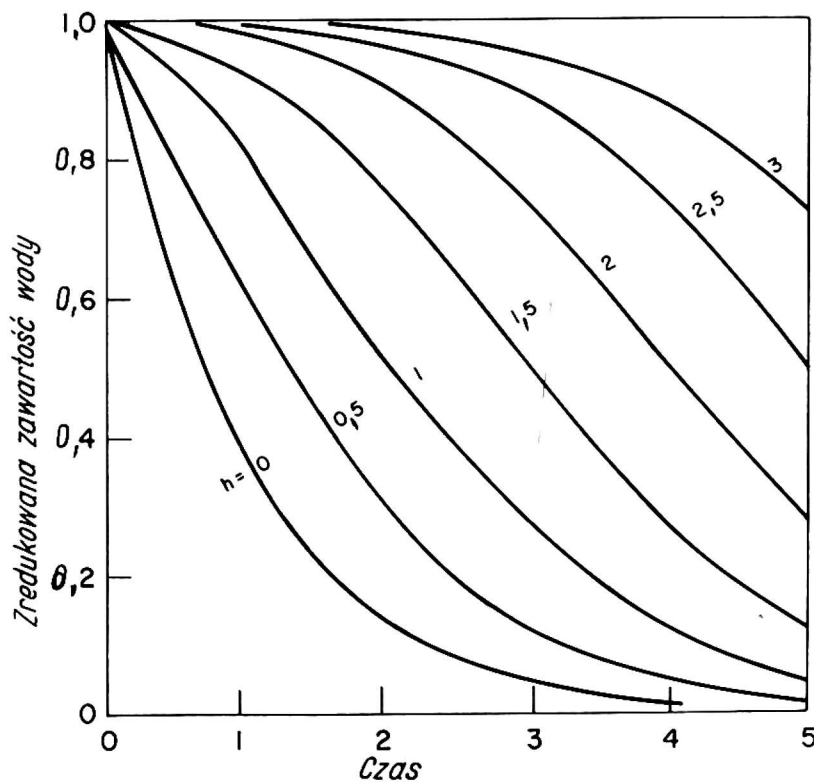
Jeżeli np. przyjmiemy, że wymagany jest ten sam czas suszenia, podczas gdy grubość warstwy wzrasta od 3 do 3,5 m, a N wynosi 1,6, to moc na napęd wentylatora musi wzrosnąć o 74%.

Dyskutowana powyżej koncepcja obliczenia zapotrzebowania mocy wskazuje, że jeśli określona masa ziarna ma być wysuszona w ciągu ustalonego czasu przy minimalnym zapotrzebowaniu mocy, to powierzchnia sita suszącego (rys. 1) powinna być możliwie duża, natomiast grubość warstwy możliwie mała.

NIEKTÓRE PODSTAWOWE ASPEKTY SUSZENIA W GRUBEJ WARSTWIE

Rozkład zawartości wody w czasie, na różnych głębokościach grubej warstwy ziarna w suszarni, został przedstawiony na rysunku 2.

Rys. 2. Model współzależności między zawartością wilgoci, czasem suszenia oraz grubością warstwy. Czas może być rozpatrywany w dniach, grubość zaś warstwy ziarna (h) w metrach



Doświadczenia wykazały, że oporność w oddawaniu wilgoci przez pojedyncze ziarno zboża do otaczającego powietrza jest charakterystyczną cechą wewnętrzną ziarna i że warstewka powietrza jaka otacza ziarno nie ma praktycznego wpływu na przebieg oddawania wody [5]. Bardzo niewielki efekt uwidacznia się jedynie

przez okres do dwóch godzin po rozpoczęciu suszenia i przy zastosowaniu mniejszej prędkości przepływu, w granicach jednego do dwu metrów na minutę. Prędkości przepływu powietrza w suszarniach są jednak zawsze dużo większe, a tym samym wpływ wysychania pojedynczego ziarna na przebieg suszenia w warstwie może być pominięty. W związku z tym krzywa suszenia (rys. 2) dla zerowej grubości warstwy nie zależy od prędkości przepływu powietrza przez warstwę ziarna. Krzywa ta zależy od temperatury i wilgotności względnej powietrza, regulujących równowagę zawartość wody w ziarnie, czyli zawartość wody do jakiej ziarno jest doprowadzane.

Obecnie rozważmy fakt, gdy wilgotność, która podlega usunięciu z części warstwy ziarna, jest odbierana przez powietrze, w czasie gdy przepływa ono przez warstwę ziarna. Zawartość wody w powietrzu zwiększa się, więc wilgotność względna powietrza wzrasta, a jego temperatura ulega obniżeniu. To ostatnie zjawisko wynika z adiabatycznego charakteru procesu. Następujące równania opisują ten proces:

$$\frac{dM}{d\Theta} = -a(M - M_E), \quad (8)$$

$$\frac{\Delta H}{\Delta \Theta} = d \frac{\Delta M}{\Delta \Theta} \cdot \frac{q}{vhA}. \quad (9)$$

Z równania (9) wynika, że jeżeli $q/h = \text{const}$, to także $\Delta H/\Delta M = \text{const}$, a przebieg suszenia odbywa się tak, jak to ilustruje rysunek 2.

Dokładna matematyczna analiza suszarni o grubej warstwie wymaga zastosowania komputera do rozwiązania równań (8) i (9) z uwzględnieniem, że H , A , M_E oraz temperatura powietrza są zmienne. Osiągnięto pewien postęp w rozwiązywaniu równań [6, 7, 8], jednak omawianie tego zagadnienia nie jest przedmiotem tej pracy.

WSPÓLZALEŻNOŚĆ MODELU PRĘDKOŚCI PRZEPIYWU POWIETRZA

Równanie (9) znajduje zastosowanie niezależnie od ukształtowania suszarni. W związku z tym, dla stałej wielkości q oraz przy stałej objętości suszarni, rysunek 2 przedstawia model przebiegu suszenia w suszarni o określonej objętości, przy dużej powierzchni podstawy i niewielkiej grubości warstwy lub też dla małej powierzchni podstawy i znacznej grubości warstwy. Należy tu zaznaczyć, że moc wentylatora obliczona według podanych wzorów stanowiłaby niezbędne minimum dla dużej powierzchni, lecz wówczas mogłyby być potrzebne znaczne nakłady na budowę urządzenia. Dlatego też wymiary suszarni powinny być dobrane optymalnie z uwzględnieniem wszystkich wchodzących w rachubę czynników.

Czasami zawartość wilgoci w powietrzu przepływającym przez ziarno staje się tak wysoka, że ziarno ulega zepsuciu w strefie, w której powietrze opuszcza masę ziarna. Jeśli wilgotność względna uchodzącego powietrza wynosi 85% lub więcej, mogą się rozwijać szkodliwe mikroorganizmy. Również oddychanie ziarna o tak

wysokiej wilgotności względnej może prowadzić do wzrostu potencjalnych uszkodzeń. Równoważna wilgotność względna, przy funkcjonowaniu omówionego mechanizmu, musi wynosić 85% lub więcej. Spotyka się czasami stwierdzenia, że wilgoć ulega kondensacji na powierzchni warstwy ziarna i powoduje uszkodzenia. Szczegółowe studia jakie zostały przeprowadzone, wykazują, że kondensacja nie może zachodzić w tym miejscu, jeśli promieniowanie sponad powierzchni warstwy nie powoduje jej ochładzania. Prawdopodobnie mikroorganizmy stwarzają warunki, uważane za rezultat kondensacji.

Rysunek 2 przedstawia model przebiegu suszenia w suszarni o grubej warstwie ziarna. Przedstawione dane mogą stanowić przykład zastosowania dla suszarni wypełnionej warstwą pszenicy o grubości warstwy 3 m, przy początkowej wilgotności ziarna 25%. Powietrze może być nieznacznie podgrzane przed wprowadzeniem go do suszarni.

Zbiór linii charakterystycznych dla grubości warstwy, który jest zbieżny dla zawartości wody równej jeden, wskazuje, że przebieg suszenia nie jest zależny od grubości warstwy w okresach, w których zbieżność ta występuje. (Na początku suszenia lub po bardzo długim czasie).

Względna wilgotność równoważna powietrza dla pszenicy o zawartości wody około 25% (w stosunku do suchej masy) wynosi ponad 90% [9]. Stąd też możliwe jest, że szkodliwe mikroorganizmy uaktywnią się podczas pierwszych 1,5 dni suszenia. Ich działalność natomiast ustaje po 2 do 3 dniach suszenia. Daje się również zauważyć znaczną rozpiętość zawartości wody od spodu ku powierzchni warstwy w suszarni. Omawiany poprzednio w tym referacie wpływ współzależności między prędkością przepływu powietrza a grubością warstwy może być wykorzystany także przy przewidywaniu przebiegu suszenia dla zmiennej prędkości przepływu powietrza.

Rozpatrzmy teraz zachowanie się ziarna w dolnej połowie warstwy, począwszy od $h = 0$, aż do $h = 1,5$ m. Całe powietrze przepływa przez tę dolną część, prędkość zaś przepływu na jednostkę objętości pozostaje taka sama jak w dolnej połowie, a rozkład wilgotności w czasie — w górnej części warstwy — stanie się porównywalny do tego, jaki przedstawiono na poziomie 1,5 m. Zawartość wilgoci na pozostałych poziomach zmienia się w sposób umiarkowanie proporcjonalny. Należy zaznaczyć, że zakresy zawartości wilgoci w każdej chwili mogą być zmniejszone przez wzrost prędkości przepływu powietrza.

PODSUMOWANIE

Przedstawione metody są przydatne także do analizy suszenia w suszarni o cienkiej warstwie oraz ciągłym przepływie ziarna, chociaż wyniki te są zazwyczaj mniej przydatne w stosunku do dużych prędkości przepływu na jednostkę objętości. Za pomocą tej metody mogą także być analizowane suszarnie o niesymetrycznych systemach przepływu powietrza.

WYKAZ UŻYTYCH OZNACZEŃ

- q — prędkość objętościowa przepływu powietrza w jednostkach objętości na godzinę,
 h — wysokość (grubość) warstwy,
 a, b, c, d — stałe wymiarowe,
 N — stała bezwymiarowa,
 a — współczynnik suszarniczy, funkcja temperatury,
 M — zawartość wody (w stosunku do suchej masy),
 M_E — równoważna zawartość wody (w stosunku do suchej masy),
 v — objętościowa prędkość przepływu powietrza,
 $MR = \frac{M - M_E}{M_0 - M_E}$ (zredukowana zawartość wody),
 M_0 — początkowa zawartość wody,
 A — powierzchnia suszenia,
 P — moc potrzebna do napędu wentylatora.

LITERATURA

1. Bakker-Arkema F. W., et al. Static Pressure-Airflow Relationships in Packed Beds of Granular Biological Material Such as Cherry Pits. Trans ASAE 1969, t. 12, s. 134-136, 140.
2. Barre H. J., et al. Application of the Logarithmic Model to Deep-Bed Drying of Grain. Paper 1970 No 70-327, present at the 63rd Annual Meeting of the Amer. Soc. of Agric. Engrs., Minneapolis, Minn., July 7-10.
3. Hamdy M. Y., Barre H. J.: Analysis and Hybrid Simulation of Deep-Bed Drying of Grain. 1970 Trans. ASAE, t. 13, s. 752-757.
4. Henderson S. M., Perry R. L.: Agricultural Process Engineering 1966, Second Edition.
5. Henderson S. M., Pabis St.: Grain Drying Theory IV: The Effect of Airflow Rate on the Drying Index. 1962 Journal Agriculture Engr. Res., t. 7, s. 85-89.
6. Henderson J. M., Henderson S. M.: A. Computational Procedure for Deep-Bed Drying. 1968 Journal Agricultural Engr. Res., t. 13, s. 87-95.
7. Henderson S. M.: A. Basic Concept of Equilibrium Moisture. Agr. Engr. 1952, t. 33, s. 29-32.
8. Hussain A., Ojha T. P.: Resistance to the Passage of Air Through Rice. Journal Agriculture Engr. Res. 1959, t. 14, s. 47-53.
9. Leva, Max. Fluidization. McGraw-Hill Book Co Inc. 1959.

НЕКОТОРЫЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ПРОХОДА ВОЗДУХА
 В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ СУШИЛКИ С ТОЛСТЫМ СЛОЕМ ЗЕРНА

С. М. ГЕНДЕРСОН — США

Р е з ю м е

Действие сушилок зерна и подобных материалов, особенно сушилок, работающих периодически, а также с толстым слоем высушиваемого материала, в значительной степени зависит от скорости прохода воздуха через сушилку.

Потребность мощности сушилки определенных размеров меняется со скоростью прохода воздуха приблизительно в степени 2,6. И так, каждое небольшое изменение скорости прохода воздуха может вызвать существенное изменение в потребности мощности. Когда объём сушилки подвергается изменению, а скорость прохода воздуха по отношению к единице объёма остается постоянной, необходимая мощность будет изменяться вместе с увеличением скорости прохода воздуха в степени 3,6. Не учитывая этой зависимости, можно вызвать серьёзные осложнения при подборе мощности приводящего механизма сушилки, а также устройств передающих привод.

В основном, ход сушки отдельных зерен не подвергается существенным изменениям под влиянием прохода воздуха. Однако, при массе зерна составляющей слой значительной глубины растёт относительная влажность воздуха, проходящего через массу зерна, а понижается его температура, обе величины в функции скорости прохода воздуха. Таким образом, очередные слои зерна высыхают с уменьшенной скоростью, в результате чего возникает характерная модель хода сушки.

В общем, с возрастанием сушки увеличивается область разниц влажности в массе зерна и могут возникнуть осложнения в момент, когда воздух, выходящий из слоя зерна, имеет слишком большую влажность (относительную).

Модель хода сушки массы зерна может подвергаться изменению из-за изменения скорости прохода воздуха по отношению к единице объёма массы зерна. Возможно предвидеть распределение влаги в материале на основании знания принципов процесса сушки.

SOME AIR RATE DEEP-BED DRIER PERFORMANCE RELATIONSHIPS

S. M. HENDERSON — USA

S u m m a r y

The performancy of grain and similar driers, especially batch or deep-bed driers, is affected significantly by the air rate through the drier.

The power required for a drier of fixed dimensions varies approximately as the air rate to the 2.6 power. Thus, a small required change in air rate may require a significant change in power input. When drier volume is changed and air rate per unit of volume is to remain constant, power will now vary as air rate to the 3.6 power. Serious complications in power unit size and power transmission equipment can result if these relationships are overlooked.

Basically, the rate of drying of single grains is not modified significantly by air rate. But when the grain mass is significant in depth, the air increases in relative humidity and lowers in temperature, both a function of air rate, as it passes through the grain mass. Thus subsequent layers of grain dry at a reduced rate and a characteristic drying pattern results. Generally, a wide moisture content range develops in the mass as drying progresses and complications may develop at the point where the air leaves the mass from too high a relative humidity.

The drying pattern of the mass can be changed by changing the air rate per unit mass volume. Predictions moisture patterns are possible on the basis of the principles that are involved in the operation.

EINIGE ABHÄNGIGKEIT DER GESCHWINDIGKEIT DES LUFTDURCHSTRÖMENS IN DER ARBEIT DES TROCKNERS MIT DER HOHEN KORNERSCHICHTE

S. M. HENDERSON — USA

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

Die Arbeit der Trocknern für Korn und ähnliche Materialien, besonders der periodisch arbeitenden Trocknern und mit der hohen Schichte des getrockneten Materials, ist im wesentlichen Masse von der Geschwindigkeit des Luftdurchströmens durch den Trockner abhängig.

Der Kraftbedarf des Trockners mit den festgestellten Massen verändert sich mit der Geschwindigkeit des Luftdurchströmens annähernd in der Potenz 2,6. So kann jede sogar kleine Veränderung der Geschwindigkeit des Luftströmens die wesentliche Veränderung des Kraftbedarfes veranlassen. Wenn der Raumgehalt des Trockners sich verändert, dagegen die Geschwindigkeit des Luftdurchströmens im Verhältnis zu der Einheit des Raumgehaltes fest bleibt, wird die benötigte Kraft sich mit der Steigerung der Geschwindigkeit des Luftdurchströmens in der Potenz 3,6. verändern. Nimmt man diese Anhängigkeiten nicht in Rücksicht, so kann man schwere Komplikationen bei dem Wahl der Kraft der Antriebsbaugruppe des Trockners und den Antrieb übertragender Einrichtungen veranlassen.

Hauptsächlich der Verlauf der Trocknung der einzelnen Körner unreliegt keinen wesentlichen Veränderungen unter dem Einfluss des Luftdurchströmens. Jedoch bei der Körnermasse mit grosser Schichtenhöhe steigert die relative Feuchte der Luft, die durch die Körnermasse durchströmt, dagegen vermindert sich ihre Temperatur, beide Grössen in der Funktion des Luftdurchströmens. Somit die reihenfolgende Körnerschichten trocknen mit kleineren Geschwindigkeit aus und im Resultat entsteht das charakteristische Modell des Trocknungsverlaufes.

Im allgemeinen mit dem Trocknungsverlauf erhöht sich der Unterschiedbereich der Feuchte in der Körnermasse und können Schwierigkeiten vorkommen, wenn die Luft, die die Körnerschichte verlässt, zu hohe relative Feuchte besitzt.

Das Modell des Trocknungsverlaufes der Körnermasse kann der Veränderung unterliegen, wenn man die Geschwindigkeit des Luftdurchströmens im Verhältnis zu der Einheit des Raumgehaltes der Körnermasse verändert. Man kann das Voraussehen der Verteilung der Feuchte im Material auf Grund der Kenntnis der Grundlagen des Trocknungsverlaufes für möglich annehmen.