

**KAROLINA SKOCZKOWSKA, ROMAN ULBRICH\***

## **DOBÓR OPTYMALNEJ PRĘDKOŚCI SUSZARKI BĘBNOWEJ DO PELETÓW**

### *Streszczenie*

*Badania miały na celu wyznaczenie zakresu optymalnej pracy suszarek bębnowych. Analiza obrazów pozwoliła na wyznaczenie obszaru pracy aparatu z odrywaniem się cząstek od złoża dla wypełnienia aparatu od 15% do 30%. Z przeprowadzonych badań wynika, że zakres roboczej prędkości obrotowej zwiększa się wraz ze zmniejszeniem stopnia wypełnienia.*

Słowa kluczowe: suszarki bębnowe, pelety, prędkość obrotowa.

### **WPROWADZENIE**

W Unii Europejskiej zastosowanie peletów do ogrzewania budynków zyskuje coraz większe zainteresowanie. Granulat drzewny zalicza się do odnawialnych źródeł energii, co ma wpływ na jego szersze wykorzystanie. Dodatkowym atutem jest jego wszechstronność w zastosowaniu – zarówno w kotłowniach ciepłowniczych, fluidalnych, pyłowych i rusztowych, małej i dużej mocy [Jakubiak i Kordylewski 2008].

Pelety produkowane są z odpadów drzewnych, powstających w tartakach a także innych zakładach przemysłu obróbki drewna. Proces przerobu wiórów, trocin i zrębków na granulaty odbywa się w trzech podstawowych etapach: rozdrabniania, suszenia, a następnie granulacji. Etap suszenia odgrywa dużą rolę na wartość opałową paliwa – im mniejsze zawilgocenie materiału tym większa jego kaloryczność [Głodek 2010].

W celu zwiększenia wartości opałowej, a tym samym poprawy własności paliwa potrzebne jest zastosowanie suszenia mechanicznego, które może odbywać się w urządzeniach: bębnowych, taśmowych, fluidalnych lub strumieniowych. W procesie dehydratacji surowca bardzo ważne jest usuwanie wilgoci

---

\* Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska

z całej ich powierzchni i niedopuszczenie do sklejenia się materiału suszonego [Kowalski 2009].

Jednymi z częściej stosowanych urządzeń do usuwania wilgoci z peletów są aparaty bębnowe pionowe lub poziome z bezpośrednim nawiewem gorącego powietrza. Największą wadą tego rodzaju suszarek jest powierzchniowe utwardzenie oraz mineralizowanie się surowca. Wpływ na to ma: wysoka temperatura – około 400°C, utlenianie się materiału oraz osadzanie produktów spalania na powierzchni materiału suszonego. W celu wyeliminowania niepożądanych skutków należy kontrolować proces, w tym: prędkość obrotową, szybkość podawania surowca oraz temperaturę wtłaczanego powietrza [Kowalski 2009].

### STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko badawcze składa się z aparatu bębnowego napędzanego poprzez przekładnię przez silnik indukcyjny, którego prędkość regulowana jest z użyciem falownika. Prędkość obrotowa aparatu mierzona jest przy użyciu tachometru (rys. 1). Głównym elementem stanowiska pomiarowego jest aparat bębnowy o średnicy 500 mm i szerokości 30 mm. Do wykonania obrazu użyto aparatu fotograficznego przy krótkim czasie otwarcia migawki – 1/4000 s.



*Rys. 1. Stanowisko badawcze*  
*Fig. 1. Test stand*

Aparat bębnowy został wykonany z pleksiglasu, dzięki czemu możliwa jest obserwacja procesów zachodzących wewnątrz urządzenia. Dla uzyskania odpowiedniej widoczności wypełnienia tylna część została pokryta czarną emalią.

### MATERIAŁY ORAZ METODYKA BADAWCZA

Do badań użyto układu jednoskładnikowego o cząstkach kulistych wykonanych z tworzywa sztucznego o średnicy 6 mm. Ruch wypełniania aparatu zależy od wielu czynników takich jak: prędkość obrotowa, stopień wypełnienia aparatu, a także kształt badanych materiałów.

Parametrem zmiennym w wykonywanych badaniach był stopień wypełnienia aparatu. Badania opierają się na analizie obrazu rozmieszczenia cząstek wypełnienia, przy różnych prędkościach obrotowych suszarki.

Przeprowadzone badania miały na celu wyznaczenie przedziału prędkości obrotowej bębna podczas której zachodzi rozkład przestrzenny cząstek tak, aby proces suszenia odbywał się z optymalną intensywnością.

Prędkość początkowa to stan gdy cząstki zaczynają się wydostawać ze złoża zwartego, zebranego w dolnej części aparatu. Górną granicę stanowi stan definiowany wcześniej w literaturze jako prędkość krytyczna – gdy cząstki zaczynają gromadzić się przy powierzchni zewnętrznej bębna na całym obwodzie.

Krytyczna prędkość jest wyznaczana z warunku, gdy cząstka znajduje się w najwyższym punkcie bębna - wtedy siła ciężkości i odśrodkowa równoważą się [Yada i in. 2010]. Stąd otrzymujemy:

$$n_k = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R}} = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \quad \left[ \frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \quad (1)$$

gdzie:  $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $\text{m/s}^2$ ,  $R$  – promień aparatu,  $m$ ,  $D$  – średnica aparatu,  $m$ .

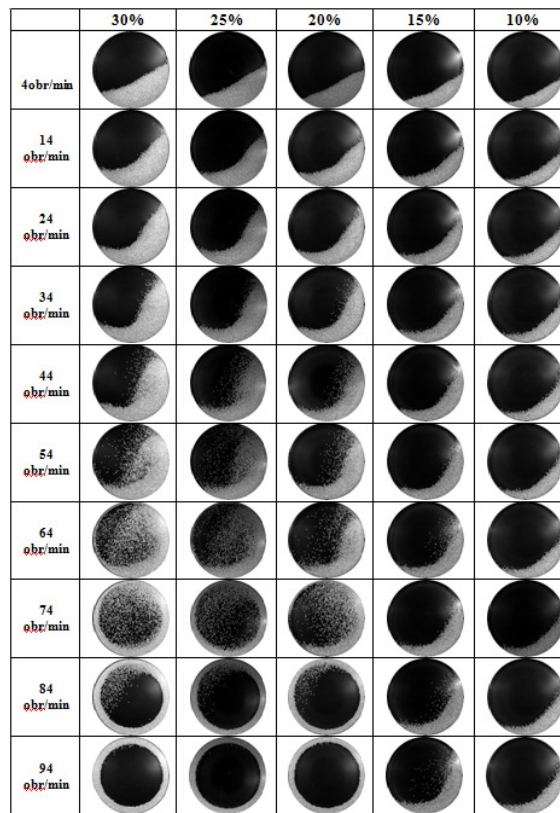
Dla aparatu o średnicy równej 0,5 m otrzymuje się prędkość krytyczną równą 59,8 obr./min.

Prawidłowa praca aparatu powinna zapewnić jak najmniejszą destrukcję cząstek, co nastąpi gdy droga i prędkość opadania wolnych cząstek nie będą nadmierne. Robocza prędkość obrotowa powinna wobec tego mieścić się w przedziale pomiędzy prędkością minimalną, a krytyczną.

Przedmiotem badań było wyznaczenie tych wartości w zależności od stopnia wypełnienia aparatu. Dzięki analizie obrazu możliwe jest zaobserwowanie i rejestracja momentu, w którym cząstki wydostają się ze złoża. Dodatkowo można rozróżnić dwa typy krytycznej prędkości obrotowej gdy:

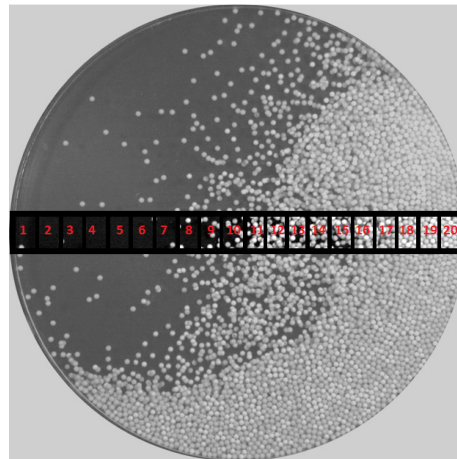
- pojedyncze cząstki dostają się do najwyższego punktu,
- powierzchnia obwodowa bębna pokryta jest pełnym wianuszkiem i wirują razem z bębniem.

Pomiary wykonano przy wypełnieniu bębna w zakresie od 30% do 10%, co 5%, w zakresie zmian prędkości obrotowych aparatu od 0 do 94 obr./min. W pierwszym etapie ocena momentu oderwania cząstek od złoża odbywała się na podstawie obserwacji. Rozkład przestrzenny cząstek dla tych samych prędkości różni się w zależności od stopnia wypełnienia. Z punktu widzenia suszenia materiału ważne jest aby cząstki znajdowały się poza złożem zwartym, stąd można zaobserwować dwie prędkości charakterystyczne: prędkość w czasie której materiał wyodrębnia się ze złoża, poruszając się samodzielnie oraz stan w którym przywierają do powierzchni bębna po obwodzie (rys. 2).



Rys. 2. Układ cząstek w aparacie przy różnych prędkościach obrotowych i stopniach wypełnienia  
 Fig. 2. Particle distribution in the drum at various speeds and degree of filling

W celu uchwycenia momentu pojawiania się w aparacie ruchu pojedynczych cząstek poza złożem postanowiono przeprowadzić analizę obrazu zarejestrowanych rozkładów cząstek w charakterystycznym obszarze. W środkowej części aparatu, na jego średnicy umieszczono kontrolny obszar o wymiarach 40×500 mm, który został podzielony na 20 równych prostokątów (rys. 3). Na podstawie obliczeń obecności cząstek w poszczególnych elementach wykonano obliczenia stopnia ich wypełnienia i wyznaczono rozkłady na długości tej strefy. Obecność cząstek w strefach kontrolnych poza złożem jest miarą przekroczenia prędkości początkowej.

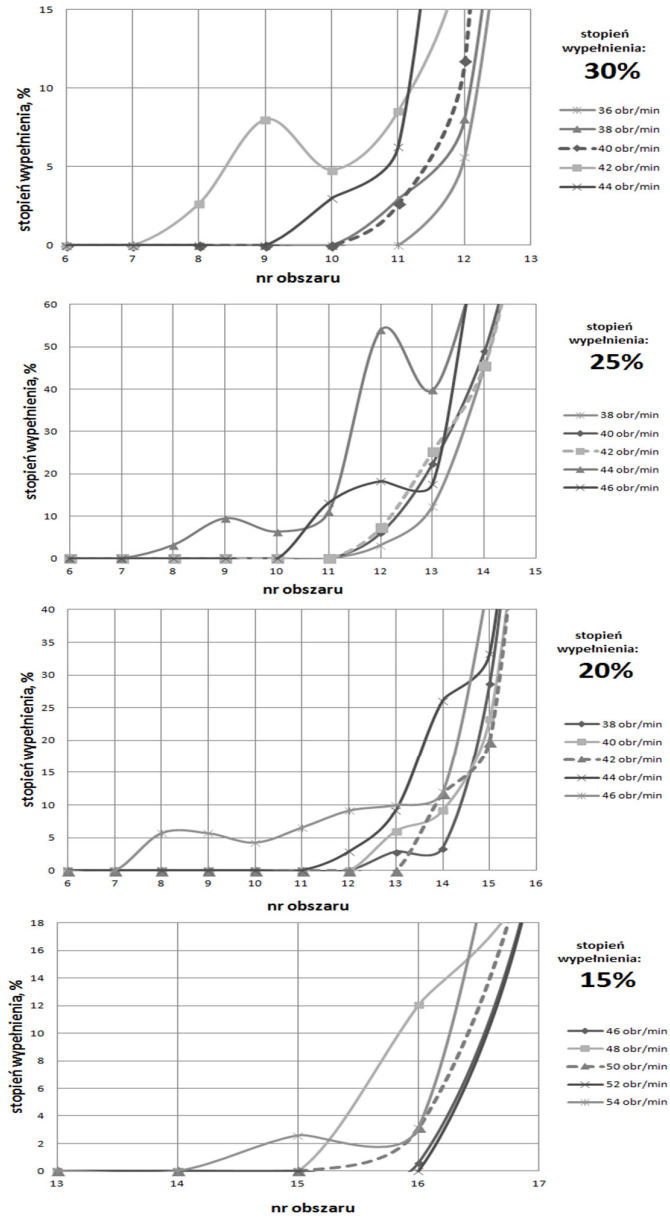


Rys. 3. Strefa kontrolna  
Fig. 3. Control zone

### WYNIKI ANALIZ

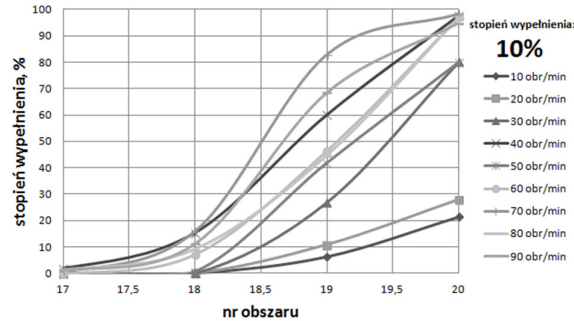
Stopień wypełnienia aparatu ma ogromny wpływ na ruch cząstek podczas obrotów bębna. Na podstawie analizy obrazów dla zmieniającej się prędkości obrotowej dokonano wyznaczenia obszaru roboczego, dla którego cząstki wypełnienia zaczęły odrywać się od złoża. Wraz ze wzrostem wypełnienia kontrolnych obszarów obszar ten przesuwał się w stronę lewą aparatu.

Sporządzone wykresy zależności pomiędzy stopniem wypełnienia poszczególnych obszarów od ich położenia, pozwoliły na określenie minimalnej prędkości pracy suszarki bębnowej, czyli minimalnej roboczej prędkości obrotowej aparatu (linia przerywana, rys. 4). Moment w którym stopień wypełnienia komórek ulegał gwałtownej zmianie, odpowiada prędkości obrotowej, przy której rozpoczyna się proces odrywania cząstek od złoża.



Rys.4. Wpływ prędkości obrotowej bębna na charakter zmian rozkładu stopni wypełnienia komórek dla różnych stopni wypełnienia bębna  
 Fig. 4. Influence of rotational speed of the drum on the distribution of degrees to fill the cells for different degrees of drum fills

Dla stopnia wypełnienia bębna na poziomie 10% nie stwierdzono odrywania cząstek od złoża (rys. 5).



Rys.5. Wpływ prędkości obrotowej bębna na charakter zmian rozkładu stopni wypełnienia komórek dla 10% stopnia wypełnienia bębna

Fig. 5. Influence of rotational speed of the drum on the distribution of degrees to fill the cells for 10% degree of drum fills

Analiza obrazów umożliwiła także określenie prędkości krytycznej dla stopnia wypełnienia równego 30%, 25% oraz 20% (tab. 1). Dla wypełnienia 10% i 15% nie stwierdzono występowania tej granicy w zakresie do 100 obr./min.

Tab. 1. Prędkość krytyczna wirowania bębna

Tab. 1. Critical speed of rotating drum

	30%	25%	20%
<b>Prędkość krytyczna</b>	<b>50 obr./min</b>	<b>54 obr./min</b>	<b>60 obr./min</b>
<b>Obraz odpowiadający prędkości krytycznej</b>			

Porównując otrzymane wyniki z wartością obliczoną z zależności (1), prędkość krytyczna jest zbliżona dla 20% stopnia wypełnienia bębna. A zatem także w tym przypadku stopień wypełnienia ma wpływ na wartość charakterystycznej prędkości obrotowej bębna.

Dla wypełnienia aparatu poniżej 25% wartość prędkości krytycznej rośnie, a dla stopnia wypełnienia poniżej 20% nie stwierdzono występowania prędkości krytycznej.



### PODSUMOWANIE

W artykule podjęto próbę określenia warunków pracy aparatu bębnowego podczas procesu suszenia peletów. Zalecana prędkość robocza aparatury bębnowej jest ściśle związana ze stopniem wypełnienia:

- dla wypełnienia 30% przedział ten wynosi 40-50 obr./min,
- dla 25% - 42-54 obr./min,
- dla 20% - 42-60 obr./min,
- zaś dla 15% powyżej 50 obr./min, bez określenia prędkości krytycznej.

Nie obserwuje się zarówno prędkości początkowej jak i krytycznej dla 10% stopnia wypełnienia. W dalszym etapie badań należy określić obszary gdzie, z uwagi na długość toru opadania cząstek, jak i lokalnej prędkości ruchu złożonego cząstek, nie spowoduje destrukcji cząstek.

### LITERATURA

1. JAKUBIAK M., KORDYLEWSKI W., 2008. Pelety podstawowym biopaliwem dla energetyki. *Archiwum Spalania*, Vol.8, Nr 3-4. Polski Instytut Spalania w Warszawie.
2. GŁODEK E., 2010. Spalanie i współspalanie biomasy, *Poradnik*. Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Opolu.
3. KOWALSKI L.; 2009. Produkcja peletów od A do Z. *Kurier drzewny*.
4. YADA H., KAWAGUCHI T., TANAKA T., 2010. Relation between segregation patterns and granular flow modes in conical rotating drum. *Flow Measurement and Instrumentation*. Department of Mechanical Engineering, Osaka University, Japan.

### SELECTION OPTIMAL ROTATIONAL VELOCITY TOWARDS DRUM DRYER FROM PELLETS

#### *S u m m a r y*

*The research aims to determine the optimal rotational velocity for the drum dryers. Image analysis allowed to determine the critical area from 15% to 30% degrees of filling. The tests shows that the scope of the optimum rotational velocity increases with the decrease of filling.*

Key words: drum dryers, pellets, rotational velocity