

Wiesław ZAŁUSKA  
Kazimierz PIENKOWSKI

## KONSTRUKCJA I BADANIA EKSPLOATACYJNE WENTYLATORA-RĘBAKA

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono konstrukcję wentylatora-rębaka do rozdrabniania i transportu pneumatycznego odpadów drzewnych. Podano charakterystyki przepływowe i parametry eksploatacyjne różnych wersji konstrukcyjnych prototypu. Wyciągnięto wnioski dotyczące pracy wentylatora-rębaka.

### 1. Wstęp

W przemyśle drzewnym i celulozowo-papierniczym powstają duże ilości kory i odpadów drzewnych. Tylko nieznaczna część odpadów jest wykorzystywana na cele energetyczne lub kompostowanie. Związane to jest z dużą uciążliwością procesu transportu, załadunku i wyładunku odpadów, wynikających z ich niejednorodnej struktury, wielkości, kształtu i ciężaru. Transport pneumatyczny odpadów drzewnych i kory wykazuje wiele niewątpliwych zalet w porównaniu z transportem mechanicznym lub samochodowym [1], jednak wymaga odpowiednich urządzeń rozdrabniających oraz sieci transportu pneumatycznego. W celu podniesienia sprawności energetycznych transportu pneumatycznego odpady te są rozdrabniane, co jest jednocześnie korzystne w procesie ich utylizacji. Analizując pracę układów transportu pneumatycznego stosowanych w przemyśle drzewnym ustalono możliwość ich modernizacji. Zaproponowano zastosowanie urządzenia jednocześnie rozdrabniającego i transportującego odpady w miejsce dotychczas stosowanych dwóch urządzeń pracujących oddzielnie: rębaka i wentylatora transportowego. W proponowanym rozwiązaniu obracający się wirnik wentylatora transportowanego przejmuje rolę elementów rozdrabniających rębaka. Dotychczas produkowane wentylatory transportowe nie mogą być stosowane w modernizowanych instalacjach transportu pneumatycznego odpadów drzewnych. Związane to jest z niedostateczną wytrzymałością ich konstrukcji oraz nieprzystosowaniem do intensywnego procesu rozdrabniania.

Ze względu na niekonwencjonalne zastosowanie wentylatora oraz brak opisu zjawisk zachodzących w proponowanym urządzeniu przeprowadzono badania procesu rozdrabniania i przepływu tych odpadów przez wirnik wentylatora transportowego. Przeprowadzono badania wizualizacji procesu rozdrabniania i przepływu odpadów drzewnych oraz kory przez wentylator modelowy. Przeprowadzono

również badania, na podstawie których oceniono skuteczność rozdrabniania oraz frakcyjność rozdrobnionych odpadów. Badania te wykazały słuszość przyjętej drogi modernizacji procesu utylizacji odpadów przez rozdrobnienie ich i transport za pomocą wirnika wentylatora. Jednocześnie zaobserwowano szereg niekorzystnych zjawisk mogących wystąpić podczas rozdrabniania dużych i bardzo niejednorodnych odpadów. Rozpatrzono szereg koncepcji konstrukcyjnych urządzenia, w których oczekiwano usunięcia tych przeszkód. Ostatecznie przyjęto zastosowanie w konstrukcji wentylatora-rębaka dodatkowego zespołu wspomagającego proces rozdrabniania. Zespół ten znajduje się przed wirnikiem i osadzony jest na jego płaszczyźnie. Wnioski uzyskane z tych badań [2] posłużyły do opracowania konstrukcji wentylatora-rębaka przystosowanego do intensywnego procesu rozdrabniania dużych wymiarowo odpadów drzewnych, nie nadających się do bezpośredniego transportu w konwencjonalnych systemach transportu pneumatycznego.

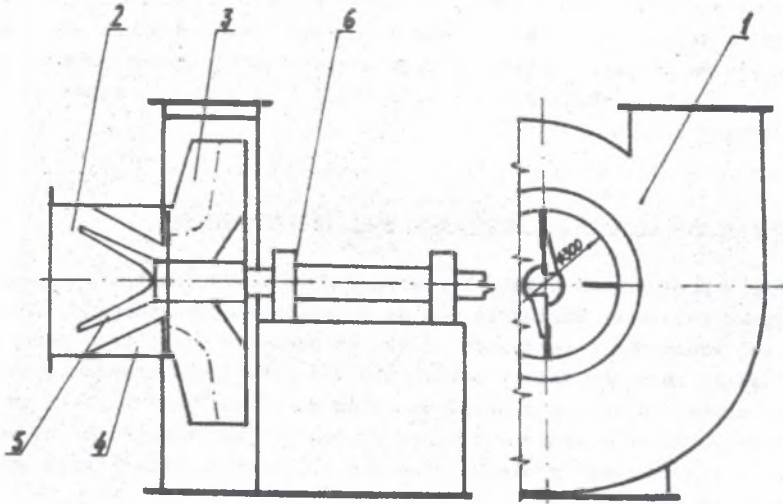
## 2. Opis konstrukcji wentylatora-rębaka

Podczas konstruowania wentylatora-rębaka uwzględniono:

- możliwość współpracy urządzenia z istniejącymi liniami transportu pneumatycznego,
- potrzebę rozdrobnienia odpadów na cząstki o wielkości przystosowanej do transportu pneumatycznego,
- zabezpieczenie konstrukcji przed erozyjnym działaniem transportowanych i rozdrabnianych ciał.

Jako konstrukcję wyjściową przyjęto wentylator transportowy. Do obliczeń projektowych i projektu konstrukcji wentylatora-rębaka przyjęto wymiary odpowiadające wielkości wentylatora WPT-25, jednak zwiększono średnicę kanału wlotowego do 300 mm. Schemat konstrukcji wentylatora-rębaka przedstawiono na rys. 1.

Zgodnie z przyjętą koncepcją w konstrukcji zastosowano zespół rozdrabniający. Oryginalna konstrukcja tego zespołu składa się z elementów (noża) tnących osadzonych w płaszczyźnie wirnika oraz kierownic wlotowych (przeciwnoże) usytuowanych w kanale wlotowym wentylatora. Wirujące noże wstępnie rozdrabniają duże kawałki dostające się do kanału wlotowego i zabezpieczają przed bezpośrednim przemieszczaniem się ich do wirnika oraz osiadaniem na kierownicach wlotowych. Rozdrabnianie odbywa się między nożami i kierownicami, a następnie na łopatkach wirnika współpracujących z kierownicami wlotowymi. Zastosowane kierownice zapewniają równomierny i uporządkowany napływ wstępnie rozdrobnionych kawałków na łopatki wirnika. Zastosowanie nietypowych kierownic o stopniowo zwiększającej się wysokości zabezpiecza przed osiadaniem na nich długich łukowatych odpadów przesłaniających kanał wlotowy.



Rys. 1. Schemat konstrukcyjny wentylatora-rębaka

1 - kolektor zbiorczy, 2 - kanał wlotowy, 3 - wirnik, 4 - kierownice wlotowe, 5 - nóż rozdrabniający wstępnie, 6 - łożyskowanie

Fig. 1. Construction scheme of the shock-impeller fan

Rozwiązanie konstrukcyjne osadzenia kierownic w kanale wlotowym umożliwia ich wymianę oraz regulację ich odległości od krawędzi wlotowej łopatek wirnika. Ponadto umożliwia regulację frakcji rozdrobnionych odpadów. Ze względu na dodatkowe zadania realizowane przez wirnik (rozdrabnianie odpadów) wprowadzono znaczną modyfikację kształtu krawędzi wlotowej łopatki wirnika. Krawędź wlotową wysunięto do przodu i ukształtowano ją w ten sposób, aby tworzyła ona krawędź tnącą. Łopatki wirnika wentylatora są wzmocnione w stosunku do wirników wentylatorów transportowych i posiadają geometrię przystosowaną do transportu ciał stałych.

Ze względu na znaczne obciążenie konstrukcji występujące w czasie intensywnego procesu rozdrabniania oraz wiążące się z tym erozyjne niszczenie pracujących powierzchni w dalszym etapie prac projektowych i badawczych wprowadzono dodatkowy nóż rozdrabniający. Jest on osadzony na płaszczyźnie wirnika i przyjmuje rolę rozdrabniania odpadów, realizowaną we wcześniejszej wersji konstrukcji przez krawędzie natarcia łopat wirnika.

Wprowadzenie tych zmian związane jest z potrzebami zakładów przemysłu meblowego, tj. rozdrabnianiem twardych odpadów, takich jak: płyta wiórowa, kawałki litego drewna, płyta pilśniowa twarda, sklejka itp.

W opracowanej konstrukcji uwzględniono możliwość łatwego demontażu intensywnie pracujących elementów zespołu rozdrabniającego wentylatora-rębaka. Ułatwia to znacznie naprawę zniszczonych elementów oraz pozwala na dopracowanie tych prototypowych części w czasie badań eksploatacyjnych i normalnej pracy wentylatora-rębaka.



Przedstawiona konstrukcja może pracować w różnych układach zespołu wstępnie rozdrabniającego, co związane jest z rodzajem utylizowanych odpadów.

Ze względu na znaczne obciążenie istniejące w czasie rozdrabniania konstrukcja wentylatora-rębaka została wzmocniona w stosunku do typowych wentylatorów transportowych.

### 3. Badania eksploatacyjne prototypu wentylatora-rębaka

W celu przeprowadzenia badań eksploatacyjnych nowej konstrukcji zbudowano stanowisko badawcze. Posłużyło ono do określenia charakterystyk przepływowych nowej konstrukcji wentylatora oraz do pomiarów parametrów pracy urządzenia w czasie rozdrabniania i transportu pneumatycznego odpadów drzewnych. Stanowisko zostało wykonane z uwzględnieniem normy PN/M-43010, lecz ze względu na nietypowe przeznaczenie (przepływ dwufazowy) wprowadzono pewne zmiany niezbędne do prawidłowego prowadzenia badań. Stanowisko przedstawia schemat zamieszczony na rys. 2.

Stanowisko badawcze składa się z zespołu dozującego odpady, wentylatora-rębaka z wlotem i napędem, rurociągu pomiarowego, zespołu odbierającego odpady oraz zestawu aparatury pomiarowej i rejestrującej.

Badania realizowane w celu określenia:

- charakterystyk przepływowych urządzenia w różnych jego wersjach,
- parametrów pracy wentylatora-rębaka w czasie rozdrabniania i transportu odpadów,
- zdolności urządzenia do rozdrabniania różnych rodzajów, wielkości i struktury odpadów.

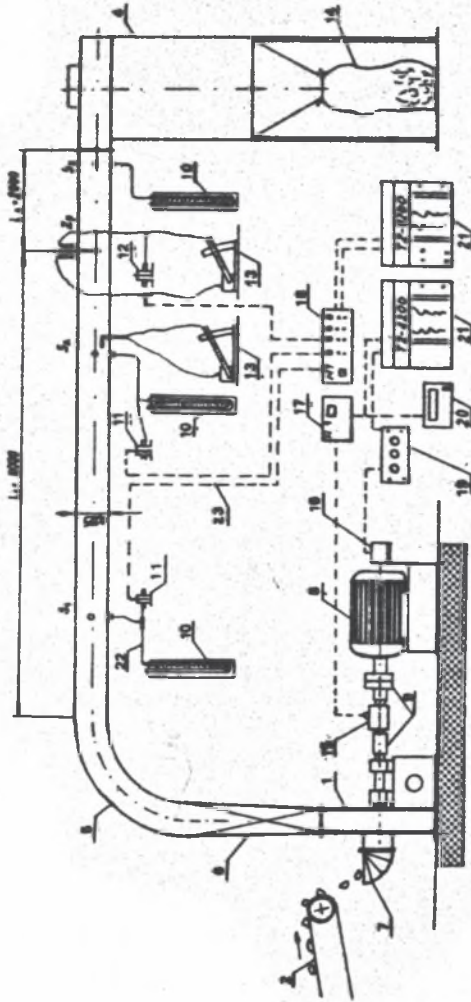
Ze względu na zastosowanie oryginalnego zespołu rozdrabniającego odpady niezbędne było ustalenie wpływu jego poszczególnych elementów na parametry przepływowe i eksploatacyjne wentylatora-rębaka. Biorąc to pod uwagę badania eksploatacyjne realizowano dla następujących wersji zespołu rozdrabniającego:

- I. Noże, kierownice wlotowe i wirnik,
- II. Noże i wirnik,
- III. Rozdrabnianie samym wirnikiem.

Dla tych wersji badawczych określono charakterystyki przepływowe przedstawione na rys. 3.

Na wykresach uwidacznia się nieznaczne zmniejszenie parametrów eksploatacyjnych po zastosowaniu dodatkowych zespołów rozdrabniających podnoszących jednak intensywność procesu rozdrabniania.

W celu określenia rzeczywistych parametrów pracy wentylatora-rębaka prowadzono w czasie ciągłego doprowadzania odpadów od strefy rozdrabniania pomiar i rejestrację mierzonych wielkości. Dzięki prowadzonym pomiarom określono zmiany zachodzące w czasie złożonego i trudnego do matematycznego opi-

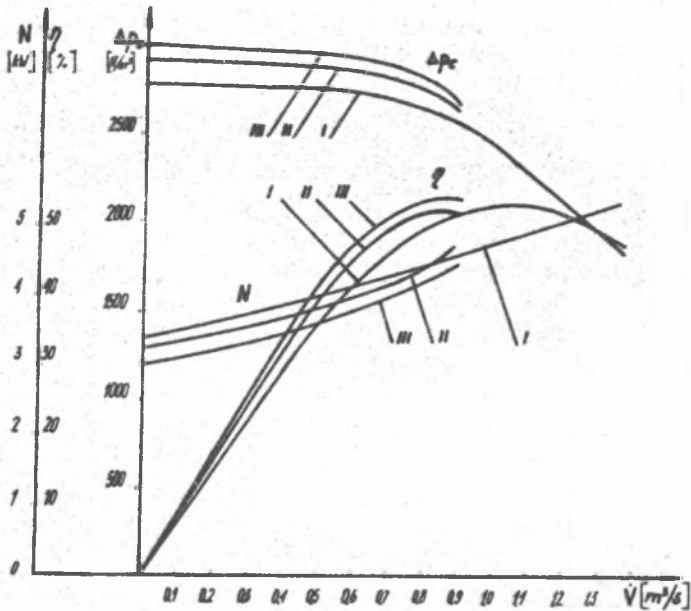


Rys. 2. Schemat stanowiska badań prototypu wentylatora-rębaka:

1 - wentylator-rębak, 2 - transporter dozujący, 3 - rurociąg pomiarowy, 4 - cyklon, 5 - kolano, 6 - konfuzor, 7 - kanał wlotowy, 8 - silnik, 9 - sprzęgło, 10 - manometr U-rurkowy, 11 - przetwornik ciśnienia at. CT-0,01, 12 - przetwornik ciśnienia różnic CT-0,01, 13 - manometr pochyły, 14 - pojemnik na pokruszone odpady, 15 - manometr MI100, 16 - prądnicza tachometryczna, 17 - wskaźnik momentu, 18 - mostek tensometryczny, 19 - dzielnik napięcia, 20 - licznik obrotów, 21 - rejestrator dwukanałowy TŻ-4200, 22 - przewody impulsowe, 23 - przewody elektryczne, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> - przekroje pomiarowe ciśnienia at., Zp - kryza segmentowa

FIG. 2. Scheme of the testing bench of the prototype of the shock-impeller fan

su procesu rozdrabniania odpadów i jednoczesnego ich transportu w strumieniu powietrza.



Rys. 3. Charakterystyki przepływowe badanych wersji wentylatora-rębaka Fig. 3. Flow characteristics of the tested versions of shock-impeller fan

W celu ustalenia przydatności urządzenia do rozdrabniania i transportu różnorodnych odpadów badania prowadzono dla następujących materiałów: kora, lite drewno, łuszcza, płyty wiórowe, sklejka i pilśnia. Ze względu na dużą niejednorodność podawanych odpadów i ich różną wilgotność w czasie badań wystąpiły trudności w określeniu dokładnych i pełnych parametrów charakteryzujących pracę wentylatora-rębaka. W związku z tym w badaniach eksploatacyjnych określono średnie i maksymalne parametry charakteryzujące pracę wentylatora-rębaka oraz oceniono zjawiska towarzyszące jego prawidłowej i bezawaryjnej pracy.

W celu ustalenia pewności współpracy wentylatora-rębaka z instalacją transportu pneumatycznego prowadzono pomiar frakcyjności odpadów. Przykładowy rozkład frakcyjności rozdrabnianej kory brzoazowej dla przedstawionych uprzednio pomiarów przedstawia tabela 1.

Odpady łuszczyki rozdrabniane są na paski o wymiarach 10 x 50 mm, przy sporadycznym występowaniu pasków dochodzących nawet do 130 mm.

Zapotrzebowanie mocy wymagane do rozdrobnienia odpadów zależy od rodzaju odpadów i ich wilgotności oraz w dużej mierze od zastosowanej wersji zespo-

Tabela 2

Parametry pracy badanych wersji prototypu wentylatora s-rębaka w czasie rozdrabniania kory brzozonej

Wersja I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nr pomiaru	$P_{z_0}$	$\bar{P}_z$	$P_{s_0}$	$\bar{P}_s$	$M_0$	$\dot{m}$	$\dot{V}_{\text{śr}}$	$\mu$	$N_0$	$N_{\text{śr}}$	$I_{\text{śr}}$	$\frac{M_{\text{śr}}}{M_0}$	$\frac{M_{\text{śr}}}{M_0}$	$\frac{\bar{P}_s}{P_{s_0}}$	$\frac{V_{\text{śr}}}{V_0}$
	$N/m^2$	$N/m^2$	$N/m^2$	$N/m^2$	Nm	kg/s	$m^3/s$	kg/kg	kW	kW	$\frac{kW}{kg}$				
1	496,2	500,9	2309	1381	14,18	0,74	0,74	0,84	4,37	8,09	10,9	1,85	2,62	0,60	0,89
2	510,4	642,8	2325	1734	14,10	0,55	0,85	0,56	4,34	6,64	12,1	1,52	2,09	0,76	1,01

Wersja II

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nr pomiaru	$P_{z_0}$	$\bar{P}_z$	$P_{s_0}$	$\bar{P}_s$	$M_0$	$\dot{m}$	$\dot{V}_{\text{śr}}$	$\mu$	$N_0$	$N_{\text{śr}}$	$I_{\text{śr}}$	$\frac{M_{\text{śr}}}{M_0}$	$\frac{M_{\text{śr}}}{M_0}$	$\frac{\bar{P}_s}{P_{s_0}}$	$\frac{V_{\text{śr}}}{V_0}$
	$N/m^2$	$N/m^2$	$N/m^2$	$N/m^2$	Nm	kg/s	$m^3/s$	kg/kg	kW	kW	$\frac{kW}{kg}$				
1	661,7	756,2	2249	1620	14,3	0,57	0,91	0,52	4,40	6,93	12,2	1,57	2,35	0,75	1,07
2	586,0	708,9	2325	1725	13,6	0,61	0,88	0,58	4,20	6,31	10,3	1,50	2,01	0,74	1,09

Pomiar: 1 - kora mokra, 2 - kora sucha.

gdzie:

$P_{z_0}$ ,  $\bar{P}_z$  - ciśnienie różnicowe: przed pomiarem, średnie podczas pomiaru, M - moment na wał wirnika,

$P_{s_0}$ ,  $\bar{P}_s$  - ciśnienie statyczne: przed pomiarem, średnia podczas pomiaru,  $\dot{V}$  - wydatek objętościowy przepływającego medium,

$\dot{m}$  - wydatek masowy odpadów, N - moc,

$\mu$  - współczynnik koncentracji mieszaniny,

$I_{\text{śr}}$  - jednostkowe zapotrzebowanie mocy na transport jednostkowej masy odpadów.



łu rozdrabniania wstępnego. Czynniki te wpływają również na kształt i wielkość rozdrobnionych odpadów.

Tabela 1.

Frakcyjność rozdrobnionych odpadów kory brzoazowej

Podział frakcji	2 mm	2 - 4	4 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 50	60 mm
Wersja I	23%	26%	30%	13%	8%	-	-
Wersja II	10%	22%	24%	21%	17%	6%	-
Wersja III	5%	10%	17%	23%	31%	15%	spora- dycznie

Dalsze szczegółowe badania prowadzono dla wersji I i II. Z wersją III zrezygnowano ze względu na występowanie w rozdrobnionych frakcjach odpadów o dużych wymiarach przekraczających 60 mm.

Do określenia zdolności urządzenia do współpracy z systemem transportu pneumatycznego oraz ustalenia maksymalnych jego obciążeń prowadzono pomiar masy odpadów rozdrabnianych i transportowanych w jednostce czasu oraz ich frakcyjność. Przykładowe parametry pracy wentylatora-rębaka w eksperymentalnym układzie transportu pneumatycznego oraz ich zmiany zachodzące w czasie rozdrabniania kory przedstawia tabela 2.

Przeprowadzone badania umożliwiły określenie takich parametrów pracy urządzenia, jak: spiętrzenie, wydajność, zapotrzebowanie mocy oraz ich zmianę podczas rozdrabniania danej grupy odpadów w odpowiedniej wersji badawczej prototypu. W czasie rozdrabniania odpadów zwartych, jakimi były płyta wiórowa i sklejka, występowało zwiększenie zapotrzebowania mocy niezbędnej do rozdrabniania przy jednoczesnym wzroście wartości chwilowych, maksymalnych momentów występujących na wale wirnika.

#### 4. Wnioski z badań prototypu

W wyniku przeprowadzonych badań eksploatacyjnych sformułowano następujące wnioski dotyczące prototypowej konstrukcji wentylatora-rębaka:

1. Prototypowa konstrukcja dobrze spełnia postawione przed nią zadania: rozdrabnia i zapewnia transport pneumatyczny odpadów drzewnych.
2. Określono parametry pracy wentylatora-rębaka oraz zapotrzebowanie mocy w czasie jego pracy.
3. Ustalono celowość zmiany zespołu rozdrabniającego dla różnych rodzajów odpadów.
4. W celu podniesienia wydajności rozdrabniania i transportu odpadów należy zastosować odpowiednie urządzenia podające odpady do kanału wlotowego. Urządzenie to również winno zabezpieczać przed ewentualnym zatkanie otworu wlotowego w przypadku nagłego zwiększonego dozowania odpadów.



5. Wymagane jest stosowanie różnych kanałów wlotowych w celu lepszego dozowania różnorodnych odpadów.
6. Przy rozdrabnianiu twardych odpadów celowe jest opracowanie konstrukcji wentylatora-rębaka z pionowo ustawioną osią wirnika i kanału wlotowego. Ułatwi to znacznie proces podawania tych odpadów do strefy rozdrabniania.
7. W celu podniesienia niezawodności urządzenia podczas kruszenia twardych odpadów potrzebne jest zastosowanie dodatkowych noży osiowych.
8. Ze względu na różnorodność (rodzaj, wymiary) odpadów w przemyśle drzewnym należy uwzględnić opracowanie rodziny wentylatorów-rębaków o różnych wielkościach.
9. W warunkach eksploatacji niezbędne jest wyciszanie konstrukcji (ekran dźwiękowy) i ewentualne zastosowanie wibroizolacji.

Opracowaną konstrukcją umożliwiono rozdrabnianie różnorodnych odpadów drzewnych i transport pneumatyczny do miejsca ich utylizacji lub magazynowania. Duża uniwersalność wentylatora-rębaka związana jest z zastosowaniem rozwiązania z wymiennymi zespołami rozdrabniającymi oraz zapewniającego szybką naprawę lub wymianę w przypadku ich zniszczenia.

Dopasowanie zespołu rozdrabniającego do rodzaju rozdrabnianych odpadów umożliwi podniesienie efektywności tego procesu oraz sprawności przepływowych wentylatora-rębaka.

Wersja II (nóż, wirnik) przewidziana jest do rozdrabniania odpadów kory.

Wersja I (nóż, kierownica, wirnik) umożliwi kruszenie i rozdrabnianie odpadów łuszczyki, miękkich płyt wiórowych, pilśni oraz kory.

Wnioski uzyskane z badań oraz zapotrzebowanie przemysłu na urządzenie do rozdrabniania twardych odpadów drzewnych doprowadziło do opracowania dodatkowych noży osiowych zastępujących krawędzie tnące łopatek. Zabezpiecza to w poważnym stopniu erozyjne zniszczenie łopat wirnika i polepsza proces rozdrabniania.

W wyniku uzyskanych doświadczeń opracowywana jest IV wersja konstrukcyjna wentylatora-rębaka z pionowo ustawioną osią wirnika i kanału wlotowego oraz z zastosowaniem noży osiowych. Powyższa wersja jest opracowywana pod kątem potrzeb i zapotrzebowań fabryk mebli. Wersja I jest wdrażana w zakładach przemysłu sklejek.

Wprowadzenie wentylatorów-rębaków do eksploatacji umożliwi osiągnięcie następujących efektów:

- zagospodarowanie wszystkich odpadów, dotychczas wywożonych na wysypiska,
- odbiór odpadów wprost ze stanowiska (wyeliminowanie transportu mechanicznego i ręcznego),
- mniejsze zapotrzebowanie mocy w stosunku do istniejących tradycyjnych układów (rębak i wentylator transportowy),
- rozdrabnianie odpadów nie nadających się do rozdrabniania typowymi rębakami (łuszczyka, kora).

## LITERATURA

- [1] Kawka W.: Podstawy konstrukcji maszyn i urządzeń do produkcji mas włókienniczych. Politechnika Łódzka, 1977.
- [2] Pieńkowski K., Załuska W.: Analiza procesów rozdrabniania i transportu kory i odpadów drzewnych w wirniku wentylatora-rębaka. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Energetyka z. 88, Gliwice 1984.
- [3] Pieńkowski K., Serko S., Załuska W.: Wentylator-rębak do kruszenia i transportu kory oraz odpadów drzewnych, etapy I-IV, 1981-84 r. - opracowanie dla OBR "BAROWENT" wykonane w Politechnice Białostockiej.

Recenzent:

prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1985

КОНСТРУКЦИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ВЕНТИЛЯТОРА-РУБИЛЬНОГО СТАНКА

## Р е з ю м е

В разработке представлено конструкцию вентилятора-рубильного станка до раздробления и пневматического транспорта деревянных отбросов. Представлено характеристики и эксплуатационные параметры различных, конструктивных вариантов прототипа. Сделано выводы касающиеся работы вентилятора-рубильного станка.

## THE CONSTRUCTION AND OPERATIONAL RESEARCH OF THE SHOCK-IMPELLER FAN

## S u m m a r y

In the paper the construction of the shock-impeller fan for crushing and pneumatic transport of wood was presented. Flow characteristics and operation parameters of different construction versions of the prototype were also given. The conclusions concerning the work of the shock-impeller fan were drawn.