

# Współczesne oczyszczarki strumieniowo-ścierne

## Część III. Analiza pracy turbin śrutowniczych

KAZIMIERZ WOŹNIAK \*

W części II opracowania [10] stwierdzono, że turbina śrutownicza jest „sercem” współczesnych oczyszczarek wirnikowych. Z tego powodu wybór właściwej śrutownicy i dobre dobranie parametrów jej pracy, obok odpowiednich parametrów obiegu powietrza w oczyszczarce, jest gwarantem uzyskania założonych efektów obróbki strumieniowo-ściernej. Analiza, przedstawiona w tej części opracowania, umożliwia taki właśnie wybór.

### Sterowanie strumieniem śrutu

Warunkiem uzyskania założonego efektu obróbki strumieniowo-ściernej jest takie ustawienie turbiny/turbin śrutowniczych w komorze śrutowania aby strumień/strumienie śrutu objęły całą przestrzeń roboczą i całą obrabianą powierzchnię. Istotnym jest aby strumień śrutu padający na obrabianą powierzchnię miał w każdym jej punkcie jednakową charakterystykę. Ważna jest zarówno prędkość śrutu, kąt jego uderzenia w powierzchnię obrabianą, jak i ilość ziaren śrutu padająca na jednostkę obrabianej powierzchni. Na kierunek ruchu strumienia śrutu i jego charakterystykę ma wpływ zarówno ustawienie śrutownicy, kierunek obrotu wirnika rzutowego jak również konstrukcja i ustawienie wirnika rozdzielczego (dystrybutora), tulei regulacyjnej oraz wymiary i kształt łopatek. Dobiierając odpowiednio wymienione parametry można śrutowi opuszczającemu łopatkę rzutowe nadać określoną prędkość, kierunek ruchu oraz gęstość strumienia.

Bazując na teorii procesu oczyszczarek wirnikowych, opracowanej przez Aksjonowa [1], można wyznaczyć prędkość oraz rozrzut strumienia ścierniwa. Opracowany opis matematyczny pozwala określić zachowanie się ziaren śrutu od momentu podania do wirnika rozdzielczego aż do jego wylotu z łopatki rzutowej. Na ziarno działa siła odśrodkowa  $F_o$ :

$$F_o = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (1)$$

gdzie:

$m$  – masa ziarna,

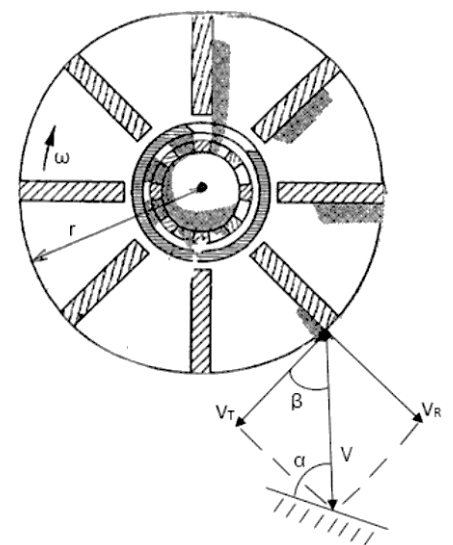
$\omega$  – prędkość obrotowa koła rzutowego w obr./min,

$r$  – promień koła rzutowego.

Z punktu widzenia ruchu ziaren śrutu istotna jest składowa siły wzdłuż łopatki oraz składowa styczna działająca prostopadle do łopatki. Siła ta zależy więc od masy pojedynczego ziarna śrutu oraz parametrów koła rzutowego, czyli jego średnicy i prędkości obrotowej. Efektem działania na ziarna siły odśrodkowej jest

nadanie im prędkości, którą można nazwać prędkością wyrzutu  $V_R$  – rys. 1:

$$V_R = \frac{r \cdot \omega}{\sigma} \quad (2)$$



Rys. 1. Diagram ruchu ziaren śrutu przy jego wychodzeniu z łopatki wirnika rzutowego:  $V_R$  – wektor promieniowej składowej prędkości,  $V_T$  – wektor stycznej składowej prędkości,  $\alpha$  – wypadkowy kąt padania ziaren śrutu na powierzchnię obrabianą,  $\beta$  – odchylenie wypadkowego strumienia od prostopadłej do łopatki rzutowej

\* dr hab. inż. K. Woźniak, MARBAD sp. z o.o., Warszawa.

gdzie:

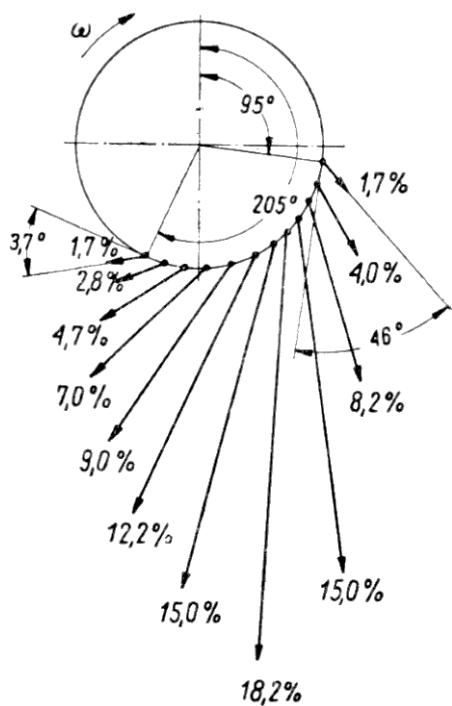
$\sigma$  – współczynnik związany ze współczynnikiem tarcia śrutu o powierzchnię łopatki.

$$V_T = \omega \cdot r \quad (3)$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_T^2} \quad (4)$$

Rzeczywista wartość kąta  $\beta$  odbiega od teoretycznych wyników analiz ruchu ziaren po ich wychodzeniu z łopatki wirnika rzutowego [3, 11]. Rozrzut rzeczywisty strumienia śrutu jest znaczny. Spowodowany jest on w pewnym stopniu odbijaniem się od powierzchni łopatek ziaren śrutu podawanych pod niewielkimi kątami. Ziarna śrutu, które odbiły się od łopatki przemieszczają się skokowo wzdłuż niej i dochodzą do wylotu z turbiny mając inne parametry w porównaniu z rozpatrywanym teoretycznie ślizganiem się ich wzdłuż łopatki.

Główną przyczyną dużego rozrzutu śrutu jest wzajemne zderzanie się ziaren przemieszczających się wzdłuż łopatki z ziarnami odbitymi. Wskutek tych zderzeń prędkość ziaren oraz kierunek ich ruchu znacznie się zmieniają, a strumień ziaren śrutu rozprasza się i zwiększa się jego rozrzut. Na rozpraszanie strumienia śrutu wpływa również kształt ziaren



Rys. 2. Rozrzut śrutu w procentach całkowitej ilości śrutu wyrzucanego przez koło rzutowe o 8 łopatkach i średnicy 500 mm, przy ilości doprowadzanego śrutu: 90 kg/min [1]

oraz uderzanie o powierzchnię łopatki rzutowej kolejnych porcji śrutu podawanych wirnikiem rozdzielczym. Rozpraszaniu śrutu sprzyja również nierówność powierzchni i chropowatość powierzchni łopatek rzutowych wskutek ich zużycia. Istotne znaczenie ma również zmiana rozkładu wymiarów ziaren wskutek procesu rozdrabniania śrutu w czasie obróbki [1].

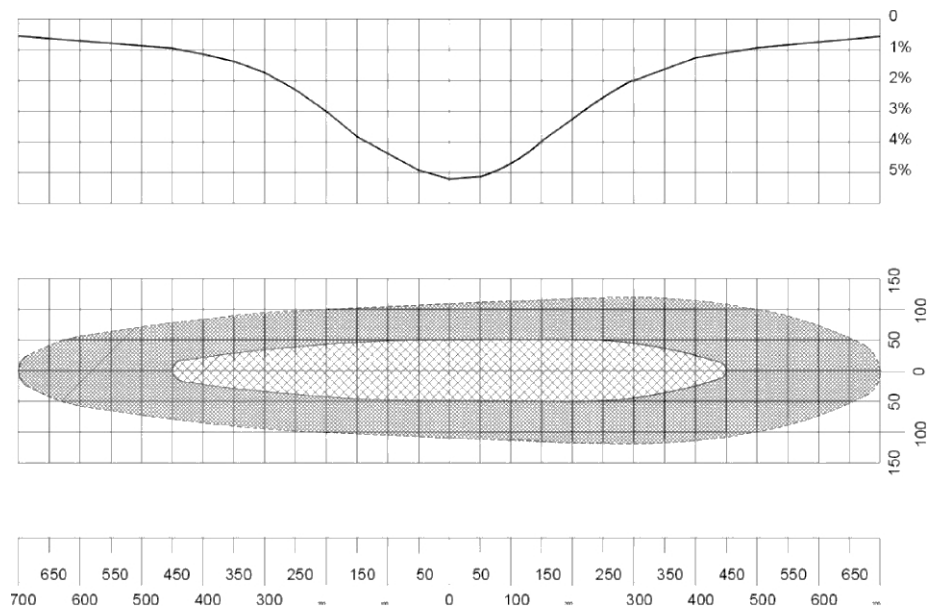
Na rys. 2 zamieszczono rzeczywiste dane o rozrzucie strumienia śrutu opuszczającego koło rzutowe. Charakterystykę strugi śrutu wyrzucanego przez wirnik rzutowy pokazano na rys. 3.

Przedstawiony obraz został zarejestrowany na powierzchni blachy testowej

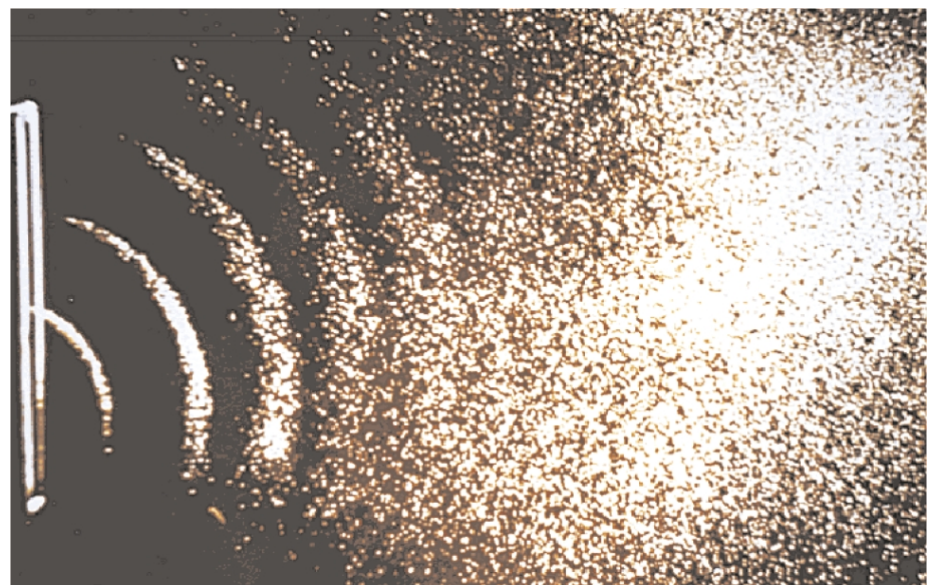
oddalonej 585 mm od wylotu śrutu z koła rzutowego. Śrutem użytym do tego testu był okrągły śrut stalowy o mieszanej granulacji S230 i S280 [9].

Parametry strugi śrutu są wielkościami charakterystycznymi dla poszczególnych wirników rzutowych. Dotyczy to szczególnie wymiarów pola intensywnego oddziaływania śrutu określanego powszechnie z języka angielskiego jako *hot spot*. Obraz śrutu wyrzucanego z turbiny, zarejestrowany za pomocą kamery dużych szybkości, zamieszczono na rys. 4.

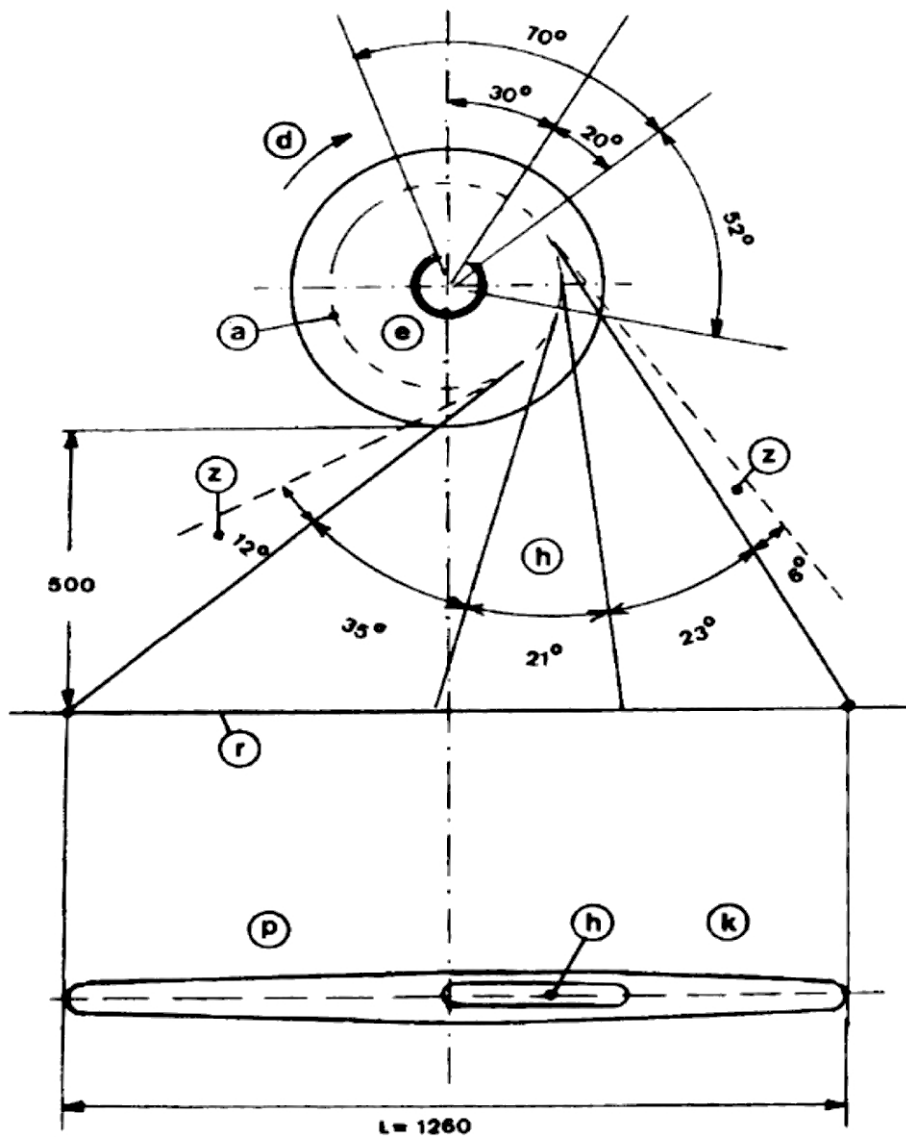
Widać wyraźne oddzielne porcje śrutu wymierzone przez okienka dystrybutora i wyrzucane przez łopatki wirnika, które



Rys. 3. Charakterystyka strugi śrutu emitowanego przez wirnik rzutowy o średnicy koła rzutowego 305 mm i obrotach koła 3000 obr/min [9]



Rys. 4. Obraz strugi śrutu wyrzucanego z turbiny śrutowniczej [5]



Rys. 5. Schemat strugi śrutu powstającej przy zastosowaniu koła rzutowego o średnicy 500 mm i szerokości łopatek 64 mm przy obrotach 2250 obr./min.: a) koło wyrzutu śrutu, d) kierunek obrotu koła rzutowego, e) tuleja regulacyjna z okienkiem o kącie otwarcia 50°, r) powierzchnia obrabiana, h) hot spot, k) czoło strugi śrutu, p) strefa końcowa, z) strefa rozproszenia [3]

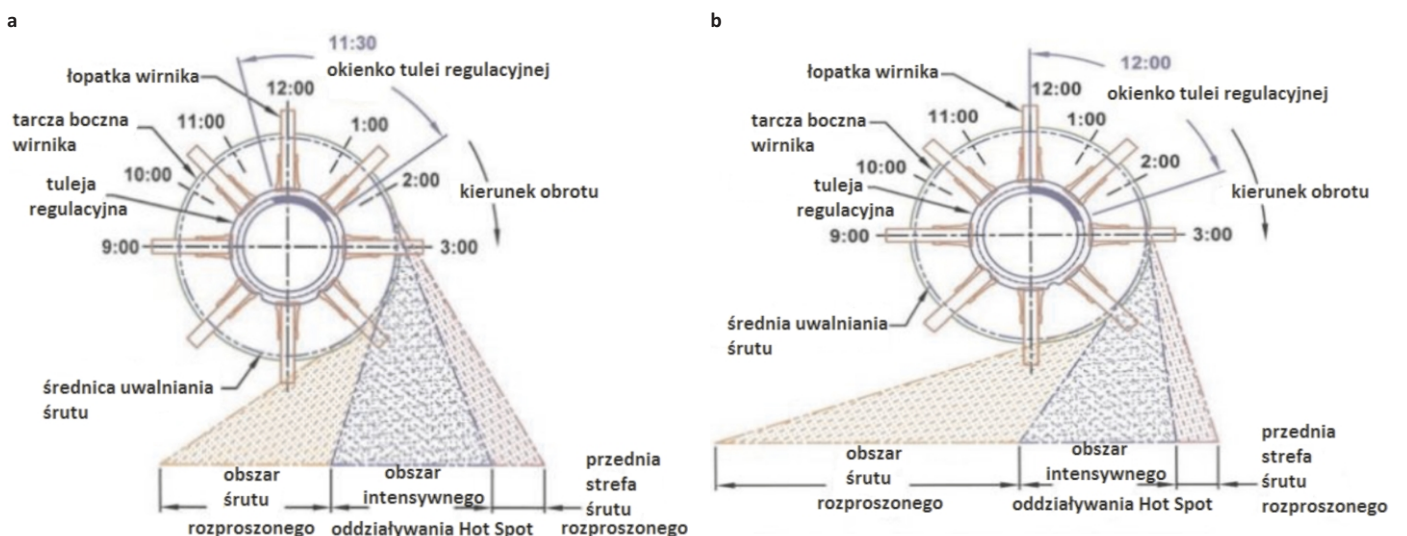
wraz ze zwiększaniem się odległości od wylotu z turbiny łączą się w jedną strugę śrutu.

W przekroju poprzecznym strugi śrutu wyróżnić można kilka stref – rys. 5. Z punktu widzenia efektów obróbki najważniejsza jest strefa intensywnego śrutowania (hot spot).

Na przykładzie przedstawionym na rysunku 5, strefa hot spot zawarta jest w przedziale do 21°. Regulowanie zakresem, jak również położeniem tej strefy, jest we współczesnych oczyszczarkach wirnikowych w pewnym stopniu możliwe.

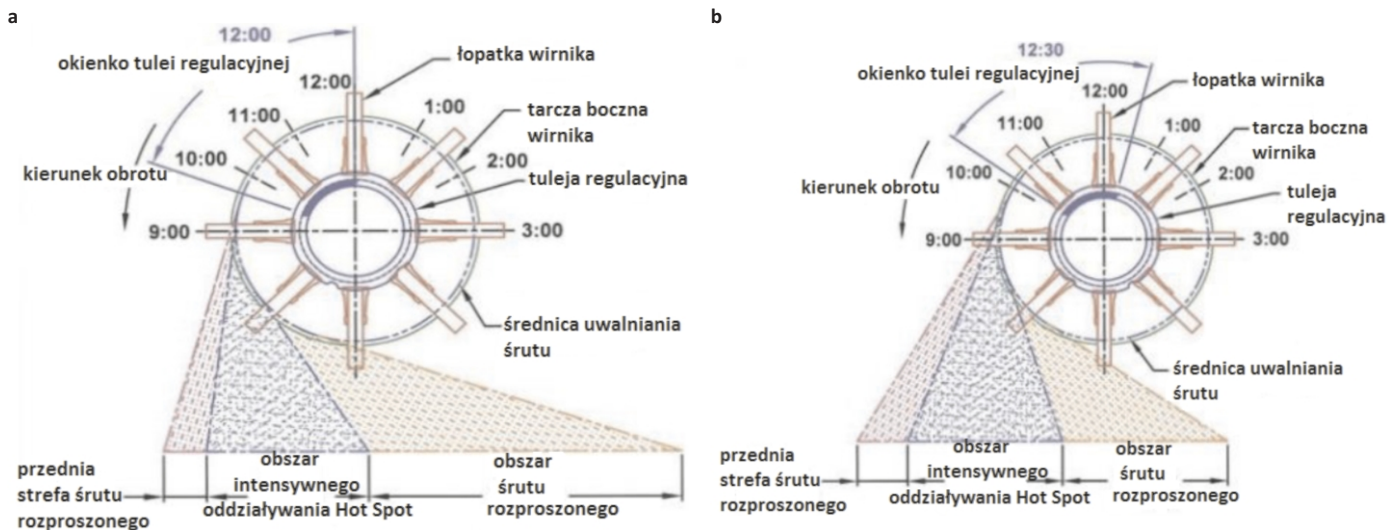
Podstawowym narzędziem do tej regulacji jest tuleja regulacyjna oraz kierunek obrotu wirnika rzutowego – rys. 6 i 7. Położenie okienka wylotowego tulei, przez które śrut z dystrybutora (wirnika rozdzielczego) jest podawany na łopatki, ma wpływ na położenie strefy intensywnego śrutowania. Dla określenia położenia krawędzi okienka wylotowego tulei regulacyjnej wykorzystywana jest tarcza zegara. Przyjęło się, że zakresem regulacji jest przedział od godziny 10 do godziny 2. Położenie okienka w stosunku do tarczy zegara jest też uzależnione od kierunku obrotu wirnika. Wpływ tych dwóch parametrów pracy turbiny na kształt strumienia śrutu przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

Analiza obrazu strugi śrutu ze zmianą położenia okienka tulei regulacyjnej wskazuje jak należy ją ustawiać aby strefę hot spot skierować we właściwe miejsce w komorze śrutowania.



Rys. 6. Koło rzutowe obracające się z prędkością 3600 obr./min w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara: a) krawędź okienka tulei regulacyjnej ustawiona na godzinę 11.30, b) krawędź okienka tulei regulacyjnej ustawiona na godzinę 12.00





Rys. 7. Koło rzutowe obracające się z prędkością 3600 obr./min. w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara: a) krawędź okienka tulei regulacyjnej ustawiona na godzinę 12.00, b) krawędź okienka tulei regulacyjnej ustawiona na godzinę 12.30



Rys. 8. System ustawiania położenia okienka tulei regulacyjnej w oczyszczarkach firmy CM [8]

Poszczególni producenci turbin śrutowniczych stosują różne systemy zmiany położenia okienka tulei regulacyjnej. Najczęściej tuleje mają na kołnierzu oznakowane wcięcia lub tylko jedno wcięcie, które jest usytuowane w połowie szerokości okienka rzutowego [10]. Turbiny mają na swojej obudowie oznakowania pozwalające ustawić tuleje regulacyjną na określonej pozycji. Na rys. 8 pokazano system stosowany przez firmę CM pozwalający ustawić krawędź okienka tulei w 11 różnych pozycjach. Pozycja oznaczona numerem 6 odpowiada ustawieniu tulei na godzinę 12.00.

Na strukturę strumienia śrutu wpływ ma również kształt okienka w tulei regulacyjnej. Najczęściej jest to prostokąt, chociaż stosowane są również okienka

w kształcie kwadratu, równoległoboku lub trójkąta [3]. Kształt trójkątny okienka proponowany był już w patentach Minicha [8].

Położenie otworów wirnika rozdzielczego (dystrybutora) względem łopatek stwarza także możliwość wpływania na wymiary strefy intensywnego śrutowania [2]. Dystrybutor posiada na ścianie czołowej, która jest mocowana do napędu, dwa zamocowania, z których jedno określone jest literą S (krótki hot spot) zaś drugie literą L (długi hot spot). Te dwa położenia dystrybutora w wirniku rzutowym powodują różne ustawienie jego okienek względem łopatek wirnika – rys. 9.

Firma Pangborn wykorzystwała tę możliwość regulowania strumieniem śrutu

w turbinach rzutowych z wygiętymi łopatkami [3, 6].

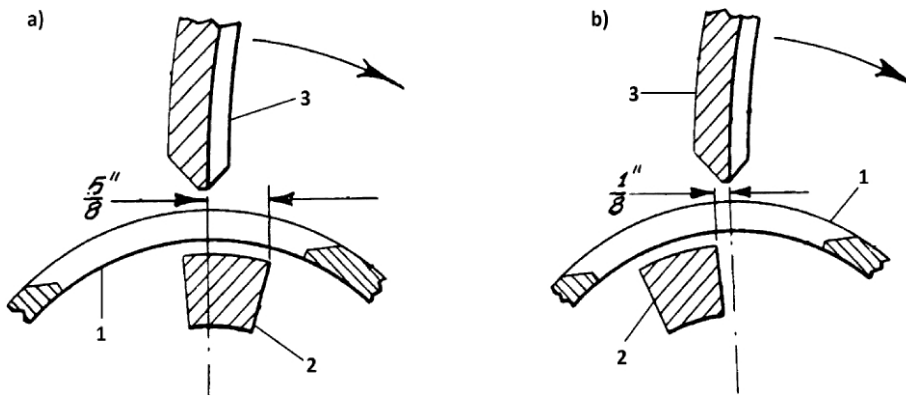
Firma Wheelabrator wprowadziła w ostatnich latach w turbinach śrutowniczych nową konstrukcję tulei regulacyjnej i wirnika rzutowego określoną symbolem  $\eta$  (eta), która ma zwiększyć rozmiary strumienia intensywnego śrutowania oraz zmniejszyć zużycie łopatek i innych składników koła rzutowego [7].

Regulowanie strumieniem śrutu za pomocą tulei regulacyjnej lub dystrybutora można określić jako regulację drugiego stopnia. Podstawowe możliwości daje odpowiednie ustawienie turbiny śrutowniczej w komorze śrutowania oczyszczarki strumieniowej. Znaczenie ma tutaj przede wszystkim ułożenie turbiny w komorze oraz wybór kierunku obrotu wirnika rzutowego. Te podstawowe możliwości zobrazowano na rysunku 10.

Kierunek obrotu wirnika rzutowego, zgodny z kierunkiem ruchu wskazówek zegara lub przeciwny ruchowi wskazówek, jest definiowany przez niektórych użytkowników od strony silnika napędowego, zaś przez innych – od strony leja dozującego śrut do turbiny. Zamawiając turbinę do pracującej oczyszczarki jako prawą lub lewą należy rozstrzygnąć jednoznacznie ten problem. Zaznaczone na rysunku 10 kierunki obrotu wirnika rzutowego określone były od strony dozowania śrutu do turbiny.

Regulację położenia turbiny regulacyjnej w zamontowanej w śrutownicy turbiny umożliwiła dostosowanie strumienia śrutu do położenia obrabianego przedmiotu w komorze.





Rys. 9. Usytuowanie wirnika rozdzielczego w stosunku do łopatek wirnika rzutowego: a) położenie dla uzyskania długiego strumienia intensywnego śrutowania, b) położenie dla uzyskania krótkiego strumienia intensywnego śrutowania; 1) tuleja regulacyjna, 2) przegroda w dystrybutorze, 3) łopatki wirnika rzutowego [2]

3. Horowitz E.J.: Oberflächenbehandlung mittels Strahlmitteln. Vulkan-Verlag, Essen 1982.

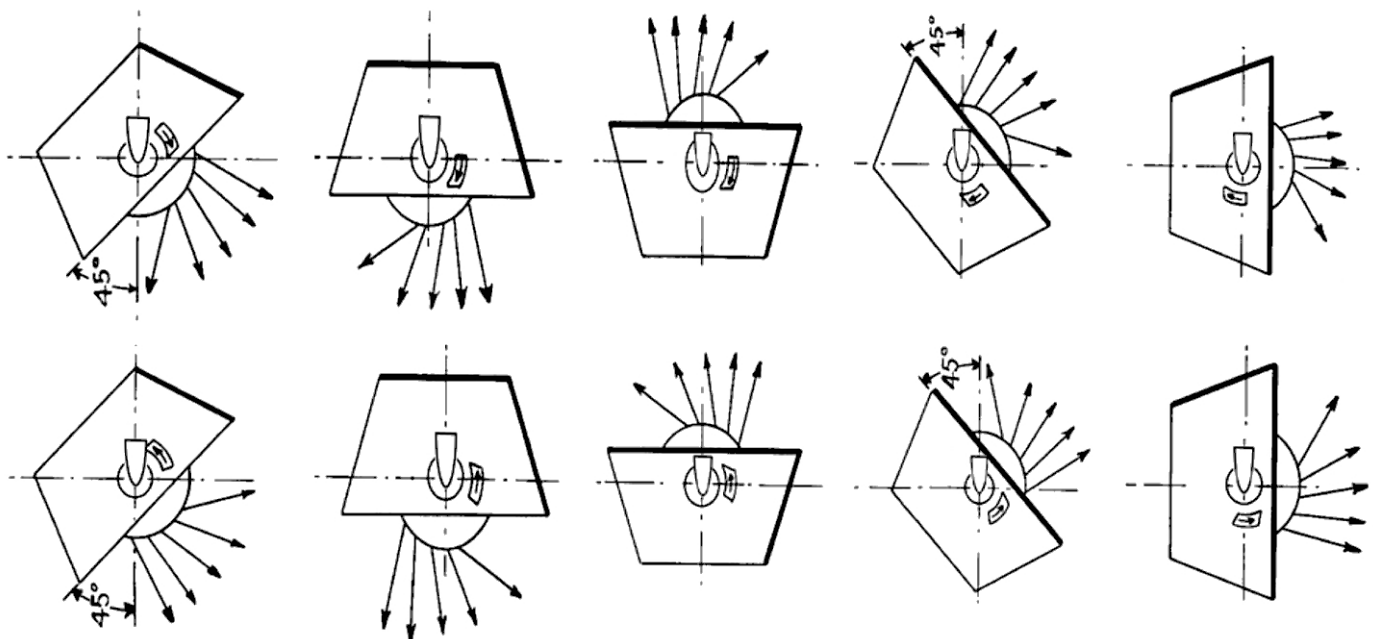
4. Materiały techniczne firmy CM (Włochy). [www.cmspa.it](http://www.cmspa.it)

5. Materiały techniczne firmy Ervin Amasteel (USA). [www.ervinindustries.com](http://www.ervinindustries.com)

6. Materiały techniczne firmy Pangborn (USA). [www.pangborngroup.com](http://www.pangborngroup.com)

7. Materiały techniczne firmy Wheelabrator (USA). [www.wheelabratorgroup.com](http://www.wheelabratorgroup.com)

8. Minich V.E.: Abrasive wheel throwing machine. US Pat 2 077 636 (1934); US



Rys. 10. Możliwości zamontowania turbin śrutowniczych w komorze roboczej oczyszczarki

Przy wyborze właściwej turbiny śrutowniczej należy uwzględnić, że brak jest jednakowego kryterium kwalifikowania przez wszystkich jej użytkowników turbiny jako lewej, czy prawej. Optymalne ustawienie strefy intensywnego oddziaływania śrutu wymaga próbnych obróbek. Wykonuje się je podczas testowej obróbki blach obserwując położenie śladów obróbki na ich powierzchni, organoleptycznie lub za pomocą miernika ciepła.

**Podsumowanie**

W przedstawionej w tej części analizie uwzględniono wszystkie najistotniejsze czynniki konstrukcyjne i technologiczne oraz parametry pracy turbin śrutowniczych. Mają one duże znaczenie dla efek-

tów strumieniowo-ściernego oczyszczania elementów maszyn, zarówno jego jakości jak i efektywności.

Zdaniem autora informacje zawarte w drugiej i trzeciej części opracowania powinny ułatwić wybór samej maszyny, a także dobór optymalnych parametrów oczyszczania.

**Literatura**

1. Aksjonow P.N.: Wybrane zagadnienia z teorii maszyn odlewniczych. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1965.

2. Carpenter J.H., Gorderman G.C.: Apparatus and method for obtaining a shortened blast pattern with a centrifugal throwing wheel. US Pat. 4 164 104 (1979).

Pat. 2 077 638 (1934); US Pat. 2 077 635 (1935); US Pat. 2 077 637 (1937); US Pat. 2 077 639 (1937).

9. Piosik T.: Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo-ściernie. Materiały Sympozjum „Metody i środki do strumieniowo-ściernego przygotowania podłoży metali pod powłoki ochronne”. IMP, Hajnówka 2001, s. 89-96.

10. Woźniak K.: Współczesne oczyszczarki strumieniowo-ściernie. Cz. II: Budowa turbin śrutowniczych. Obróbka Metalu nr 4/2017, s. 28-34.

11. Zyzak P.: Analiza rozwiązań zespołu wirnika rzutowego w oczyszczarkach strumieniowo-ściernych. Materiały VI Konferencji Odlewniczej TECHNICAL, Nowa Sól 2003.