

## Koncepcja poprawy cech użytkowych hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG

mgr inż. Rafał Baron  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

### Concept for improvement of usability features of KOMAG classifying hydrocyclone

#### Streszczenie:

W artykule przedstawiono opracowaną w ITG KOMAG koncepcję hydrocyklonu klasyfikującego. Omówiono budowę i zasadę działania hydrocyklonu oraz zaobserwowane w trakcie eksploatacji trudności, polegające na zmniejszeniu wydajności i pogorszeniu cech funkcjonalnych hydrocyklonu. Przedstawiono przyjęte założenia konstrukcyjne oraz opracowano projekt hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG. Celem prowadzonych prac jest poprawa cech użytkowych hydrocyklonu, który proponuje się umieścić w ciągu technologicznym zakładu przerobczego przed flotownikiem oraz wzbogacalnikiem zwojowym. Rozwiązanie to powinno poprawić jakość produktu uzyskiwanego w procesie wzbogacania w tych urządzeniach.

Słowa kluczowe: górnictwo, przeróbka węgla kamiennego, wzbogacanie grawitacyjne, klasyfikacja, hydrocyklon klasyfikujący

Keywords: mining industry, hard coal processing, gravitational beneficiation, classification, classifying hydrocyclone

#### Abstract:

Concept of KOMAG classifying hydrocyclone developed in the KOMAG Institute is presented. Design of the hydrocyclone and principle of its operation as well as problems regarding output drop and deterioration of its usability features observed during its operation are discussed. Design assumptions as well as developed design of the KOMAG classifying hydrocyclone are given. Improvement of usability features of the hydrocyclone, which is intended to be placed in a technological line of the mineral processing plant before the floatation machine and spiral classifier is the research project objective. This solution should improve quality of the beneficiated products.

## 1. Wprowadzenie

Rosnące wymagania odbiorców wobec producentów węgla, w aspekcie poprawy jego jakości, poprzez rozwój technologii wzbogacania frakcji najdrobniejszych w hydrocyklonie, wymuszają nową jakość zakładów przerobczych kopalń.

Hydrocyklon jest urządzeniem, które poprzez zastosowanie procesów grawitacyjnych oraz siły odśrodkowej umożliwia, w sposób efektywny, klasyfikowanie materiału do dalszych procesów wzbogacania.

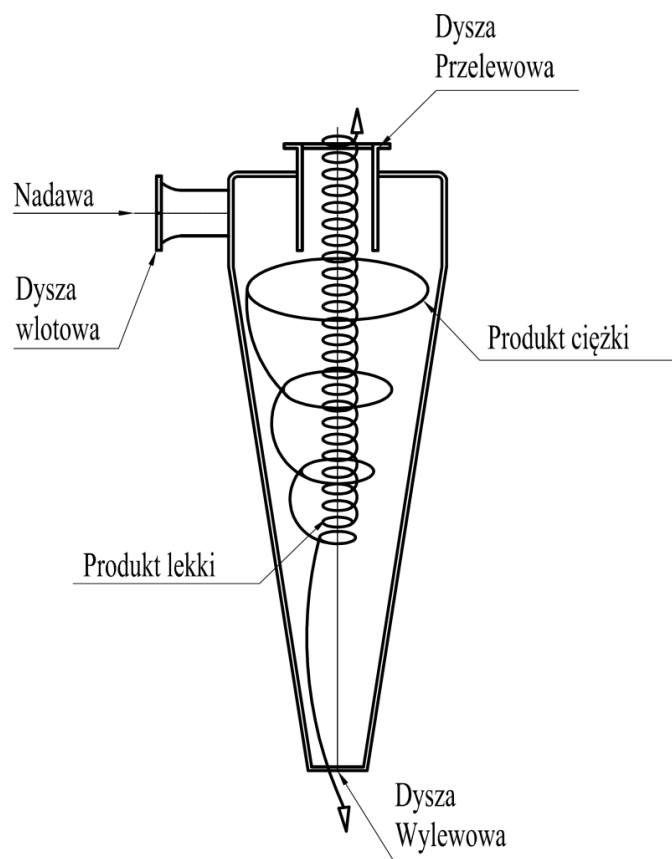
Pierwsze rozwiązania konstrukcyjne, sięgające końcówki XIX wieku, systematycznie udoskonalano na podstawie wyników badań doświadczalnych. Wzrost zainteresowania w Europie hydrocyklonami nastąpił po roku 1939, natomiast w Polsce pierwsze prace badawcze rozpoczęto po wojnie w Głównym Instytucie Górnictwa, Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Instytucie Techniki Górniczej KOMAG. Obecnie polskim, wiodącym producentem rozwiązań hydrocyklonów są „Zakłady Urządzeń Przemysłowych ZAM Kęty”, konkurujące z producentami zagranicznymi np.: „Krebs”, „Cavex”.

W związku z rosnącym zapotrzebowaniem oraz potrzebą wzrostu konkurencyjności polskich rozwiązań hydrocyklonów, Instytut Techniki Górniczej KOMAG realizuje prace koncepcyjne, mające na celu opracowanie hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG. Celem podjętych prac jest uzyskanie poprawy cech użytkowych tego hydrocyklonu poprzez,

między innymi, modyfikację geometrii wlotu nadawy. Prognozuje się, że zmodyfikowany konstrukcyjnie hydrocyklon, umieszczony w układzie technologicznym zakładu przerobczego przed flotownikiem lub wzbogacalnikiem zwojowym, poprawi skuteczność klasyfikacji drobnych frakcji węglowych [2, 4].

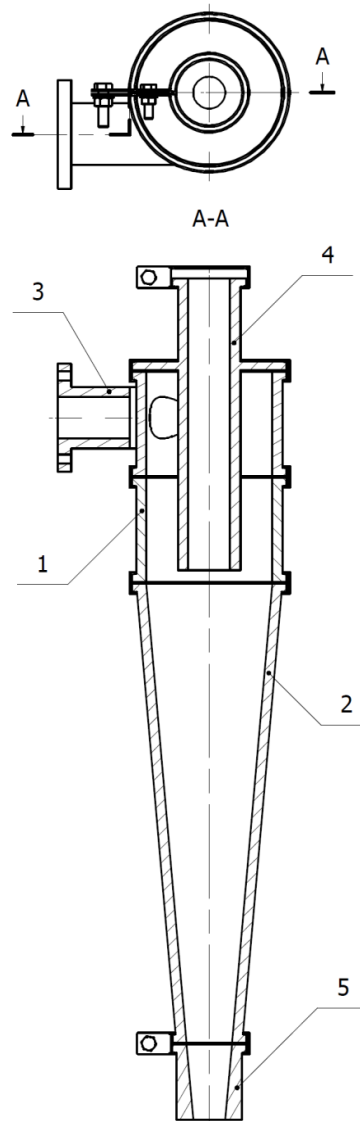
## 2. Zasada działania hydrocyklonu klasyfikującego

Zasadę działania hydrocyklonu klasyfikującego przedstawiono na rysunku 1. Nadawa wprowadzona do hydrocyklonu porusza się ruchem wirowym. Ruch ten uzyskuje się poprzez wprowadzenie zawiesiny, za pomocą dyszy wlotowej, stycznie umieszczonej do części cylindrycznej hydrocyklonu. Wywołany ruch wirowy strugi umożliwia rozdział mieszaniny w zależności od własności fizycznych poszczególnych ziaren. Ziarna o większej masie opadają wzdłuż części cylindrycznej, następnie stożkowej, gdzie kolejno odbierane są dyszą wylewową. Ziarna lekkie, wynoszone zostają ku górze, równoległe do osi hydrocyklonu, skąd odbierane są za pośrednictwem dyszy przelewowej [1].



Rys. 1. Zasada działania hydrocyklonu klasyfikującego [1]

Hydrocyklon klasyfikujący, jak również odmiany różniące się jego przeznaczeniem (zagęszczający, wzbogacający), charakteryzuje się stosunkowo prostą konstrukcją, bez elementów ruchomych. W każdym z przypadków urządzenie tego typu, składa się z kilku elementarnych segmentów. Schemat budowy hydrocyklonu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat budowy hydrocyklonu klasyfikującego [4]

1 – część cylindryczna, 2 – część stożkowa, 3 – dysza wlotowa, 4 – dysza przelewowa, 5 – dysza wylewowa

Poszczególne elementy składowe hydrocyklonu realizują określone funkcje. Część cylindryczna, wraz z dyszą wlotową usytuowaną stycznie do obwodu części o przekroju walcowym, stanowi zespół nadający wprowadzonej cieczy (zawiesinie) ruch wirowy. Część stożkowa znajduje się osiowo poniżej części cylindrycznej. Głównym jej zadaniem jest wywołanie zmian stanu początkowego wirującej zawiesiny, poprzez rozklasyfikowanie, na podstawie zagęszczenia lub składu densymetrycznego. Wzbogacona zawiesina, zgodnie z przyjętym ziarnem podziałowym, kierowana jest dyszą przelewową, bądź dyszą wylewową hydrocyklonu. Dysza przelewowa, umiejscowiona częściowo wewnątrz części cylindrycznej, służy do wyprowadzenia produktów o drobnym uziarnieniu, natomiast dysza wylewowa, znajdująca się u podstawy urządzenia, służy do odprowadzania produktów cięższych, o wyższej koncentracji fazy stałej.

Hydrocyklon klasyfikujący znalazł zastosowanie między innymi, w przeróbce mechanicznej kopalin do mokrej klasyfikacji w procesie mielenia, w połączeniu z urządzeniami rozdrabniającymi. W polskich zakładach przeróbki mechanicznej węgla kamiennego urządzenia te stosowane są np. w celu uzyskania odpowiedniego uziarnienia materiału do dalszych procesów przeróbczych (proces flotacji) lub sklarowania wody obiegowej.

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych, można wyróżnić następujące zalety hydrocyklonów [2, 3]:

- prosta budowa,
- zwarta konstrukcja,
- brak ruchomych części,
- duża wydajność jednostkowa,
- wysoka skuteczność pracy,
- wysoki poziom bezawaryjności,
- możliwość wszechstronnego zastosowania,
- niski koszt inwestycyjny,
- łatwość łączenia w tzw. baterię hydrocyklonową,
- możliwość klasyfikacji w szerokim zakresie ziarnowym.

W trakcie eksploatacji hydrocyklonu zaobserwowano niekorzystne zjawisko objawiające się spadkiem efektywności pracy hydrocyklonów. Przyczyna spadku przepustowości urządzenia oraz pogorszenia parametrów klasyfikowanej zawiesiny, wynikać może z przestarzałych rozwiązań konstrukcyjnych, sprzyjającym zapychaniu się dysz hydrocyklonu.

Wyżej opisane niedogodności zostaną wyeliminowane w hydrocyklonie, którego założenia projektowe zaproponowano w rozdziale 3.

### **3. Założenia projektowe hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG**

Przed przystąpieniem do prac związanych z projektowaniem, a następnie realizacją założeń projektowych hydrocyklonu, koniecznym jest sformułowanie założeń projektowych, popartych wiedzą literaturową. Zebrane informacje, w sytuacji niedostatecznego doświadczenia w projektowaniu hydrocyklonów, należy uzupełnić o praktyczne informacje i obserwacje eksploatacyjne uzyskane w ramach współpracy z przedsiębiorstwami działającymi w tym zakresie.

Prace projektowe, dotyczące hydrocyklonu klasyfikującego, poprzedzono opracowaniem założeń wstępnych, do których zaliczono:

- określenie ilości zawiesiny przeznaczonej do procesu klasyfikacji,
- dobór danych wyjściowych projektowych opartych na ciągu technologicznym zakładu przerobczego (wartość ciśnienia wlotowego, własności zawiesiny),
- analizę technologicznych parametrów nadawy wpływających na proces klasyfikacji (koncentracja fazy stałej, lepkość zawiesiny, skład densymetryczny oraz granulometryczny nadawy itd.),
- wyznaczenie podstawowych wymiarów urządzenia, zgodnie z przyjętą charakterystyką ziarna podziałowego, czy też założoną wydajnością,
- oszacowanie pozostałych wymiarów, względem ogólnie przyjętej zależności geometrycznej oraz własności nadawy,
- dobór materiału konstrukcyjnego.

Hydrocyklon posiada również pewne wady oraz ograniczenia konstrukcyjne, stanowiące wyzwania na etapie projektowania oraz przyszłej eksploatacji urządzenia, tj.:

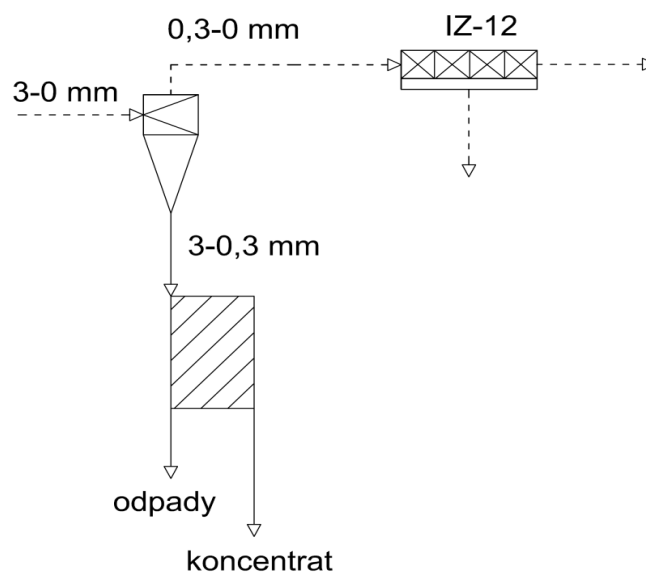
- złożoność działania urządzenia,
- rozbieżność opracowań dotyczących teorii pracy hydrocyklonu,
- niska precyzja procesu klasyfikacji w dłuższym okresie jego działania,
- kłopotliwa regulacja „ziarna podziałowego”, poprzez wymianę dysz,
- duże zapotrzebowanie energii,
- problemy związane z uzyskaniem całkowicie sklarowanej zawiesiny,
- lokalnie występującą turbulencję przepływu zawiesiny w obszarze dyszy wlotowej i części cylindrycznej,
- podatność elementów hydrocyklonu na ścieranie.

#### 4. Opis hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG

Przyjęte wytyczne i założenia projektowe określono korzystając z wyników pracy pt.: „Rozwiązanie hydrocyklonu w aspekcie podniesienia innowacyjności polskich zakładów przeróbki mechanicznej węgla, jako alternatywne urządzenie wspomagające proces przeróbki frakcji drobnych” o numerze zlecenia EM-M12-22470 [4].

Hydrocyklon jest rozpowszechnioną konstrukcją, charakteryzującą się dużą podatnością na modyfikację, w zależności od pożądanej operacji przeróbczej oraz założonego ziarna podziałowego. Szacuje się, że proces klasyfikacji, przeprowadzony za pośrednictwem hydrocyklonu klasyfikującego, zapewnia najwyższą skuteczność klasyfikacji ziarnowej, w szczególności frakcji najdrobniejszych.

Koncepcja hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG, opracowana została w oparciu o założoną nadawę w klasie 3-0 mm, stanowiącą ziarna drobnej frakcji węglowej. Proces klasyfikacji ma na celu przygotowanie nadawy do efektywnego wzbogacania w wzbogacalniku zwojowym, poprzez wydzielenie klasy poniżej 0,3 mm. Klasa ta natomiast wzbogacona zostanie we flotowniku (rys. 3).



Rys. 3. Zastosowanie hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG w ciągu technologicznym zakładu przeróbczego [4]

Założenia technologiczne nadawy bezpośrednio rzutują na poszczególne wymiary elementów składowych hydrocyklonu klasyfikującego, zgodnie z zalecanymi na podstawie badań zależnościami geometrycznymi.

Obudowę hydrocyklonu klasyfikującego stanowi lekka stalowa struktura, której wnętrze, w celu ograniczenia ścieralnego wpływu ziaren drobnych, wyłożone jest trudnościeralnymi wykładzinami ceramicznymi [3].

Budowę i funkcję poszczególnych części składowych hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG przedstawiono poniżej.

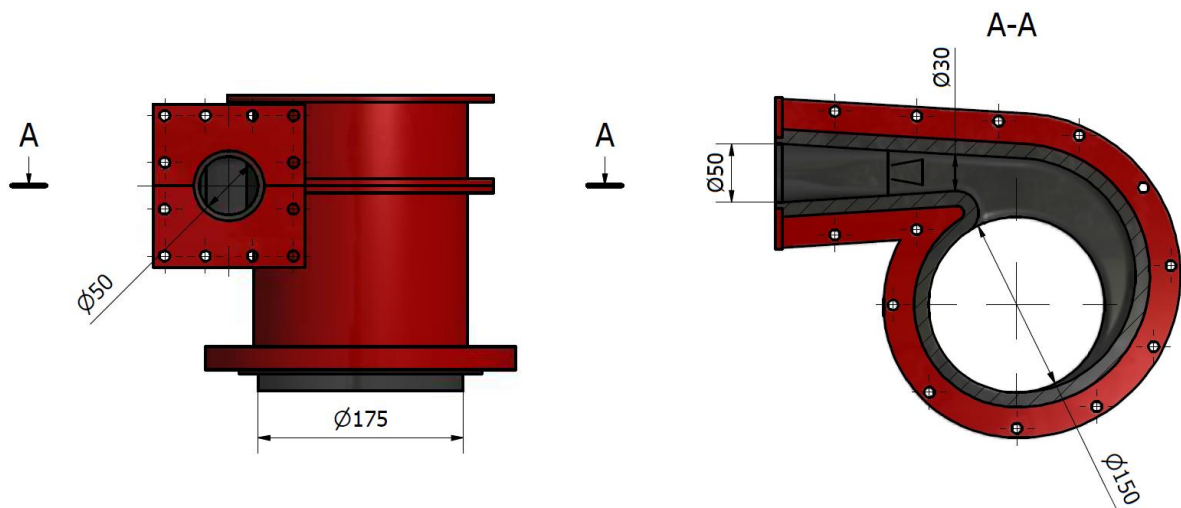
#### 4.1. Część cylindryczna wraz z dyszą wlotową

Zadaniem dyszy wlotowej, usytuowanej stycznie do obwodu części cylindrycznej, jest nadanie zawieszonie ruchu wirowego, wprowadzonej do hydrocyklonu.

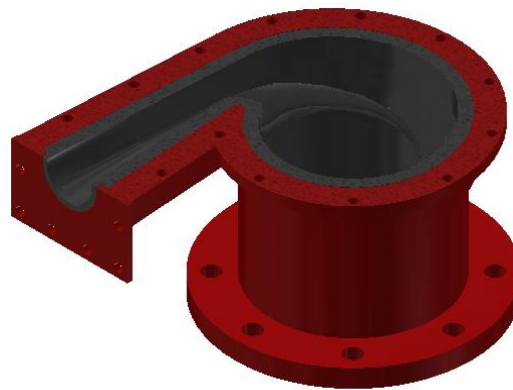
Zespół części cylindrycznej (rys. 4) składa się z dwóch członów, połączonych śrubami. Średnica części cylindrycznej, wynosząca  $\text{Ø}150$  mm, stanowiącą średnicę hydrocyklonu, jest parametrem wyjściowym, zgodnie z którym dobierane są pozostałe parametry konstrukcyjne hydrocyklonu.

Część cylindryczna zintegrowana z dyszą wlotową, posiada geometrię ewolwentowego wlotu nadawy (rys. 5), niwelując tym samym negatywny wpływ turbulentnego przepływu strugi zawiesiny wewnątrz hydrocyklonu. Odpowiednio ukształtowany wlot nadawy może wydłużyć żywotność podatnych na ścieranie wewnętrznych wykładzin ceramicznych. Otwór dyszy wlotowej  $\text{Ø}50$  mm, zwężający się u styku części cylindrycznej do średnicy  $\text{Ø}30$  mm, posiada 100 mm strefę przejścia kształtu przekroju, z okrągłego na prostokątny.

Grubości obudowy stalowej (4 mm), jak i powłoki ceramicznej (12,5 mm), w każdym z członów hydrocyklonu jest jednakowa.



Rys. 4. Część cylindryczna wraz z dyszą wlotową [4]



Rys. 5. Ewolwentowy wlot zawiesiny [4]

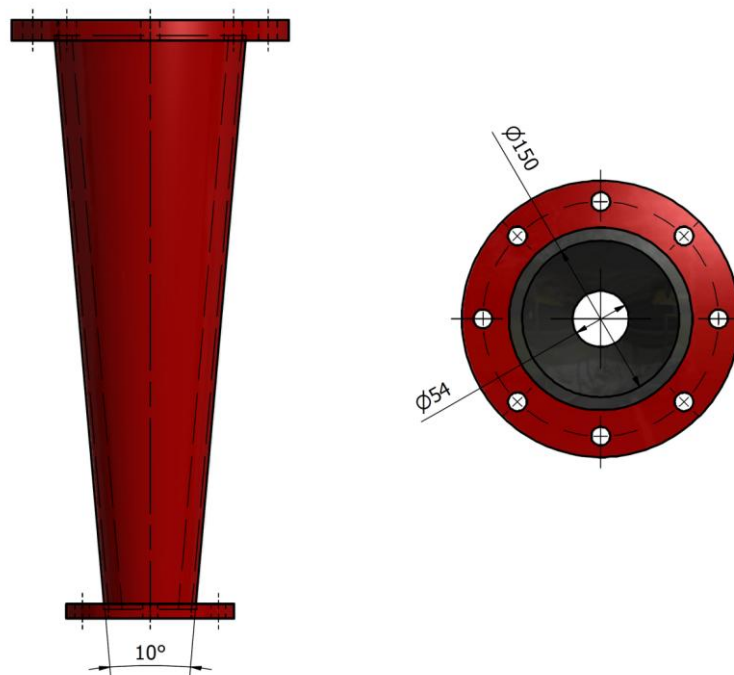
#### 4.2. Część stożkowa

W części stożkowej – rysunek 6, dochodzi do zmiany nieustalonego stanu początkowego wirującej zawiesiny (zmiana składu ziarnowego).

Głównym parametrem warunkującym poprawność pracy hydrocyklonu jest odpowiednio dobrany kąt zbieżności stożka, wynoszący  $10^\circ$  dla hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG.

Długość części stożkowej jest parametrem wynikowym, ze względu na przyjęty kąt zbieżności, średnicę części cylindrycznej (hydrocyklonu) oraz średnicę dyszy wylewowej.

Część stożkowa połączona jest z częścią cylindryczną oraz dyszą wylewową za pośrednictwem znormalizowanych kołnierzy, uszczelnianych uszczelką gumową.



Rys. 6. Część stożkowa [4]

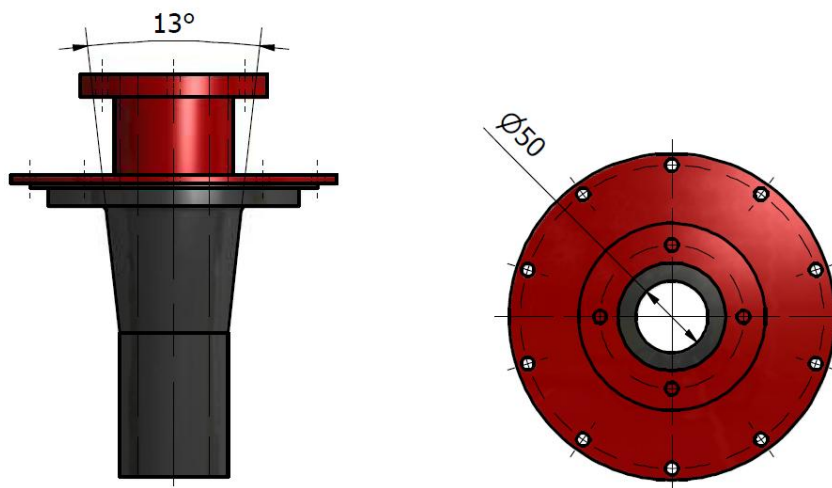


### 4.3. Dysza przelewowa

Dysza przelewowa (rys. 7) służy do wyprowadzania drobniejszego produktu klasyfikacji z hydrocyklonu, a w przypadku hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG, pełni również funkcję uszczelniacza, poprzez docisk mieszczących się poniżej wykładzin trudnościeralnych.

Średnica dyszy przelewowej, zgodnie z przyjętymi zależnościami geometrycznymi oraz koniecznością uniknięcia tzw. ciśnienia wstecznego wynosi  $\text{Ø}50$  mm.

Istotny wpływ na skuteczność rozdziału ma długość dyszy przelewowej (jej wyciągnięcie w głąb, osiowo, do wnętrza hydrocyklonu). Wartość ta wynosi ok. 200 mm, nieznacznie powyżej górnej płaszczyzny części stożkowej.

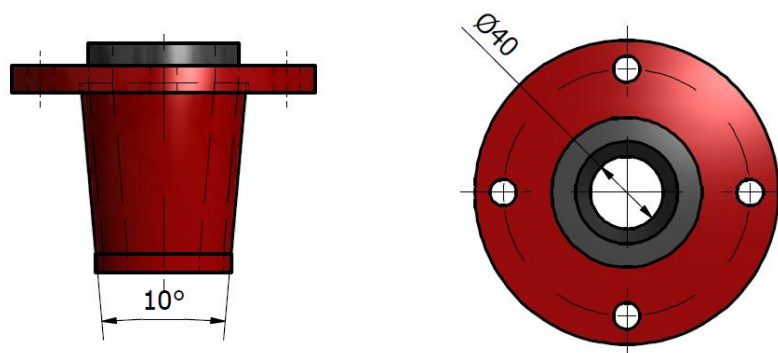


Rys. 7. Dysza przelewowa [4]

### 4.4. Dysza wylewowa

Wylew (tak jak pozostałe człony hydrocyklonu) jest elementem podlegającym wymianie, w zależności od określonych warunków pracy oraz w zależności od założonych efektów pracy urządzenia (ziarna podziałowego). W razie konieczności istnieje możliwość wymiany wykładzin ceramicznych, rzutujących na zmianę średnicy otworu wylewowego, bądź poprzez odpowiednie uformowanie lub zmianę kąta zbieżności stożka wylewu.

Z uwagi na bezpośredni wpływ średnicy otworu wylewowego na zagęszczenie w przelewie oraz optymalny uzysk części stałych w wylewie, koniecznym było zachowanie ogólnie przyjętych proporcji geometrycznych. W związku z tym dyszę wylewową (rys 8), której kąt zbieżności stożka wynosi  $10^\circ$  zakończono otworem wylewowym o średnicy  $\text{Ø}40$  mm.



Rys. 8. Dysza wylewowa [4]



#### 4.5. Podstawowe parametry konstrukcyjne

Model hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG przedstawiono na rysunku 9. Podstawowe parametry konstrukcyjne hydrocyklonu klasyfikującego są następujące:

- średnica hydrocyklonu – 150 mm,
- średnica otworu wlotowego – 50 mm,
- średnica otworu przelewowego – 50 mm,
- średnica otworu wylewowego – 40 mm,
- kąt zbieżności części stożkowej –  $10^\circ$ ,
- grubość obudowy hydrocyklonu – 4 mm,
- grubość powłoki ceramicznej – 12,5 mm,
- ciśnienie u wlotu  $\sim 0,05-0,2$  MPa\*,
- wydajność  $\sim 10-20$  m<sup>3</sup>/h\*.

\*) wartość ciśnienia u wlotu oraz wydajność, oszacowana została na podstawie istniejących konstrukcji, o zbliżonych parametrach konstrukcyjnych



Rys. 9. Hydrocyklon klasyfikujący typu KOMAG [4]

## 5. Podsumowanie

Hydrocyklon charakteryzuje wysoka ergonomiczność, połączona z prostotą konstrukcji oraz możliwość modyfikacji.

Zaprezentowany hydrocyklon klasyfikujący typu KOMAG, bazuje na nowatorskich rozwiązaniach konstrukcyjnych, tj.: geometria wlotu zawiesziny oraz zastosowane wykładziny trudnościeralne. Oczekiwany efekt przeprowadzonych modyfikacji hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG, który proponuje się umieścić w ciągu technologicznym zakładu przerobczego przed flotownikiem oraz wzbogacalnikiem zwojowym, jest poprawa klasyfikacji drobnych frakcji węglowych. Ponadto, za sprawą poczynionych prac, polegających na: zmianie średnic otworów, geometrii wlotu nadawy i zastosowaniu odpornych na ścieranie wykładzin ceramicznych, spodziewane są następujące efekty:

- uzyskanie wytrzymałej konstrukcji,
- osiągnięcie wysokiego stopnia odporności na ścieranie,
- ograniczenie zjawiska przepływu turbulენტnego strugi materiału, w obrębie dyszy wlotowej oraz części cylindrycznej,
- uzyskanie wysokiej efektywności,
- obniżenie energochłonności.

Hydrocyklon posiadał będzie możliwość łączenia w baterię.

Hydrocyklon klasyfikujący typu KOMAG, przeznaczony do wyselekcjonowania materiału o zdefiniowanej klasie ziarnowej, przed wzbogacaniem go we wzbogacalniku zwojowym oraz flotowniku, może być również zastosowany do innych procesów przerobczych na przykład do oczyszczanie wód obiegowych.

Istnieje konieczność weryfikacji przyjętych założeń modyfikacji hydrocyklonu klasyfikującego w badaniach modelowych, przy użyciu dedykowanego programu komputerowego oraz na specjalnie skonstruowanym stanowisku badawczym.

## Literatura

- [1] Battaglia A.: Maszyny do przeróbki mechanicznej kopalín. Cz II – urządzenia hydromechaniczne. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Kraków, 1968
- [2] Nowak Z.: Hydrocyklony w przeróbce mechanicznej kopalín. Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1970
- [3] <http://www.pro-industry.pl/produkty/hydrocyklony/> (02.03.2018)
- [4] Baron R.: Rozwiązanie hydrocyklonu w aspekcie podniesienia innowacyjności polskich zakładów przeróbki mechanicznej węgla jako, alternatywne urządzenie wspomagające proces przeróbki frakcji drobnych. EM-M12-22470. ITG KOMAG, Gliwice 2018 (materiały niepublikowane)