

## **Pompa typu WH-200 do hydrotransportu, ze zunifikowanym zespołem łożyskowym**

### *Streszczenie*

Zaprojektowano pompę wirową, odśrodkową, jednostopniową, typu WH-200 do hydrotransportu ciężkiego, ze zunifikowanym zespołem stojana. Zespół stojana posiada układ łożyskowy z wewnętrznym, wymuszonym obiegiem oleju oraz ujednolicony zespół dławnicy i jest wspólny dla całego typoszeregu pomp WH. Rozwiązanie tulei łożyskowej obniża temperaturę pracy łożysk i rozszerza zakres możliwego obciążenia pompy. Pompa posiada wirnik odciążający dławnicę, więc zamek dławnicy może być zasilany smarem stałym ze smarownicy automatycznej. Zespół wirujący pompy można przesuwając w kierunku osiowym. Dzięki unifikacji zespołów pompy WH-200, zmiana typu dowolnej pompy z typoszeregu WH, odbywa się przez prostą wymianę układu przepływowego, zabudowanego na stojanie pompy WH-200.

### *Summary*

Impeller, centrifugal, one-stage WH-200 pump for heavy hydro-transportation, with unified bearing system, was designed. Stator unit has a bearing system with internal, forced oil recycle and unified throttle system, and it is common for entire type series of WH pumps. The solution of bearing sleeve reduces the temperature of bearings operation and extends the range of possible pump load. The pump has a rotor reducing load to the throttle, so the throttle lock can be supplied with solid grease from an automatic greaser. Pump rotating unit can be moved in an axial direction. Due to unification of WH-200 pump systems, the change in type of any pump from WH type series consists in a simple change of flow system installed on the stator of WH-200 pump.

**Słowa kluczowe:** pompa wirowa, hydrotransport, unifikacja zespołów pompy, zespół stojana

**Keywords:** impeller pump, hydro-transportation, unification of pump systems, stator unit

---

## **1. Wprowadzenie**

Pompy do hydrotransportu przeznaczone są do pompowania mieszanin ciała stałego z cieczą.

Mieszaniny mają zwykle znaczne gęstości, duże koncentracje ciała stałego w cieczy (szlamy) oraz mogą zawierać silnie ścierające ziarna ciał stałych. Ziarna ciał stałych mogą posiadać duże średnice, (od 1/3 [1]) do 2/3 szerokości kanałów przepływowych pompy. Ponieważ cząstki stałe zawarte w mieszaninie poruszają się wolniej w stosunku do wody, generowane są dodatkowe straty hydrauliczne.

Skład pompowanej cieczy ma zatem zasadnicze znaczenie w aspekcie porównywania pomp, w ramach danej grupy zastosowań. W przypadku pomp do wody czystej, kryterium porównywania pomp między sobą jest sprawność pompy, a w przypadku pomp do ścieków (ciecz może zawierać szmaty, słomę, pierze itp.), kryterium jest niezatykalność części przepływowej pompy. Dla pomp do hydrotransportu decydująca jest żywotność elementów przepływowych pompy. Sprawność pomp do hydrotransportu jest bardzo zmienna (nawet o kilkadziesiąt procent), wraz ze zużyciem elementów części przepływowej pompy,

a udział pracy pompy, przy zaniżonej sprawności do całego okresu między remontami pompy, jest znaczny [2]. Na sprawność pompy ma wpływ również konstrukcja wirnika i kadłuba, rodzaj mieszaniny, koncentracja ciała stałego, wielkość i kształt ziaren, lepkość mieszaniny itp. [3]. Kryteria stawiane pompom, w zależności od zastosowań, mają decydujący wpływ na ich rozwiązania konstrukcyjne.

Pompy wirowe do hydrotransportu budowane są wyłącznie, jako jednostopniowe. Ze względu na wymagane duże przekroje kanałów przepływowych, wirniki pomp do hydrotransportu mają zmniejszoną liczbę łopatek (od 3 do 5), w stosunku do liczby łopatek wynikających z klasycznych obliczeń pomp do wody. Zasada: „im więcej łopatek, tym większa sprawność” [1], nie ma tutaj zastosowania.

O żywotności pompy do hydrotransportu decyduje jej odporność na zużycie (erozyjne, korozyjne i abrazyjne). Konstrukcja części przepływowej pompy jest zwykle odpowiednio ukształtowana i pogrubiona w miejscach narażonych na intensywne zużycie. Zużycie erozyjne elementów zależy głównie od prędkości obrotowej pompy, jak również od rodzaju,

koncentracji, średnicy i kształtu ziaren, a także od kąta, pod jakim ziarna ciała stałego padają na powierzchnię elementów. Dla części przepływowej pompy wykonanej ze staliwa, najbardziej szkodliwe są uderzenia ziaren pod kątem ok.  $90^{\circ}$  do ścianki. Dla pomp do hydrotransportu piasku, z układami przepływowymi z materiałów elastycznych (guma, elastomery), najbardziej groźne są uderzenia pod kątem ostrym mniejszym od  $45^{\circ}$  [1].

Ze względu na dodatki stopowe w staliwie, z którego są odlewane elementy układu przepływowego, intensywność zużycia korozyjnego jest kilkakrotnie mniejsza od intensywności zużycia erozyjnego. Dla mieszanin gruboziarnistych, zużycie erozyjne elementów przepływowych rośnie z kwadratem wzrostu prędkości obrotowej pompy.

Pompowana mieszanina musi przepływać przez pompę i przez współpracujące rurociągi z prędkością przepływu „ $v$ ”, większą od prędkości krytycznej „ $v_k$ ” danej mieszaniny. Dla uniknięcia sedimentacji, w każdym obszarze pompy i układu pompowego musi być spełniona zależność: ( $v > v_k$ ).

## 2. Charakterystyka pompy WH-200

Mając na uwadze warunki pracy pomp do hydrotransportu, w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach zaprojektowano pompę WH-200 (rys. 1), uwzględniając następujące wytyczne:

- układ przepływowy pompy o możliwie dużej żywotności,
- możliwość pompowania gęstych mieszanin, o dużych koncentracjach ciała stałego,
- duże przeloty kanałów przepływowych (ziarna ciała stałego o średnicy do 60 mm), ale możliwie małe gabaryty pompy,
- niska podatność pompy na awarie w ciężkich warunkach pracy (drżania, zapylenie),
- minimalny udział obsługi w czasie pracy pompy,
- parametry pracy eliminujące konieczność szeregowej pracy pomp,
- niska cena (unifikacja zespołów pompy),
- łatwa regulacja parametrów pracy pompy,
- łatwa wymiana części zamiennych (układ przepływowy, dławnica),
- brak dodatkowego doprowadzenia wody czystej do pompy (do dławnicy, chłodnicy oleju itp.),
- zamek dławnicy zasilany z smarownicy automatycznej.

Zaprojektowana pompa WH-200 to pompa wirowa, jednostopniowa, stacjonarna, wysokoobrotowa, przeznaczona do hydrotransportu ciężkiego. Parametry pracy pompy przedstawiono w tabeli 1.

Moc silnika napędowego pompy jest każdorazowo określana indywidualnie, w zależności od gęstości konkretnej hydromieszaniny, koncentracji objęto-

ściowej ciała stałego i przyjętego dopuszczalnego stopnia zużycia układu przepływowego pompy [3].

Pompa WH-200 posiada przesuwany układ łożyskowy z wewnętrznym, wymuszonym obiegiem oleju, układ regulacji szczeliny czołowej wirnika, odciążoną dławnicę z zamkiem na smar stały i zunifikowany zespół stojana wspólny dla pomp typoszeregu WH.

W wykonaniu specjalnym pompa może być wyposażona w układ monitoringu i diagnostyki MDP [5].

Pompa WH-200 może pompować mieszaniny wodne zawierające: piasek kwarcowy, żwir, rudy metali, węgiel, żużel, popiół, kamienie, glinę, a także mleczko wapienne, odpady poflotacyjne itp.

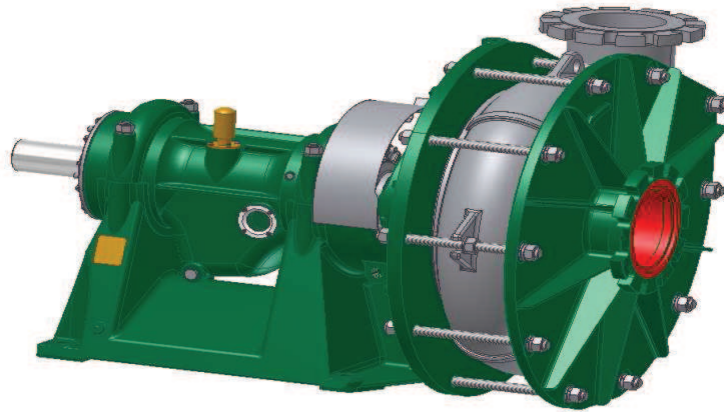
Zastosowane materiały umożliwiają wykorzystanie pomp WH-200 do pompowania cieczy o umiarkowanej agresywności chemicznej tj.  $\text{pH} = 6 \div 9$ , o wartościach chlorków i siarczanów do  $10 \text{ g/dm}^3$  (np. solanka).

Dla większości mieszanin, gęstość pompowanej cieczy nie powinna być większa niż  $1700 \text{ kg/m}^3$ , koncentracja objętościowa nie powinna przekraczać  $C_V = 20\%$ , koncentracja masowa  $C_W \leq 40\%$ , a temperatura cieczy nie powinna być wyższa od  $40^{\circ}\text{C}$ . W przypadku pompowania jednorodnych mieszanin heterogenicznych, z małymi ziarnami (do 0,3 mm), gęstość pompowanej mieszaniny może być zwiększona do  $2200 \text{ kg/m}^3$ .

Przy pompowaniu mieszanin o gęstości większej niż  $1100 \text{ kg/m}^3$ , pompa WH-200 powinna pracować z napływem po stronie ssawnej minimum  $1 \div 2 \text{ m}$ .

Przy pompowaniu mieszanin o gęstościach mniejszych niż  $1100 \text{ kg/m}^3$ , pompa WH-200 może pracować w układzie ssącym, o wysokości ssania do ok. 1,5 m.

Pompa WH-200 posiada zunifikowany zespół stojana, z zabudowanym układem łożyskowym i zespołem dławnicy. Łożyska toczne pompy są smarowane olejem. Rozwiązanie tulei łożyskowej z wymuszonym obiegiem oleju polepsza warunki smarowania łożysk i rozszerza zakres możliwego obciążenia łożysk pompy. Zespół wirujący pompy można przesuwac w kierunku osiowym, co umożliwia regulację szczeliny dławiącej pomiędzy czołem wirnika i wykładziną przednią, w miarę wycierania się powierzchni szczeliny. Pompa posiada dodatkowy wirnik odciążający dławnicę, który we współpracy z łopatkami odciążającymi wirnika odrzuca cząstki stałe od dławnicy i powoduje, że różnica ciśnień na końcach dławnicy jest bliska zeru. Z tego powodu dławnica może mieć małą liczbę pakunków i nie musi być zasilana pod ciśnieniem czystą wodą z zewnętrznego źródła. Zamek dławnicy jest zasilany smarem stałym ze smarownicy automatycznej. Smar wtłaczany jest do szczeliny między szczeliwem dławnicy i tuleją ochronną wału, co zapobiega wyciekom cieczy, zmniejsza straty tarcia w dławnicy oraz ogranicza konieczność ingerencji obsługi (praca automatyczna).



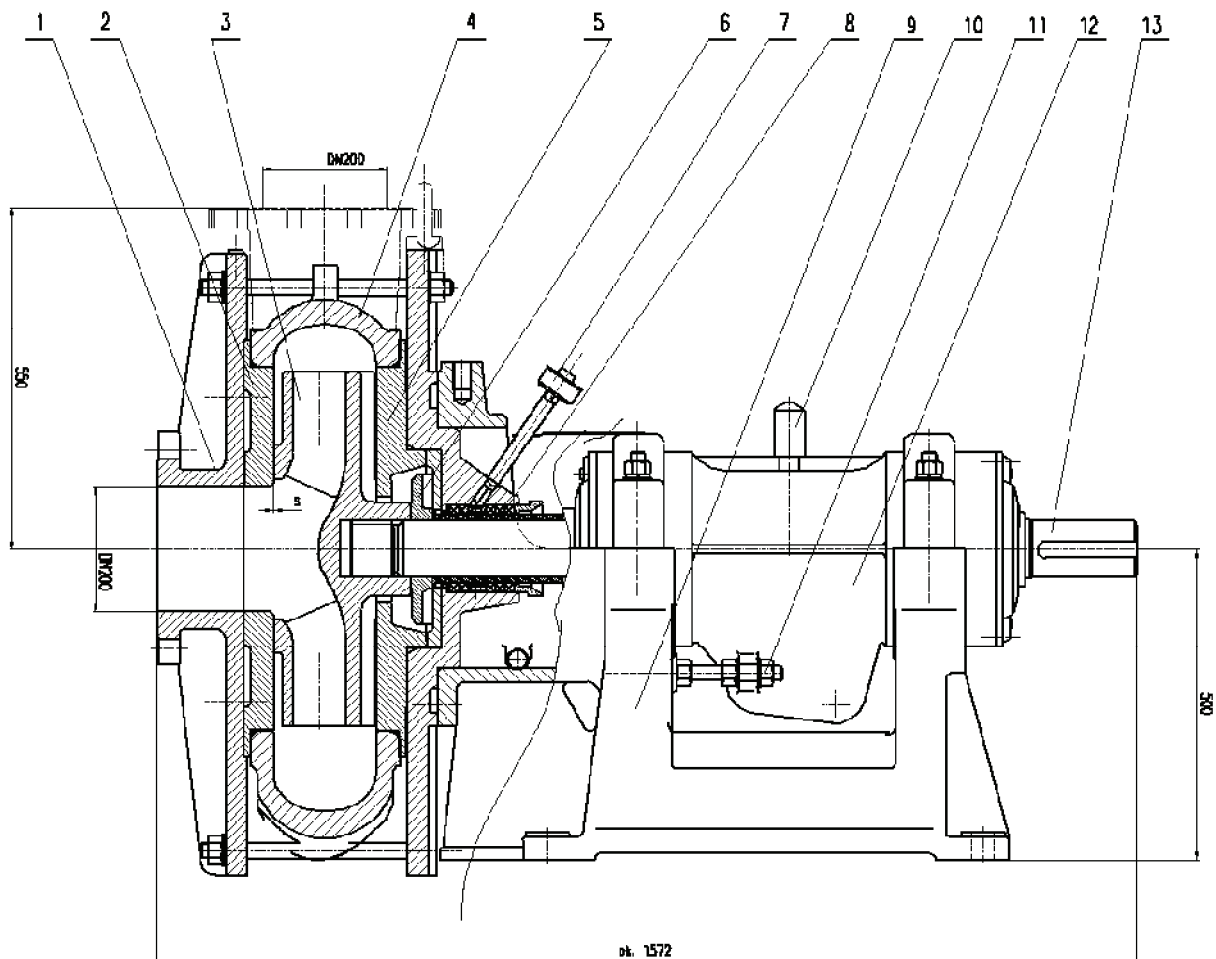
Rys.1. Pompa WH-200 [6]

Nominalne parametry pracy pompy WH-200 [6]

Tabela 1

Wydajność Q [m <sup>3</sup> /h]	580*
Wysokość podnoszenia H [m]	108*
Koncentracja masowa ciała stałego C <sub>w</sub> [%]	50
Max. dopuszczalna średnica ziarna D [mm]	60
Nominalna prędkość obrotowa n [min <sup>-1</sup> ]	1470
Masa pompy [kg]	ok.1776

\* – parametry „początkowe” uzyskiwane przy pompowaniu wody



Rys.2. Przekrój pompy WH-200 [6]: 1 - pokrywa przednia, 2 - wykładzina przednia, 3 - wirnik, 4 - kadłub, 5 - wykładzina tylna, 6 - wirnik odciążający, 7 - smarownica automatyczna, 8 - zespół dławnicy, 9 - stojan, 10 - filtr wlewowy, 11 - śruba regulacyjna, 12 - układ łożyskowy, 13 - wał

Elementy układu przepływowego pompy WH-200 (rys. 2) mające kontakt z pompowaną mieszaniną, wykonane są ze specjalnych, obrobionych cieplnie staliw wysokostopowych, o podwyższonej odporności na erozję i korozję. Zastosowane materiały wykazują dużą odporność na zużycie kawitacyjne. Pompa WH-200 może być napędzana przez silnik bezpośrednio (przez sprzęgło) lub pośrednio (przez przekładnię pasową), w całym zakresie mocy pobieranej przez pompę, bez konieczności stosowania dodatkowej chłodnicy oleju w zespole łożyskowym.

## 2.1. Układ łożyskowy pompy WH-200

Układ łożyskowy pompy WH-200 jest znacznie obciążony siłami promieniowymi i osiowymi [4].

Obliczenia łożysk pompy WH-200 wykonano przy założeniu, że układ łożyskowy pompy WH-200 będzie zastosowany również w pozostałych pompach typoszeregu WH.

Dla pompy WH-200 opracowano koncepcję układu łożyskowego z powiększoną komorą olejową i wewnętrznym, wymuszonym obiegiem oleju.

Uwzględniono, że łożyska będą pracowały w stanie równowagi, w szerokim zakresie zmian parametrów, od niewielkiego przeciążenia do znacznego niedociążenia. Dane do obliczenia układu łożyskowego wyznaczono na podstawie zakresów parametrów obowiązujących dla całego, rozpatrywanego typoszeregu pomp WH. Duży strumień ciepła, generowany przez przeciążone łożyska typu ciężkiego, będzie odprowadzany i rozpraszany przez olej omywający łożyska. Ustalono przybliżoną zależność temperatury pracy łożysk pompy, od wielkości obciążenia momentami skręcającymi wału pomp WH. Stwierdzono, że naturalny obieg oleju jest niewystarczający i musi być zastąpiony przez wymuszony obieg oleju. Przeanalizowano zakres zmian strumienia oleju smarującego, przyjętego dla tych warunków, przy wymuszonym smarowaniu łożysk w warunkach ograniczonej objętości komory olejowej pompy. Walidacja systemu do generowania wymaganego strumienia oleju, wymagać będzie precyzyjnego ustalenia na podstawie badań, wielkości strumienia oleju doprowadzanego do łożysk, przy zmianach prędkości obrotowej i obciążenia pompy.

Przyjęte rozwiązanie układu łożyskowego pompy stanowi przedmiot zgłoszenia patentowego ITG KOMAG.

## 2.2. Innowacyjność pompy WH-200

Zaprojektowana pompa WH-200 charakteryzuje się innowacyjnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, do których należy:

- układ przepływowy o zwiększonej żywotności,

- typoszereg pomp do hydrotransportu (WH-125, WH-150, WH-200, WH-250, WH-300), jest oparty o jeden zunifikowany wspólny zespół stojana, w skład którego, wchodzi układ łożyskowy oraz zespół dławnicy,
- zmiana typu dowolnej pompy typoszeregu WH, odbywa się przez prostą wymianę kolejnego układu przepływowego,
- istnieje możliwość napędu pomp przez przekładnię pasową, również przy mocach na wale pompy większych od 100 kW, (dokładne określenie górnej granicy możliwego obciążenia wymaga przeprowadzenia badań),
- pompa WH-200 może być napędzana od silnika napędowego bezpośrednio poprzez sprzęgło, jak również pośrednio, przez przekładnię pasową, w całym zakresie obciążenia, tj. do około 250 (300) kW,
- zastosowano układ łożyskowy z wymuszonym, wewnętrznym obiegiem oleju, do smarowania i chłodzenia łożysk olejem, przez specjalną impulsową pompę oleju, umieszczoną na wale, między łożyskami pompy WH-200 (zgłoszenie patentowe ITG KOMAG w Gliwicach).

## 3. Typoszereg pomp WH

Typoszereg pomp WH obejmuje pompy WH-125, WH-150, WH-200, WH-250 i WH-300.

Zakres parametrów pracy pomp z typoszeregu WH obejmuje wydajności: od ok. 70 do ok. 1500 m<sup>3</sup>/h i wysokości podnoszenia: od ok. 20 do ok. 108 m.

Możliwość zmiany typu pompy realizowana jest przez zabudowę (wymianę) układu przepływowego pompy WH-125, WH-150 lub WH-250 na stojanie pompy WH-200, czyli przez wymianę elementów, które traktowane są w pompach do hydrotransportu jako typowe części szybko zużywające się, podlegające częstej wymianie. Układ przepływowy pompy WH-300 również może być zabudowany na stojanie pompy WH-200, ale pompa może pracować wtedy tylko przy niższych prędkościach obrotowych wału - w przeciwnym razie w stojanie musi być wymieniona tuleja łożyskowa itd.

Regulacja parametrów pracy (Q, H) pomp WH może się odbywać przez zmianę prędkości obrotowej lub przez zmniejszenie (przetoczenie) średnicy zewnętrznej wirnika. Dla pomp typoszeregu WH z napędem bezpośrednim, prędkość silnika elektrycznego może być stała (standard) lub regulowana przemiennikiem częstotliwości (falownikiem). Pozwala to na pracę pomp WH w szerokim zakresie prędkości obrotowej wału pompy, od ok. 300 do ok. 1500 min<sup>-1</sup>. Pompy typoszeregu WH mogą być napędzane pośrednio (przez przekładnię pasową), tylko dla mocy

pompy do ok. 250 kW. W rozpatrywanym zakresie prędkości pracy, pompy typoszeregu WH, pokrywają ponad 80% całego występującego w kraju zapotrzebowania na pompy do hydrotransportu, przy znacznie poszerzonym zakresie parametrów pracy.

Koncepcja projektowa typoszeregu pomp (od WH-125 do WH-250) uwzględnia również możliwość wykorzystania szybkiej zamiany układu przepływowego, do celów regulacji parametrów pracy (Q, H). Może to być szczególnie przydatne np. dla układów o dużej statycznej wysokości podnoszenia, po wystąpieniu dużej zmiany nominalnej wydajności obsługiwanego procesu, gdy silnie zmienia się wydajność pompy, a wysokość podnoszenia pozostaje prawie bez zmian.

### 3.1. Zalety pomp typoszeregu WH

Zrealizowane prace projektowe nad pompą WH-200 pozwalają stwierdzić, że:

- parametry hydrauliczne (Q, H) pomp WH mieszczą się w zakresie parametrów pracy produkowanych w Polsce pomp do hydrotransportu,
- typoszereg pomp WH, oparty na zunifikowanym zespole stojana, z uniwersalnym układem łożyskowym i ujednoczonym zespołem dławnicy, może pokryć większość zakresu parametrów pracy pomp do hydrotransportu,
- istnieje możliwość zastosowania pomp WH w wielu różnych dziedzinach gospodarki,
- zunifikowany zespół stojana eliminuje konieczność wykonania kolejnych układów łożyskowych i zespołów dławnicy dla poszczególnych pomp typoszeregu WH,
- zunifikowany układ łożyskowy, wspólny dla całego typoszeregu pomp WH oraz małe gabaryty pompy obniżają koszty ich wytworzenia,
- zunifikowany zespół stojana pozwala na szybką zmianę typu pompy w typoszeregu WH (zmiana parametrów), poprzez wymianę układu przepływowego,
- powiększona komora olejowa tulei łożyskowej i wymuszony wewnętrzny obieg oleju pozwala wyeliminować konieczność stosowania dodatkowej, wodnej chłodnicy oleju w układzie łożyskowym pompy,
- zastosowano odciążoną dławnicę o powiększonej żywotności. Zamek dławnicy jest zasilany smarem stałym (np. ze smarownicy automatycznej) i nie musi być zasilany wodą czystą z zewnętrznego źródła,

- istnieje możliwość bezpośredniego stosowania przekładni pasowej przy mocach na wale pompy powyżej 100 kW (do ok. 300 kW),
- trwały układ przepływowy specjalnej konstrukcji (o podwyższonej żywotności), wykonany jest z twardych materiałów, odpornych chemicznie i odpornych na zużycie ścierające,
- istnieje możliwość łatwej wymiany zużytych elementów części przepływowej pompy,
- duża użyteczna wysokość podnoszenia pompy w znacznej mierze eliminuje konieczność pracy szeregowych pomp,
- udział obsługi w czasie pracy pompy jest minimalny,
- istnieje łatwa regulacja szczeliny uszczelniającej na szyi wirnika,
- wymiary przyłączeniowe są w znacznej mierze zintegrowane z pompami, stosowanymi na rynku polskim (łatwa podmiana istniejących pomp na pompy WH).

## 4. Podsumowanie

W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach zaprojektowano pompę WH-200 do hydrotransportu ciężkiego, ze zunifikowanym zespołem stojana, wspólnym dla całego typoszeregu pomp WH.

Zespół stojana posiada układ łożyskowy z powiększoną komorą olejową z wewnętrznym, wymuszonym obiegiem oleju oraz ujednoczony zespół dławnicy. Typoszereg pomp WH, oparty na zespole stojana pompy WH-200, może pokryć większość zakresu parametrów pracy pomp do hydrotransportu produkowanych w Polsce. Zmiana typu dowolnej pompy z typoszeregu WH (zmiana parametrów), odbywa się przez prostą wymianę układu przepływowego.

Dzięki unifikacji zespołów pompy WH-200, produkcja kolejnych pomp z typoszeregu WH jest prostsza, a koszty wdrożenia powinny być minimalne.

## Literatura

1. Pompy szlamowe. Podstawy. Metso Minerals (Sala) AB, Szwecja, 2005.
2. Rokita J., Hydrotransport w przemyśle. Zastosowanie, uwarunkowania, korzyści, problemy, Pompy pompownie, Nr 2(149), 2013.
3. Rokita J., Krawczyk Z. Podstawowe zasady doboru i eksploatacji pomp w instalacjach

- 
- hydrotransportu, Pompy pompownie, Nr 1 (148), 2013.
4. Tywoniak W., Hupa B.: Pompy do hydrotransportu na pogłębiarkach ssących, Pompy pompownie, Nr 4 (127), 2007.
  5. Hupa B., Nieśpiałowski K.: Predykcijny system monitoringu i diagnostyki pomp wirowych średniociśnieniowych, „Napędy i sterowanie, Nr 11 (151), Rok XIII, 2013.
  6. Hupa B.: Układy pompowe do hydrotransportu, ITG KOMAG, Gliwice, marzec 2010, (praca nie publikowana).

*Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2014 r.*