

## Mobilny zespół napędowo – pompowy do czyszczenia układów chłodzenia silników elektrycznych stosowanych w górnictwie

dr inż. Krzysztof Nieśpiałowski  
mgr inż. Norbert Rawicki  
mgr inż. Mateusz Wójcicki  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Mobile driving-and-pumping unit for cleaning the electric motors cooling systems used in the mining industry

Streszczenie:

Napędy dużej mocy wyposażone w silniki elektryczne stosowane w górnictwie węgla kamiennego, wymagają ciągłego chłodzenia. Stosowanie do tego celu wody z instalacji przeciwpożarowej powoduje osadzanie się kamienia kotłowego w przewodach chłodniczych, co wymusza na użytkownika ich okresowe czyszczenie. Wiąże się to z demontażem silnika i wytransportowaniem go poza obszar pracy, na przykład do warsztatu oddziałowego. W artykule przedstawiono opracowane w ITG KOMAG rozwiązanie mobilnego zespołu napędowo-pompowego, przeznaczonego do czyszczenia układów chłodniczych silników elektrycznych stosowanych w górnictwie. Pompa agregatu będzie napędzana silnikiem hydraulicznym, zasilanym z wodnej magistrali ppoż.

Abstract:

High-power drives used in hard coal mining industry, equipped with electric motors require continuous cooling. Water from the fire-fighting installation, used for that operation, cause limescale deposition in cooling pipes, what requires their periodical cleaning. Cleaning operation needs the motor disassembling and its transportation to other place, e.g. to the near workshop. The solution of mobile driving-and-pumping unit intended for cleaning the electric motor cooling systems used in hard coal mining industry, designed at KOMAG, is presented. The pump of this unit is driven by a hydraulic motor supplied from the fire-fighting installation.

Słowa kluczowe: górnictwo, zespół napędowo-pompowy, agregat czyszczący, pompa

Keywords: mining industry, driving-and-pumping unit, cleaning unit, pump

### 1. Wprowadzenie

Rosnące wymagania dotyczące zwiększania wydajności maszyn i urządzeń w górnictwie, wymuszają stosowanie napędów wyposażonych w silniki elektryczne o mocach dochodzących do kilkuset kilowatów. Tak duże jednostki elektryczne wymagają stosowania układów chłodzenia. Szczególny przypadek stanowią napędy elektryczne stosowane w strefach zagrożenia wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Silniki wykonywane są wówczas w obudowach przeciwwybuchowych i wymagają chłodzenia [1, 3, 4, 5]. Medium chłodzące stanowi woda pobierana z rurociągu ppoż., która po poddaniu filtracji i oczyszczeniu z cząstek stałych, zawiera mimo to rozpuszczone związki magnezu i wapnia w postaci wodorowęglanów. W wyniku konwekcji cieplnej między obudową silnika, a medium chłodniczym, dochodzi do podgrzewania i chemicznego rozkładu jonów wodorowęglanowych na węglanowe. W momencie rozpadu, najmniej rozpuszczalne węglany wytrącają się na ściankach kanałów chłodniczych w postaci osadu (tzw. kamienia kotłowego). Długotrwałe występowanie niniejszego zjawiska powoduje zmniejszenie przekroju poprzecznego kanałów chłodniczych, a w konsekwencji spadek intensywności przepływu strugi chłodzącej oraz spadek sprawności całego procesu chłodzenia silnika. Niska sprawność chłodzenia silnika może prowadzić do jego przegrzania i uszkodzenia.

W polskim górnictwie powszechnie stosowana jest konserwacja układów chłodniczych silników polegająca na ich demontażu i przetransportowaniu do najbliższego warsztatu

oddziałowego, gdzie układ chłodniczy przepłukiwany jest substancjami mającymi rozpuścić osad z kamienia kotłowego.

Alternatywą dla powyższego problemu może być zastosowanie mobilnego agregatu umożliwiającego płukanie kanałów agresywną cieczą w miejscu pracy silnika elektrycznego. W ITG KOMAG opracowano zatem koncepcję agregatu, którego bazę stanowić będzie układ hydrauliczny napędzany z magistrali ppoż.

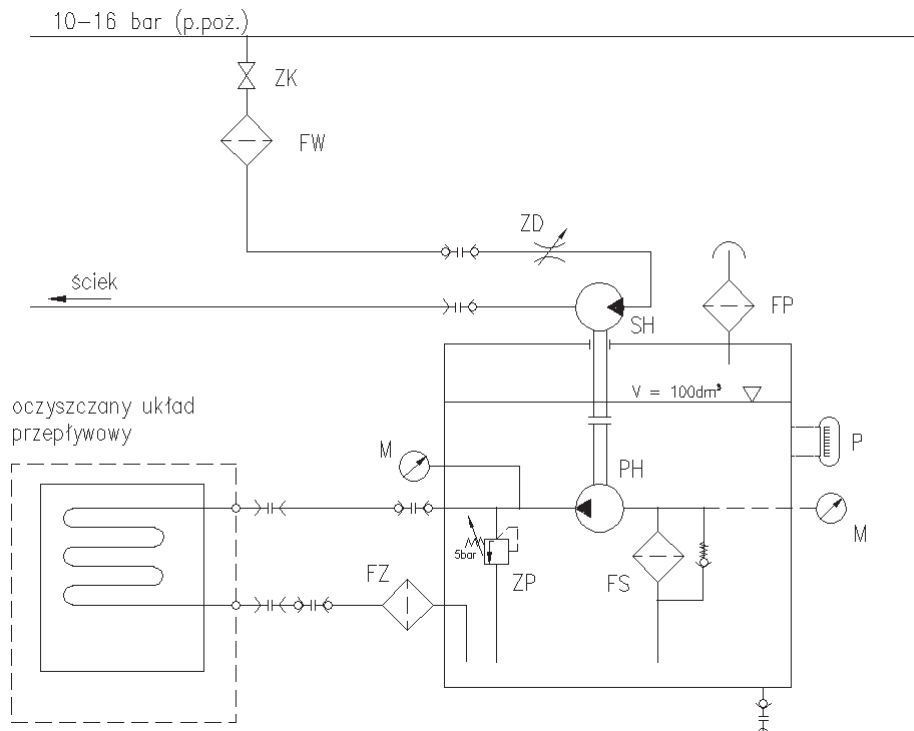
Należy wspomnieć, że rynek producentów agregatów nie dysponuje gotowymi rozwiązaniami przeznaczonymi do płukania układów chłodniczych silników elektrycznych w celu oczyszczenia ich z kamienia kotłowego. Ponadto, nie występują gotowe rozwiązania agregatów tłoczących substancje agresywne (jak wersenian czterosodowy, alkohol diacetonowy czy roztwór kwasu mrówkowego), mogące być zastosowane do czyszczenia wymienników ciepła silników elektrycznych. W związku z powyższym można uznać, że mobilny agregat czyszczący będzie rozwiązaniem innowacyjnym i potencjalnie rozwojowym, mogącym w dużym stopniu ułatwić prace konserwacyjne silników elektrycznych.

## 2. Koncepcja zespołu napędowo-pompowego

Zespół napędowo-pompowy składa się z kilku podzespołów: silnikowo-pompowego, filtrów, zaworu przelewowego, zbiornika oraz orurowania. Podzespół silnikowo-pompowy posiada silnik hydrauliczny zasilany wodą pochodzącą z magistrali ppoż. oraz pompę hydrauliczną w wykonaniu specjalnym, przystosowaną do pracy w cieczach agresywnych.

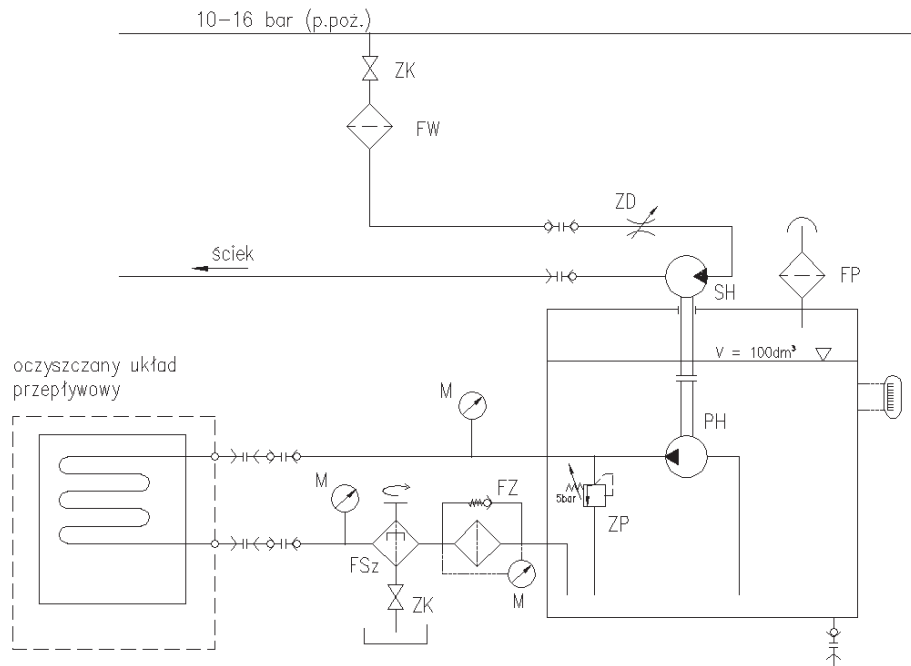
W pracach koncepcyjnych rozważano dwa warianty budowy zespołu napędowo-pompowego. Pierwszy opierał się o zabudowę większości podzespołów w zbiorniku medium czyszczącego. Takie podejście miało na celu zabezpieczenie podzespołów przed uszkodzeniami mechanicznymi, mogącymi powstać w warunkach stosowania w podziemnych zakładach wydobywczych. Podstawową wadą takiego rozwiązania byłby utrudniony dostęp podczas konserwacji lub serwisowania. Każdorazowa konieczność czyszczenia lub wymiany wkładów filtracyjnych wiązałaby się z otwieraniem pokrywy zbiornika, co stanowiłoby to zagrożenie dla serwisantów, wynikające z bezpośredniego dostępu do agresywnej cieczy czyszczącej i jej oparów. Kolejnym problem byłaby trudność zachowania wymaganej czystości w miejscu prowadzenia prac remontowych. Otwarty zbiornik narażony byłby na przedostawanie się do niego zanieczyszczeń mogących prowadzić do uszkodzenia podzespołów napędowych.

Schemat hydrauliczny zespołu napędowo-pompowego z podzespołami umieszczonymi wewnątrz zbiornika przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat hydrauliczny zespołu napędowo-pompowego z podzespołami wewnątrz zbiornika [6]:  
 ZK - zawór kulowy, ZD - zawór dławiący, ZP – zawór przelewowy, SH - silnik hydrauliczny,  
 PH - pompa hydrauliczna, FW - filtr wody, FP - filtr powietrza, FS - filtr ssawny, FZ - filtr zlewowy,  
 M - manometr, P - poziomowskaz

Uwzględniając powyższe problemy zdecydowano się na rozwiązania z podzespołami hydraulicznymi umieszczonymi na zewnątrz zbiornika. Wewnątrz pozostawiono jedynie pompę medium czyszczącego oraz zawór przelewowy. Przez wzgląd na zastosowane medium, zawór musi być w wykonaniu specjalnym. Dzięki prostej konstrukcji zespołu nie będzie on wymagał częstego serwisowania. Podobnie jak w poprzednim rozwiązaniu (pokazanym schematycznie na rysunku 1), filtracja wody będzie się odbywać przed wlotem do silnika hydraulicznego. Zrezygnowano z filtracji na króćcu ssawnym pompy medium czyszczącego i zdecydowano się na zastąpienie jej podwójnym pakietem filtrowym na splywie z układu chłodniczego silnika. Zanieczyszczone medium spływając do zbiornika w pierwszej kolejności przepływać będzie przez zgrubny filtr szczelinowy (umożliwiający łatwe i szybkie czyszczenie), a następnie przez filtr dokładny. Rozwiązanie z podzespołami na zbiorniku przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat hydrauliczny zespołu napędowo-pompowego z podzespołami na zbiorniku [2, 6]:  
 ZK - zawór kulowy, ZD - zawór dławiący, ZP – zawór przelewowy, SH - silnik hydrauliczny,  
 PH - pompa hydrauliczna, FW - filtr wody, FP - filtr powietrza, FSz - filtr szczelinowy, FZ - filtr zlewowy,  
 M - manometr, P - poziomowskaz

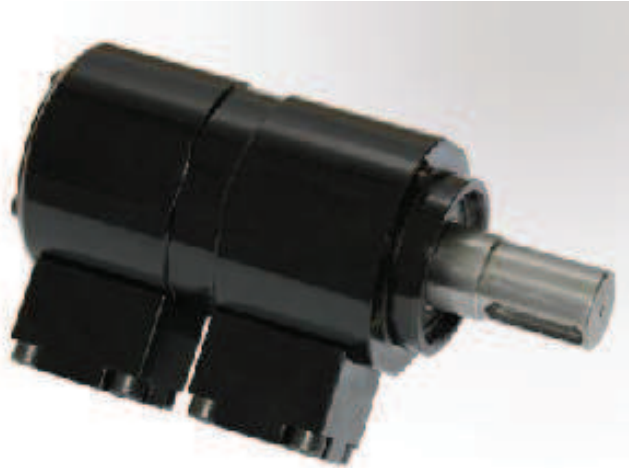
### 3. Dobór podzespołów

Ze względu na nietypowe warunki zasilania (woda z rurociągu ppoż.) oraz agresywny charakter cieczy czyszczącej, należało dobrać komponenty układu wykonane z odpowiednich materiałów.

W pierwszej kolejności dokonano przeglądu i weryfikacji materiałów, z których powinny być wykonane uszczelnienia układu cieczy agresywnej. Po przeanalizowaniu jej składu chemicznego zdecydowano się na uszczelnienia wykonane z EPDM (elastomer etylenowo-propylenodienowy) oraz CR (elastomer chloroprenowy). Materiały te najlepiej sprawdzą się we współpracy z medium czyszczącym. Na sumaryczną żywotność uszczelnień wpływać będzie jednak temperatura medium czyszczącego, jak i wielkość jego przepływu i ciśnienia.

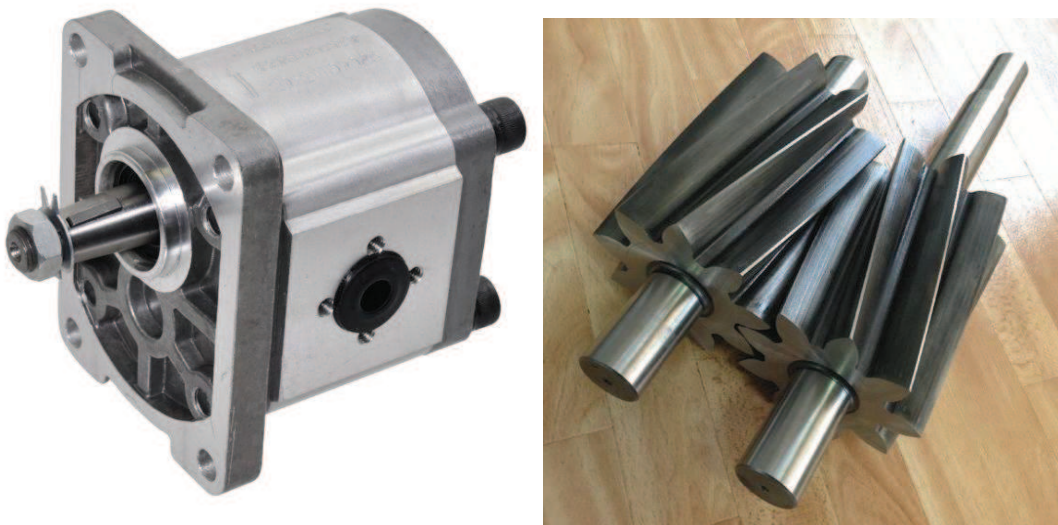
Kolejnym krokiem był dobór materiału konstrukcyjnego na zbiornik i obudowę urządzenia. Ze względu na agresywny charakter cieczy czyszczącej zdecydowano się na wybór powszechnie stosowanej w technice morskiej i szeroko pojętym przemyśle chemicznym stali nierdzewnej, austenitycznej chromowo-niklowo-molibdenowej, stabilizowanej tytanem.

Następnie dobrano podzespoły napędowe. Źródło energii zasilającej zespół pochodzić będzie z kopalnianej magistrali ppoż. W związku z tym silnik powinien mieć możliwość pracy w środowisku chemicznie czystej wody (nieemulgowanej olejem). Zdjęcie omawianego silnika przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Silnik hydrauliczny typu SM [10]

Następnym krokiem był dobór pompy hydraulicznej. Po wykonaniu obliczeń wymaganych do określenia jej rozmiaru oraz uwzględniając zanurzenie w agresywnej cieczy, wytypowano produkt firmy Lutz Kracht (LK1/20ZN). Jest to pompa zębata o zębach skośnych, zbudowana ze stali AISI316L. Jej parametry ciśnieniowe i wydajnościowe oraz odporność na korozję gwarantują prawidłową pracę układu. Przykładową pompę zębatą i jej skośne uzębienie przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Pompa zębata o uzębieniu skośnym [7, 8]

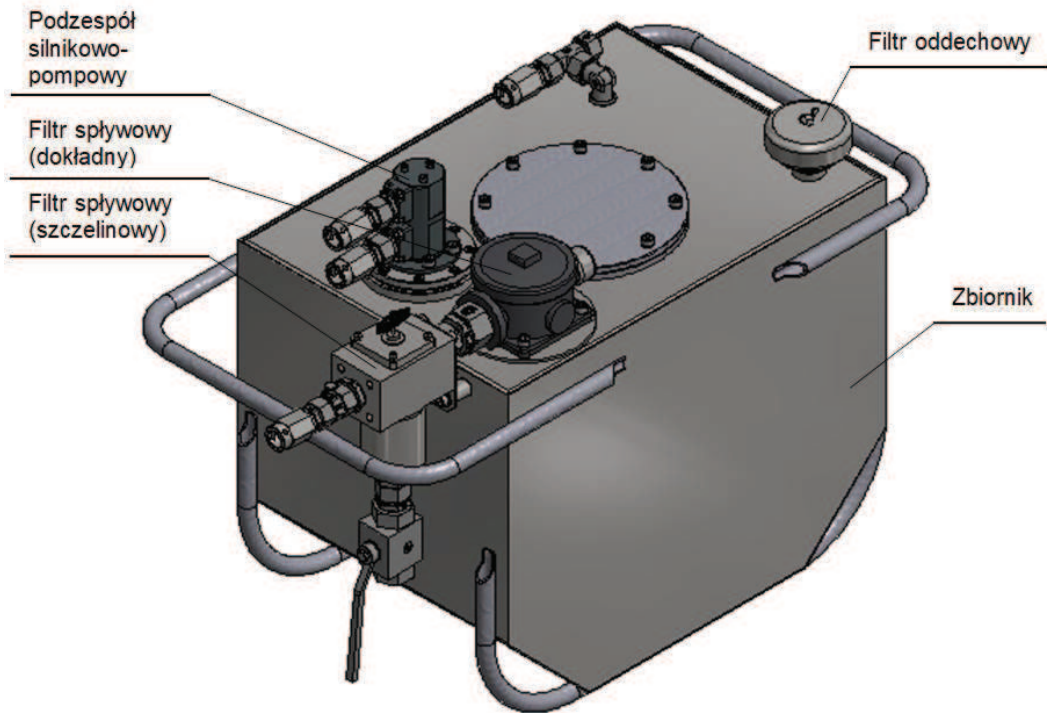
Ponieważ na rynku nie ma wielu producentów podzespołów hydraulicznych pozwalających na ich wykorzystanie w środowisku agresywnym, w ITG KOMAG opracowano rozwiązanie prototypowe.

#### 4. Budowa zespołu

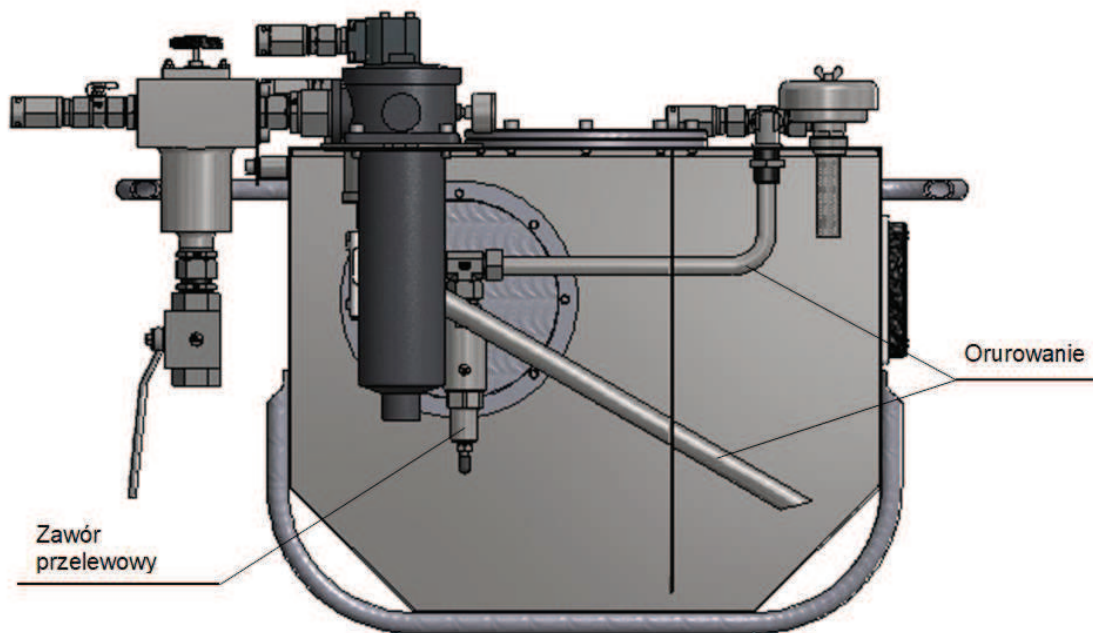
W skład zespołu napędowo-pompowego (rys. 5 i 6) wchodzi następujące podzespoły:

- zespół silnikowo-pompowy,
- filtr spływowy (dokładny),

- filtr sphywowy (zgrubny, szczelinowy)
- zbiornik hydrauliczny,
- zawór przelewowy,
- orurowanie i oprzyrządowanie.



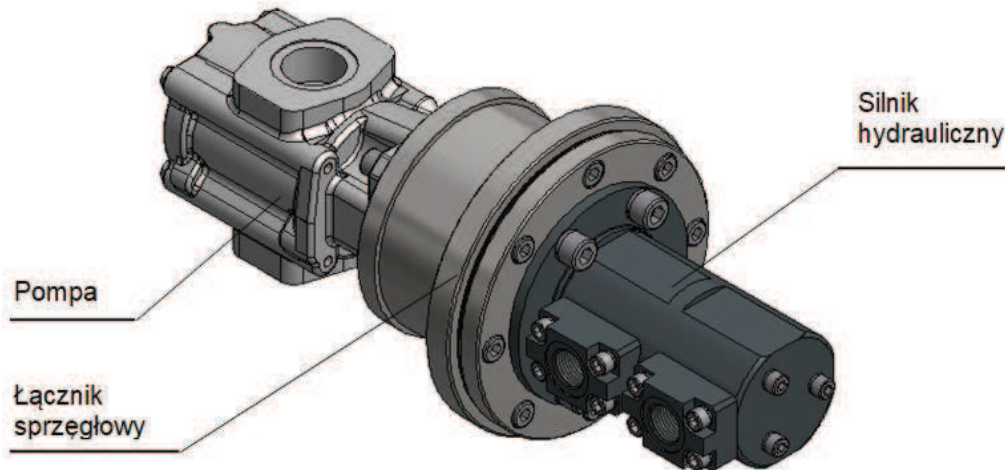
Rys. 5. Zespół napędowo-pompowy – model 3D – widok izometryczny [6]



Rys. 6. Zespół napędowo-pompowy – model 3D – wnętrze zbiornika [6]

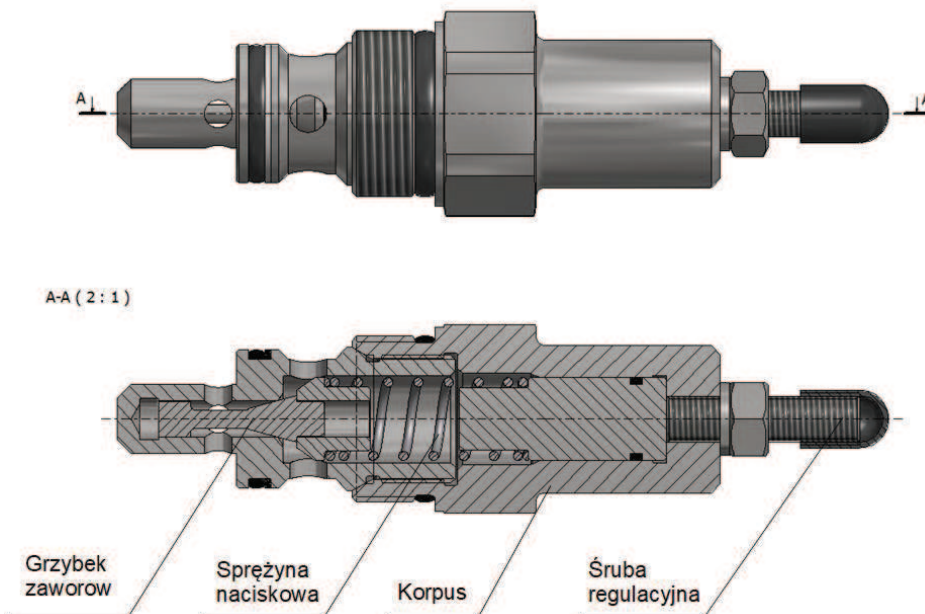
W skład zespołu napędowo-pompowego wchodzi zbiornik hydrauliczny, na którym zamontowano podzespoły hydrauliki siłowej. Zbiornik wykonano z blachy nierdzewnej jako konstrukcję spawaną, dodatkowo wzmocnioną wewnątrz przegrodami. Pojemność zbiornika wynosi około 100 dm<sup>3</sup>. W celu ułatwienia montażu, serwisu i konserwacji zespołu, na zbiorniku przewidziano dwa włązy rewizyjne, wyposażone w proste rękojeści.

Na zbiorniku kołnierzowo zamontowany jest podzespół silnikowo-pompowy. Silnik z pompą połączono elastycznym sprzęgłem [9] i łącznikiem sprzęgłowym. Widok podzespołu silnikowo-pompowego przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Podzespół silnikowo-pompowy[6]

Zawór przelewowy wykonany zostanie również ze stali nierdzewnej (kwasoodpornej). Uszczelnienia zaworu, jak wspomniano wcześniej, dobrano z EPDM-u oraz CR wg katalogu firmy Trelleborg. Budowę prototypowego zaworu przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Zawór przelewowy ITG KOMAG [6]

## 5. Zasada działania

Zasadę działania zespołu napędowo-pompowego przedstawiono na rysunkach 2, 5 oraz 6. Przefiltrowana woda napędza silnik hydrauliczny połączony przy pomocy elastycznego sprzęgła z pompą, tworząc podzespół silnikowo-pompowy. Całość zamontowana jest kołnierzowo na zbiorniku. Silnik hydrauliczny napędza pompę, która z kolei zasysa medium czyszczące ze zbiornika i kieruje je bezpośrednio do oczyszczanego układu przepływowego (wymyennika ciepła silnika elektrycznego). Na linii tłocznej zainstalowano zawór przelewowy, regulowany dzięki obserwacji wskazań manometru, który w czasie normalnej pracy powinien być zdemontowany. Powracająca ciecz czyszcząca przepływa przez zawór zwrotny, a następnie kieruje się na zespół filtrów – najpierw zgrubny, a następnie dokładny i do zbiornika. Kontrola stopnia zabrudzenia filtrów możliwa jest dzięki zamontowanym manometrom (możliwości odczytu różnicy ciśnień). Wszystkie króćce przyłączeniowe zespołu będą w wykonaniu Stecko, co zagwarantuje kompatybilność z instalacjami występującymi w górniczych zakładach węglowych. Wewnętrzne połączenia hydrauliczne zespołu oparto o wykorzystanie systemu złączy bezprzeciekowych Parker.

Dodatkowo, zbiornik hydrauliczny wyposażony zostanie w filtr zalewowo-odpowietrzający, dobrany z uwzględnieniem podwyższonego zapylenia w kopalniach. Będzie on utrzymywał stałe ciśnienie tworząc tzw. poduszkę powietrzną zapobiegającą odkształceniom konstrukcji zbiornika. Zbiornik wyposażony będzie również w poziomowskaz oraz umieszczony w dolnej części korek spustowy, umożliwiającą zlanie medium czyszczącego.

## 6. Podsumowanie

Przeгляд obecnego stanu techniki wykazał, że na rynku brak jest handlowych rozwiązań mobilnych urządzeń przystosowanych do czyszczenia układów chłodniczych w silnikach dużej mocy, stosowanych w podziemnych zakładach górniczych. Obecnie, proces czyszczenia układu chłodniczego wiąże się z:

- koniecznością demontażu silnika elektrycznego i transportem z miejsca pracy do warsztatu oddziałowego,
- montażem zamiennika w miejscu silnika zdemontowanego lub przerwą technologiczną,
- wykonaniem czynności czyszczenia układu chłodniczego.

Zabiegi te są kosztowne i czasochłonne.

Rozwiązaniem powyższych problemów może być zastosowanie mobilnego zespołu napędowo-pompowego. Jego głównymi zaletami są: mobilność, kompaktowe wymiary oraz masa (nieprzekraczająca 70 kg bez medium chłodniczego). Zastosowanie odpowiednich materiałów w konstrukcji agregatu umożliwi stosowanie go w większości wyrobisk, w których wykorzystywane są silniki elektryczne, wymagające okresowego czyszczenia układu chłodniczego. Zaletą jest również możliwość zasilania zespołu cieczą transportowaną w magistrali ppoż.



## Literatura

- [1] Bojjko I. G., Omelchenko A. N., Shikhova L. K.: Dwuobwodowy układ chłodzenia silników elektrycznych przeciwybuchowych. Ugol Ukr. 2007 nr 5
- [2] Dokumentacja techniczna nr W99.049 Zespół napędowo-pompowy układu czyszczenia. ITG KOMAG, 2018 (materiały niepublikowane)
- [3] Nieśpiałowski K., Rawicki N., Wójcicki M.: Agregat chłodniczy w układzie zamkniętym dla silników elektrycznych maszyn górniczych. Maszyny Górnicze 2018 nr 3
- [4] Niewiara M., Bartnik D.: Nowe konstrukcje w ofercie produkcyjnej DFME DAMEL S.A. w tym silniki stosowane w napędach przenośników taśmowych. Materiały na konferencję: Transport taśmowy a optymalizacja pracy pod ziemią, XXII Międzynarodowe Sympozjum, Zakopane, 8-9 maja 2014
- [5] Niewiara M., Nagas Z.: Nowoczesne silniki DFME DAMEL S.A. stosowane w napędach przenośników taśmowych i urządzenia współpracujące. Artykuł promocyjny. Transp. Przem. Masz. Robocze 2017 nr 3
- [6] Praca statutowa pt.: Koncepcja zespołu napędowo-pompowego dla medium czyszczącego. ITG KOMAG, 2017 (materiały niepublikowane)
- [7] [www.bef-mont.com/index/gallery/7/wybrane-produkty.html#!prettyPhoto](http://www.bef-mont.com/index/gallery/7/wybrane-produkty.html#!prettyPhoto) (15.06.2018)
- [8] [www.pmkaubamaja.ee/eng/hydraulic-pump-gr-2-r-230bar-12ccm-p.html](http://www.pmkaubamaja.ee/eng/hydraulic-pump-gr-2-r-230bar-12ccm-p.html) (15.06.2018)
- [9] [www.sprzegla.eu](http://www.sprzegla.eu) (15.06.2018)
- [10] [www.stosowaniemaszyn.pl](http://www.stosowaniemaszyn.pl) (15.06.2018)

*Czy wiesz, że ....*

*... nowa drukarka L280 firmy German RepRap oferuje możliwość druku 3D z użyciem materiałów płynnych, np. LSR (Liquid Silicone Rubber). Urządzenie ma przestrzeń roboczą o wymiarach 280 x 280 x 200 mm z podgrzewanym łóżem zapewniającym optymalne parametry adhezji i operuje w trybie warstwowym, drukując warstwy o grubości od 0,22 do 0,90 mm. Urządzenie wykorzystuje dysze o średnicy 0,23 mm, 0,40 mm lub 0,80 mm. W zależności od potrzeb, priorytetem może być jakość detalu bądź czas pracy. Warstwy są selektywnie utrwalane za pomocą lampy halogenowej, co zwiększa szybkość procesu. Zaawansowany system kontroli procesu pozwala na generowanie ścieżek i regulację parametrów pracy głowicy, umożliwiając uzyskanie optymalnej orientacji wiązań strukturalnych, zapewniając jednocześnie większą wytrzymałość detalu, również w przypadku skomplikowanych geometrii. Drukarka L280 może sprawdzić się przy wytwarzaniu prototypowych i nisko seryjnych elementów o złożonym kształcie.*

*Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie 2018 nr 11 s.7*