

## Agregat chłódniczy w układzie zamkniętym dla silników elektrycznych maszyn górnich

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

### Closed circuit cooling unit for electric motors of a mining machine

#### Streszczenie:

W artykule przedstawiono trzy warianty koncepcji agregatu chłódniczego w układzie zamkniętym. Agregat będzie przeznaczony do chłódzenia silników elektrycznych w obudowach przeciwybuchowych, wyposażonych w wodny układ chłódzenia. Ze względu na konieczność ograniczenia zużycia wody, zdecydowano się na układ zamknięty, w którym pompa tłoczy medium chłódnicze ze zbiornika poprzez obiekty chłódzone i chłódnicę z powrotem do zbiornika. Napęd pompy i wentylatora chłódniczy zasilono z jednego silnika elektrycznego w wykonaniu ATEX.

#### Abstract:

Three variants of the closed circuit cooling unit concept are presented. The cooling unit with water cooling system is designed for cooling the electric motors in anti-explosion enclosures. Due to the need to reduce water consumption, a closed circuit system was used, where the pump pushes the coolant from the tank through the cooled objects and radiator and then back to the tank. The pump and the radiator fan is powered by an electric motor in ATEX manufacture.

Słowa kluczowe: górnictwo, zespół napędowo-pompowy, agregat chłódniczy, pompa hydrauliczna

Keywords: mining industry, driving-and-pump unit, cooling unit, hydraulic pump

## 1. Wprowadzenie

W krajowym górnictwie węgla kamiennego od dziesięcioleci stosowane są napędy wyposażone w silniki elektryczne o mocach sięgających kilkuset kilowatów. Ze względu na warunki pracy (atmosfera z zagrożeniem wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego) silniki te wykonywane są w obudowach ognioszczelnych [3, 4]. Stosowany jest w nich wodny układ chłódzenia, zasilany zazwyczaj z górnich magistrali przeciwpożarowej. Woda pochodząca z instalacji ppoż., poza zanieczyszczeniami stałymi wymagającymi ciągłej filtracji, posiada rozpuszczone minerały (jonów wodorowęglanowych), które po jej podgrzaniu wytrącają się na ściankach układu chłódniczego w postaci kamienia kotłowego. Powoduje to zmniejszenie przekroju poprzecznego przewodów, co przekłada się na obniżenie sprawności procesu chłódzenia. W skrajnych przypadkach może to prowadzić do uszkodzenia silnika elektrycznego. W związku z powyższym, silniki elektryczne wymagają okresowej konserwacji, polegającej na odkamienianiu układu chłódniczego poprzez przetaczanie właściwej cieczy. W tym celu silnik należy zdemontować i przewieźć do najbliższego warsztatu oddziałowego lub zastosować mobilny agregat czyszczący. Powoduje to przerwy technologiczne, narażające kopalnie na straty ekonomiczne.

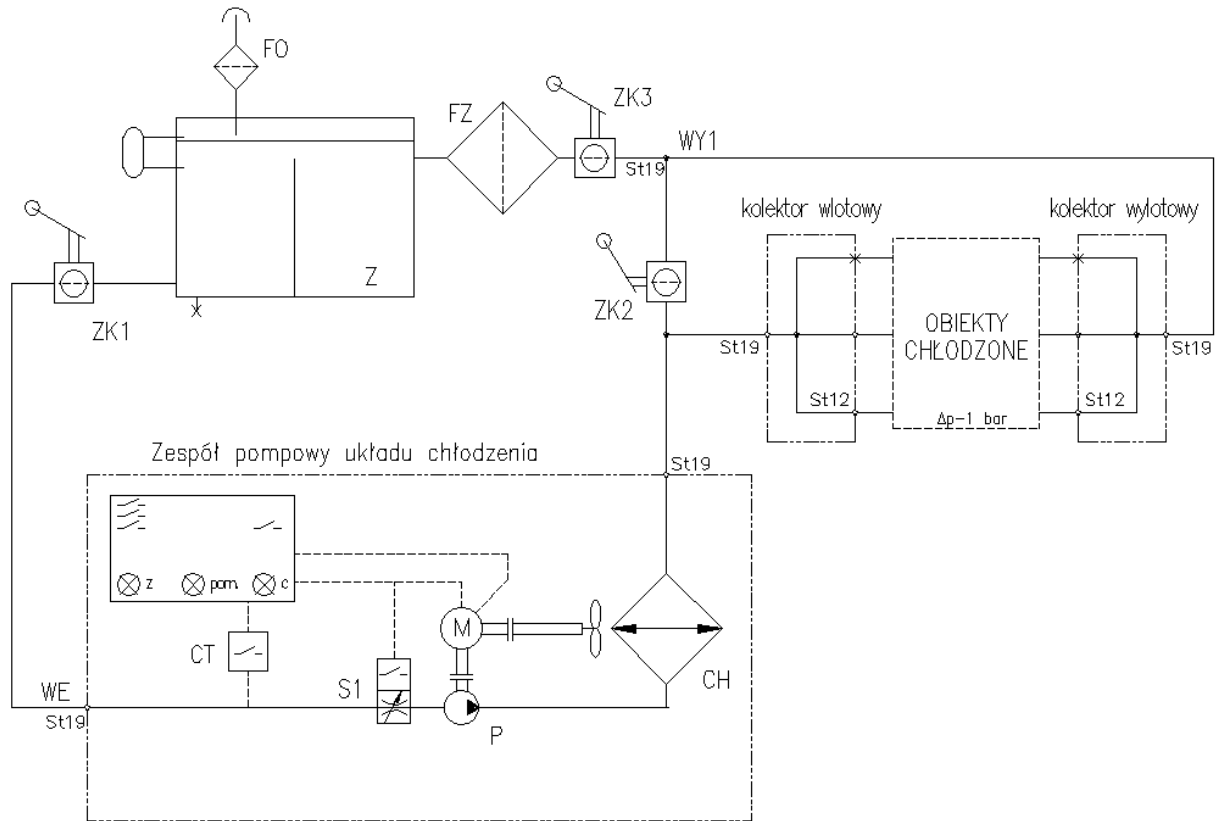
Rozwiązaniem powyższego problemu może być zastosowanie hydraulicznego agregatu chłódniczego, pracującego w układzie zamkniętym. Jego zaletą jest możliwość stosowania specjalistycznych cieczy chłódniczych o uszlachetnionym składzie, nie powodujących osadzania kamienia kotłowego na ściankach układu chłódniczego, przy jednoczesnym zachowaniu właściwości konserwujących.

W niniejszym artykule przedstawiono koncepcję układu hydraulicznego (w trzech wersjach) zbudowanego z agregatu chłodniczego pracującego w obiegu zamkniętym, przeznaczonego do współpracy z układami chłodniczymi silników elektrycznych dużych mocy, z możliwością stosowania go w podziemnych wyrobiskach węglowych ze stopniem zagrożenia wybuchem metanu „a”, „b” lub „c” i/lub „A”, „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

## 2. Wariant pierwszy

W wariantcie pierwszym rozwiązania (rys. 1), w układzie zastosowano pompę hydrauliczną zamontowaną na zbiorniku. Napęd pompy stanowi silnik elektryczny w wykonaniu ATEX [6] o mocy 1,5 kW, o napięciu znamionowym 500 V lub 1000 V. Zastosowany silnik posiada dwustronny wał napędowy. Jedna strona wału połączona jest z pompą, natomiast druga z wentylatorem chłodnicy powietrzno-wodnej. Ciecz chłodnicza zasysana przez pompę kierowana jest do chłodnicy (w wykonaniu ATEX), a następnie do kolektora wlotowego, obiektów chłodzonych, kolektora wylotowego i do zbiornika. Ze względu na niskie ciśnienie w układzie hydraulicznym (około 0,6 MPa), chłodnicę umieszczono w linii tłocznej. Wstępnie w kolektorze wlotowym przewidziano trzy gniazda – dwa robocze oraz jedno rezerwowe. Układy chłodnicze obiektów chłodzonych połączono z kolektorem giętkimi przewodami, z zakończeniami w postaci szybkozłączy typu Stecko.

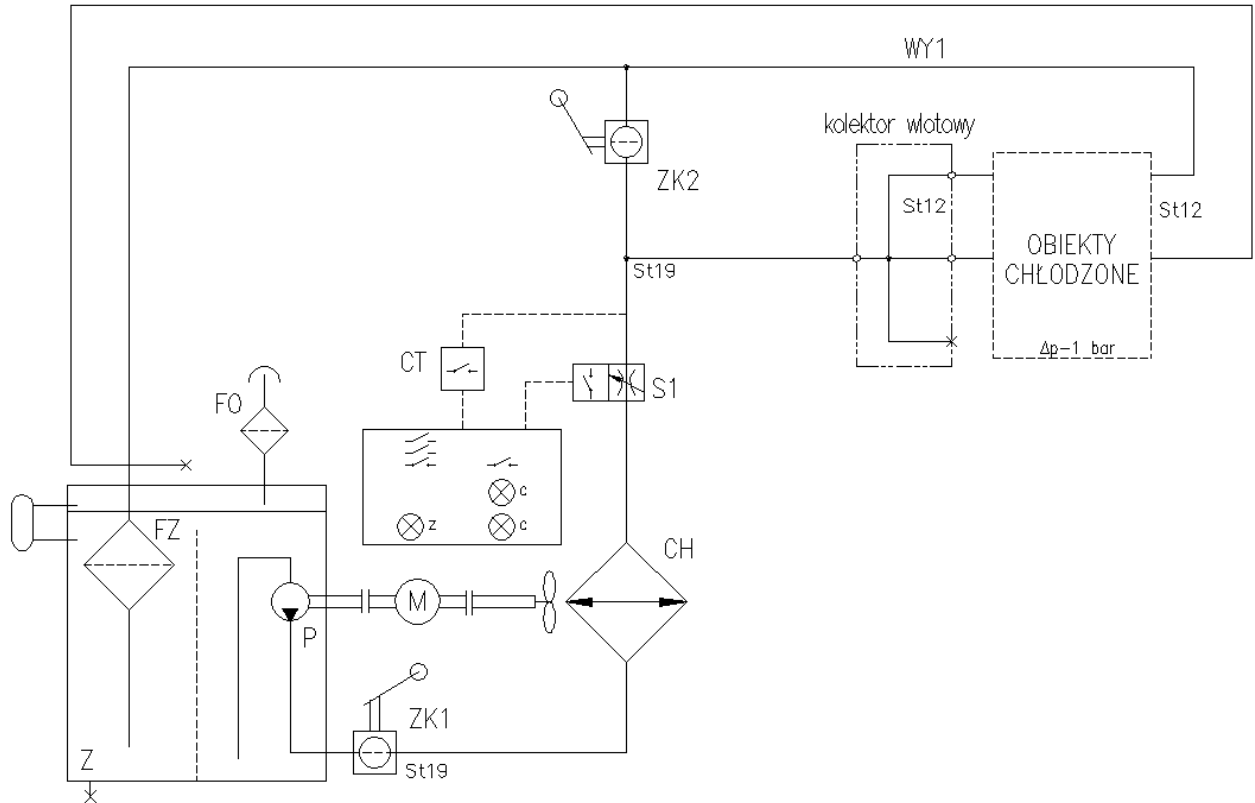
W miejscu doprowadzenia medium chłodzącego do zbiornika zabudowano dwa zawory odcinające. Pierwszy połączono równolegle do układów chłodzonych w celu uzyskania maksymalnego przepływu bez powodowania dławienia na pompie. Drugi przeznaczony jest do odcinania zbiornika medium od reszty układu, na przykład w czasie wykonywania prac konserwacyjnych lub serwisowych. Dodatkowo, zbiornik wyposażono w niezbędne akcesoria w postaci: filtra odpowietrzającego, zaworu kulowego odcinającego dopływ cieczy do pompy, korka spustowego oraz poziomowskazu. Ponadto, układ hydrauliczny wyposażono w filtr zanieczyszczeń na linii sphywowej oraz czujnik ciśnienia na gałęzi ssawnej. Zabudowany w układzie sygnalizator przepływu (elektrycznie połączony z układem sterującym, będącym integralnym modułem zespołu pompowego) pozwala na monitorowanie obiegu cieczy w układzie.



Rys. 1. Schemat hydrauliczny pierwszej wersji koncepcji zespołu zamkniętego układu chłodzenia [5]:  
 Z - zbiornik, ZK - zawór kulowy, P - pompa hydrauliczna, M - silnik elektryczny,  
 CH - chłodnica powietrzno-wodna, S1 - sygnalizator przepływu, CT - przetwornik temperatury,  
 FZ - filtr zlewowy, FO - filtr oddechowy, St - przyłącze Stecco

### 3. Wariant drugi

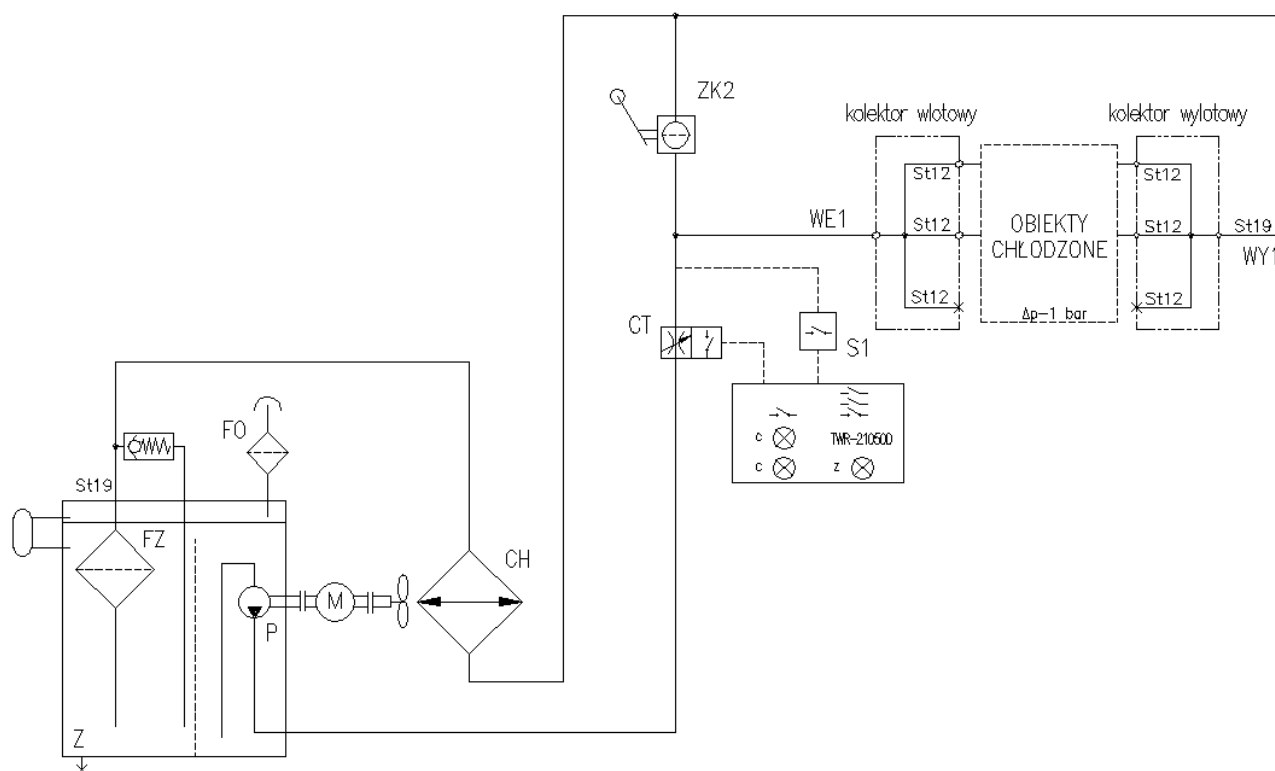
Schemat hydrauliczny wariantu drugiego przedstawiono na rysunku 2. Najważniejszą zmianą w drugim wariantcie było zastosowanie pompy wewnątrz zbiornika. Dodatkowo, zdecydowano się na przeniesienie kolektora zlewowego z otoczenia obiektów chłodzonych na zbiornik.



Rys. 2. Schemat hydrauliczny drugiej wersji koncepcji zespołu zamkniętego układu chłodzenia [5]:  
 Z - zbiornik, ZK - zawór kulowy, P - pompa hydrauliczna, M - silnik elektryczny,  
 CH - chłodnica powietrzno-wodna, S1 - sygnalizator przepływu, CT - czujnik temperatury,  
 FZ - filtr zlewowy, FO - filtr oddechowy, St - przyłącze Stecko

#### 4. Wariant trzeci

Wersję trzeciego wariantu układu hydraulicznego przedstawiono na rysunku 3. Obydwa kolektory, wlotowy i wylotowy, przeniesiono bezpośrednio na ramę agregatu chłodzącego, co może usprawnić proces podłączania i odłączania obiektów chłodzonych. Same kolektory powinny być konstruowane pod wstępnie określone warunki.

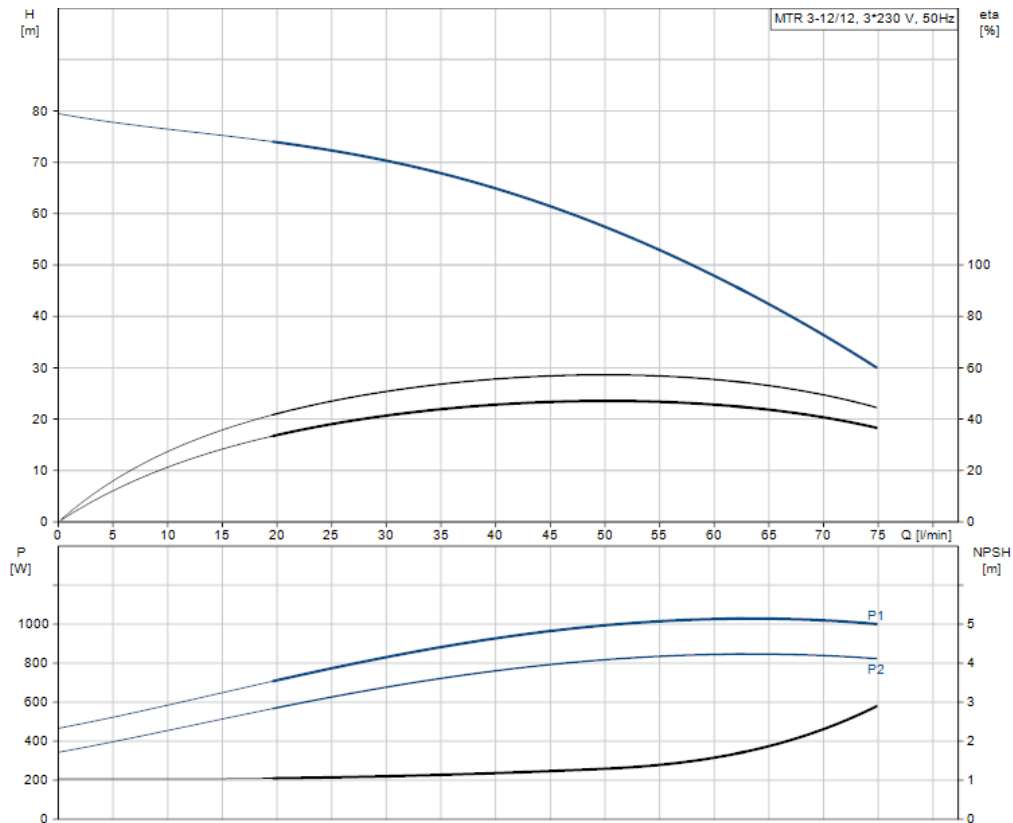


Rys. 3. Schemat hydrauliczny trzeciej wersji koncepcji zespołu zamkniętego układu chłodzenia [5]:

Z - zbiornik, ZK - zawór kulowy, P - pompa hydrauliczna, M - silnik elektryczny,  
 CH - chłodnica powietrzno-wodna, S1 - sygnalizator przepływu, CT - przetwornik temperatury,  
 FZ - filtr zlewowy, FO - filtr oddechowy, St - przyłącze Stecko

## 5. Budowa agregatu chłodniczego

Zbiornik hydrauliczny zaprojektowano jako konstrukcję giętą i spawaną ze stali nierdzewnej, ze względu na występowanie w atmosferze kopalnianej substancji przyspieszających korozję. Za pośrednictwem kołnierza wspawanego w boczną ścianę zbiornika, zamontowano zespół silnikowo-pompowy. Zastosowano odśrodkową pompę wirową o wydatku  $167 \text{ dm}^3/\text{min}$ , przy prędkości obrotowej wału wynoszącej  $2900 \text{ min}^{-1}$ . Pompa ta charakteryzuje się możliwością pracy w środowisku wodnym oraz wykonaniem z materiałów dopuszczających ją do pracy w strefach zagrożonych wybuchem. Wybór pompy wirowej podyktowany był stosunkowo niskimi wymaganiami co do ciśnienia medium oraz korzystnymi warunkami zakupu i możliwością pominięcia w układzie zaworu bezpieczeństwa (pompy wirowe po przekroczeniu ciśnienia granicznego działają w obiegu wewnętrznym). Charakterystykę pracy pompy oraz zdjęcie zespołu pompowego przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Charakterystyka pracy zastosowanej pompy [2]



Rys. 5. Zespół pompy Grundfos [2]

Ze względu na wymagania dyrektywy ATEX niemożliwym było skompletowanie całego zestawu pompowego w jednej firmie. Tak więc silnik zastąpiono konstrukcją, która mogła być zastosowana w wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Dodatkowo, zgodnie z założeniami układu, silnik powinien posiadać dwustronne wyprowadzenia wału napędowego (jedna strona do napędu pompy, a druga do napędu wentylatora chłodnicy). W związku z powyższymi wymaganiami, wytypowano silnik Ex o mocy znamionowej 1,5 kW i prędkości synchronicznej  $3000 \text{ min}^{-1}$ . Zdjęcie przykładowego silnika przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Silnik elektryczny zespołu pompowego [8]

Na zbiorniku hydraulicznym przewidziano zainstalowanie szeregu niezbędnych akcesoriów. Filtr odpowietrzający na pokrywie zapewni utrzymanie wewnątrz zbiornika stałego poziomu ciśnienia, zapobiegając przy tym jego odkształceniom, mogącym powstawać przy zmiennym poziomie medium chłodzącego. Ponadto, na pokrywie zamontowano filtr zlewowy do utrzymania odpowiedniego stopnia czystości medium chłodniczego. Filtr ten będzie wykonany jako szczelinowy oraz dodatkowo zabezpieczony zaworem typu by-pass. Zbiornik planuje się wyposażyć w korek spustowy oraz zawiesia transportowe.

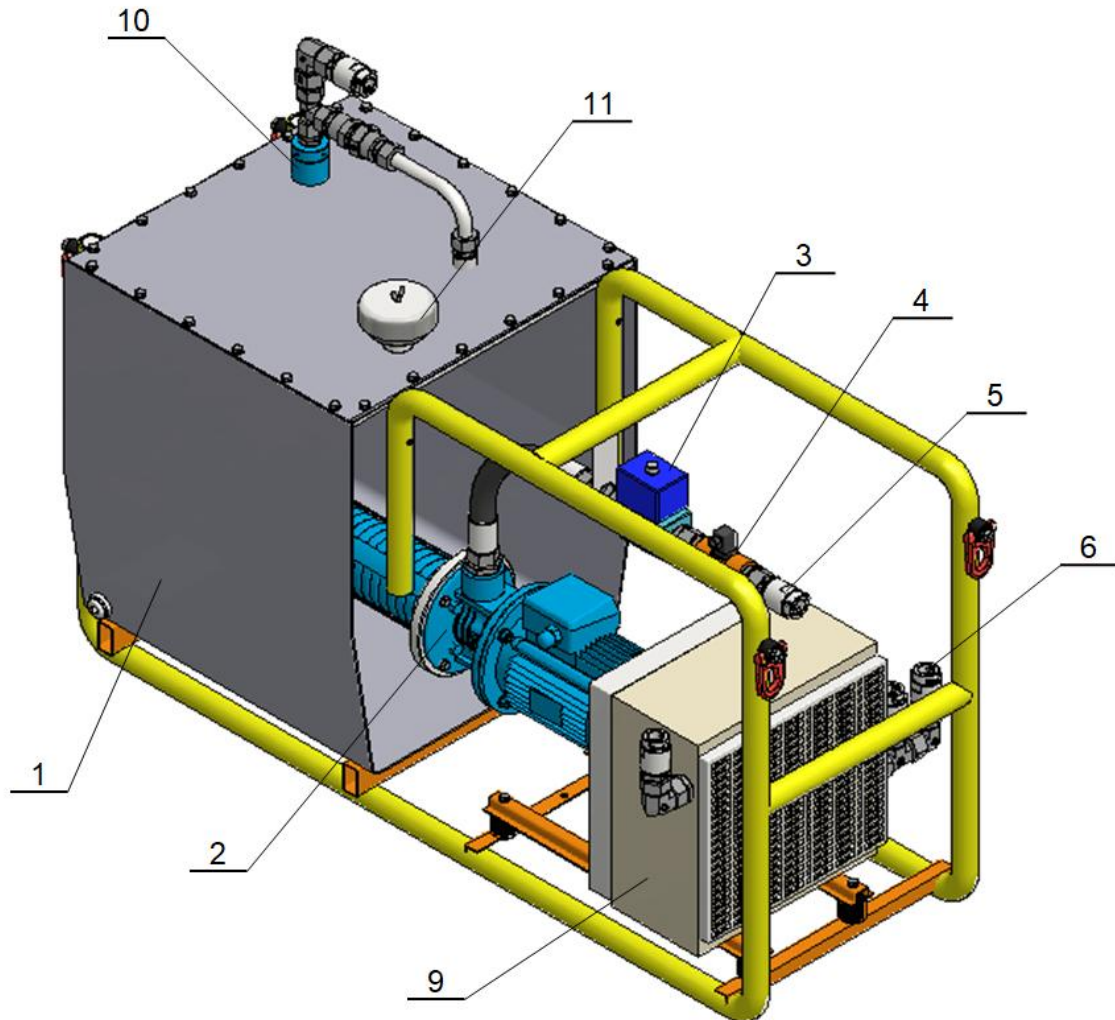
W przypadku chłodnicy zdecydowano się na wykorzystanie konstrukcji miedzianej (chłodnice wykonane z aluminium nie posiadają dopuszczenia do pracy w kopalniach węgla kamiennego). Przykładową chłodnicę zaprezentowano na rysunku 7.



Rys. 7. Chłodnica firmy Hennlich [7]

Chłodnicę oraz zbiornik z zainstalowanym osprzętem umieszczono na ramie wykonanej w postaci spawanych rur stalowych.

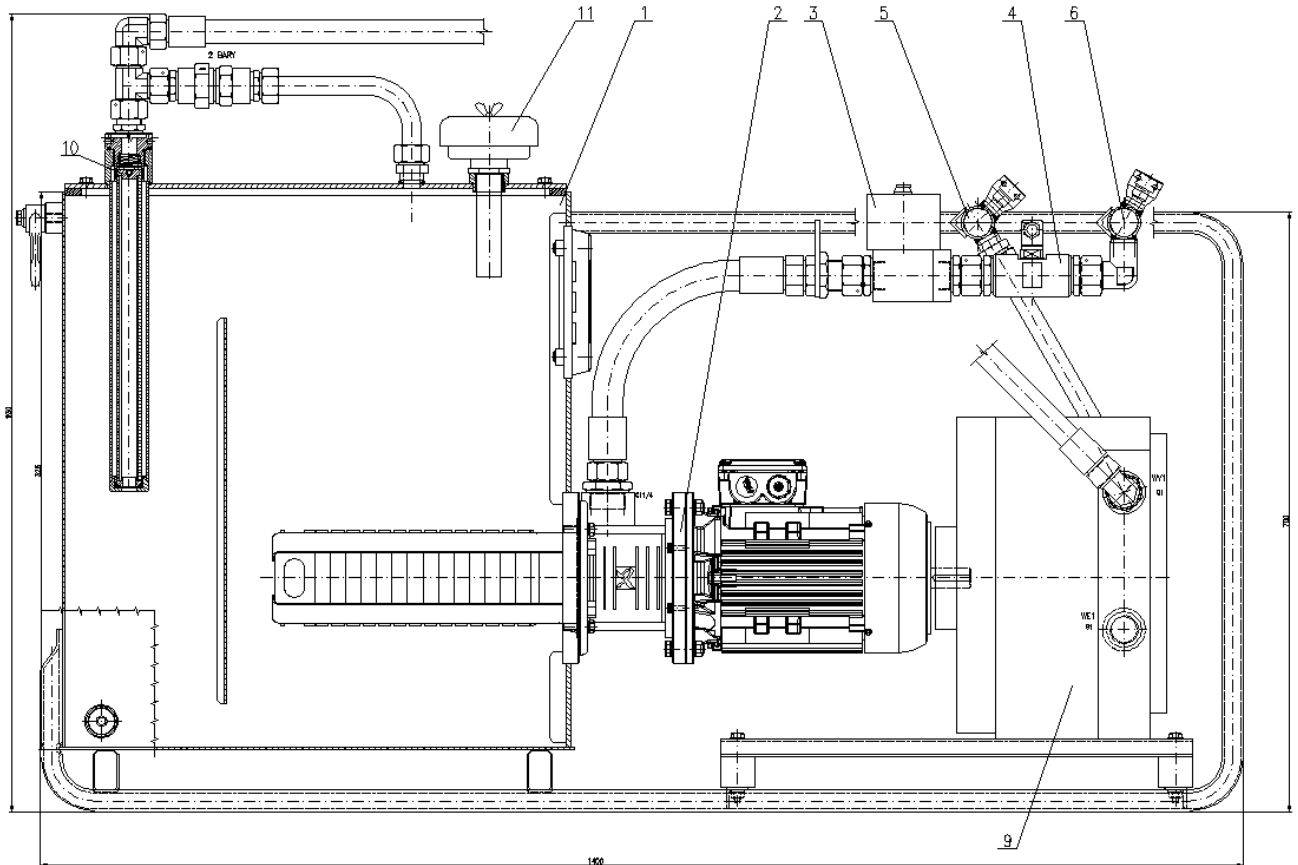
Cyrkulację cieczy chłodniczej przedstawiono na rysunkach 3, 8 i 9. Medium chłodnicze zasysane ze zbiornika tłoczone jest za pośrednictwem pompy (napędzanej silnikiem elektrycznym) poprzez sygnalizator przepływu i czujnik temperatury do kolektora wlotowego. W kolektorze wlotowym ciecz rozgałęzia się i jest kierowana do wszystkich obiektów chłodzonych. Po odebraniu energii cieplnej, medium kierowane jest do kolektora wylotowego, a następnie na chłodnicę olejowo-powietrzną, skąd po wychłodzeniu kierowane jest przez filtr zlewowy z powrotem do zbiornika.



Rys. 8. Zespół zamkniętego układu chłodzenia – model 3D [5]:

- 1 - podzespół zbiornika, 2 - podzespół pompowo-silnikowy, 3 - sygnalizator przepływu,  
 4 - przetwornik temperatury, 5 - podzespół kolektora wlotowego, 6 - podzespół kolektora wylotowego,  
 9 - podzespół chłodnicy, 10 - podzespół filtra zlewowego, 11 - filtr oddechowy





Rys. 9. Zespół zamkniętego układu chłodzenia – rysunek zestawieniowy  
 1 - podzespół zbiornika, 2 - podzespół pompowo-silnikowy, 3 - sygnalizator przepływu,  
 4 - przetwornik temperatury, 5 - podzespół kolektora wlotowego, 6 - podzespół kolektora wylotowego,  
 9 - podzespół chłodnicy, 10 - podzespół filtra zlewowego, 11 - filtr oddechowy [1]

## 6. Podsumowanie

Analiza stanu techniki w zakresie chłodzenia silników elektrycznych dużych mocy, pracujących w podziemnych zakładach górniczych, wykazała brak stosowania agregatów chłodzących pracujących w obiegu zamkniętym. Powszechnie stosowana woda krążąca w rurociągach ppoż., pobierana w celu chłodzenia silników, mimo wykorzystania w układach zraszających jest bezpowrotnie tracona. Dodatkowo, wytrącające się z niej minerały powodują osadzanie się kamienia kotłowego w kanałach chłodniczych i stanowią potencjalne zagrożenie dla poprawnej pracy układu chłodzenia silnika. Wymusza to okresowe czyszczenie kanałów chłodniczych, co wiąże się z przestojami w pracy silników.

W artykule przedstawiono koncepcje układu hydraulicznego zbudowanego z agregatu chłodniczego pracującego w obiegu zamkniętym, przeznaczonego do współpracy z układami chłodniczymi silników elektrycznych dużych mocy. Cechy konstrukcyjne agregatu umożliwiają zastosowanie go w podziemnych wyrobiskach górniczych ze stopniem zagrożenia wybuchem metanu „a”, „b” lub „c” i/lub „A”, „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

Zastosowanie agregatu chłodniczego pracującego w obiegu zamkniętym, umożliwia niezależność od zasilania z magistrali ppoż., a tym samym duże oszczędności wody oraz

likwiduje problem osadzania się kamienia kotłowego w kanałach chłodniczych. Ponadto, w cieczy chłodzącej będzie można zastosować dodatki uszlachetniające, konserwujące kanały układu chłodniczego silników elektrycznych. Takie podejście wydłuży okres eksploatacji silników elektrycznych dużej mocy, chłodzonych cieczą, bez konieczności serwisowania ich chłodniczych układów przepływowych.

## Literatura

- [1] Dokumentacja techniczna nr: W68.026 Zamknięty układ chłodzenia silników elektrycznych. ITG KOMAG, 2018 (materiały niepublikowane)
- [2] [pl.grundfos.com](http://pl.grundfos.com) (24-05-2018)
- [3] PN-EN 60079-0:2013-03 Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania
- [4] PN-EN 60079-1:2014-12 Atmosfery wybuchowe – Część 1: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych „d”
- [5] Rawicki N. i inni: Opracowanie koncepcji zamkniętego układu chłodzenia silników elektrycznych. ITG KOMAG, 2018 (materiały niepublikowane)
- [6] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (Dz. U. poz. 817)
- [7] [www.hennlich.pl](http://www.hennlich.pl) (21.05.2018)
- [8] [www.motors.celma.pl](http://www.motors.celma.pl) (21.05.2018)