

Wybrane aspekty bezpieczeństwa układów i zasilaczy hydraulicznych Parkera w świetle normy EN ISO 13849-1. Część II

Maciej Oleksiuk

Wstęp

W pierwszej części publikacji [4] omówiłem kilka przykładowych elementów hydraulicznych pełniących kluczowe zadania bezpieczeństwa układów hydraulicznych. W tej części publikacji zamierzam przedstawić wybrane przykłady układów hydraulicznych, stanowiących fragment systemów bezpieczeństwa, w świetle normy EN ISO 13849-1 [2].

Przedmiotem tej normy jest analiza bezpieczeństwa układów sterowania i nie daje ona możliwości analizy całej maszyny, między innymi elementów wykonawczych, a także oprogramowania. Dlatego prawidłowo wykonana analiza bezpieczeństwa układu hydraulicznego wymaga odwołania się do wielu dokumentów. Jedną z możliwych opcji jest poniżej opisana sekwencja.

- A. **Określenie przedmiotu badania.** Na podstawie Dyrektywy Maszynowej [1] musimy zdecydować, czy przedmiotem analizy bezpieczeństwa jest układ hydrauliczny jako maszyna nieukończona, stanowiący funkcjonalny fragment maszyny lub zespołu maszyn, podobnie jak inne fragmenty
- B. **Zdefiniowanie funkcji bezpieczeństwa.** Norma [2] proponuje 18 funkcji bezpieczeństwa. Znaczna część z nich musi być rozważana w przypadku analizy bezpieczeństwa maszyny wyposażonej w układ hydrauliczny. Dotyczy to między innymi takich funkcji, jak:

składające się na całość, czy przedmiotem analizy jest cała maszyna, a analiza bezpieczeństwa układu hydraulicznego dokonywana jest z punktu widzenia jego roli i skutków dla całej maszyny. Istotę alternatywy pokazano na rys. 1.

Układ/napęd hydrauliczny może oddziaływać z otoczeniem poprzez mechanizmy maszyny (czarne strzałki) i wtedy funkcje bezpieczeństwa obejmują maszynę wraz z układem hydraulicznym jako jej funkcjonalną część. Układ/napęd hydrauliczny może też oddziaływać z otoczeniem bezpośrednio (kolorowa strzałka) i wtedy funkcje bezpieczeństwa nie obejmują maszyny. Mamy wówczas do czynienia z układem hydraulicznym jako maszyną nieukończoną.



Rys. 1

2. Restart ręczny, mający związek z odseparowaniem od źródła zasilania energią, np. energią zgromadzoną w akumulatorze hydraulicznym.
6. Sterowanie podtrzymaniem ruchu.
8. Zapobieganie niezamierzonemu uruchomieniu w przypadku zastosowania akumulatora hydraulicznego w obwodzie zasilania.
10. Izolacja od zasilania i rozpraszania energii.
16. Parametry związane z bezpieczeństwem, takie jak prędkość, temperatura, ciśnienie.
17. Zmiany parametrów związane z funkcją 8 w przypadku utraty lub powrotu zasilania.

W przypadku ograniczenia rozważania bezpieczeństwa do samego układu hydraulicznego jako maszyny nieukończonej przedmiotem analizy będą przeważnie funkcje bezpieczeństwa opisane w p. 16.

Typowy układ bezpieczeństwa analizowany dla każdej funkcji bezpieczeństwa przedstawia rys. 2. Jako wyjście w układzie hydraulicznym wystąpi przeważnie zawór lub rozdzielacz.



Rys. 2

Punktem wyjścia dla opracowania układu hydraulicznego spełniającego wymagania bezpieczeństwa jest analiza wybranych aspektów bezpieczeństwa [4] dla każdej z funkcji bezpieczeństwa:

- poziom bezpieczeństwa;
- kategoria bezpieczeństwa.

2. Kategoria B

Dla układów hydraulicznych osiągnięcie kategorii B oznacza zbudowanie układu bezpieczeństwa z elementów wykonanych zgodnie z odpowiednimi normami. Szczegółowo opisano to w Tabeli C1 Załącznika C do normy PN-EN ISO 13849-2:2013 [3].

Na schemacie na rys. 3 przedstawiono prosty układ hydrauliczny. W przypadku rozpatrywania go jako maszyny nieukończonej należałoby zanalizować co najmniej funkcje bezpieczeństwa zgodnie z p. 16 Tab. 8 i 9 normy [2] punkty a) i b):

- a. Zagrożenie spowodowane wzrostem ciśnienia podczas ruchu spowodowanego napędem pompy. Funkcja ta, pokazana na rys. 2, skompresuje się do jednego członu, którego realizacją fizyczną jest zawór przelewowy „9”. Stanowi on jednocześnie czujnik, element logiczny i wykonawczy. Biorąc pod uwagę jego średni czas do niebezpiecznego uszkodzenia $MTTF_d$, można określić osiągnięty poziom bezpieczeństwa dla tej funkcji (nie dla całego układu).

- b. Zagrożenie spowodowane wzrostem temperatury oleju. Jeśli założymy najprostszemu układ (bez chłodnicy wodnej „10”, zaworów odcinających wodę chłodzącą „11” i „12” oraz bez przełącznika temperatury oleju „7”), to temperatura oleju zależy od energii dostarczonej do układu hydraulicznego przez silnik elektryczny „3”, pracy wykonanej przez cylinder

„17” oraz ilości ciepła odebranego przez otoczenie, będącej funkcją wielu zmiennych, w tym temperatury otoczenia. Zwykle parametry układu hydraulicznego dobiera się tak, aby w zależności od temperatury otoczenia temperatura medium wahała się pomiędzy 40–60°C, co przyjmuje się za temperaturę bezpieczną. Jednak awaria któregoś z elementów układu może prowadzić do zaburzenia równowagi termodynamicznej i ustanowienia jej na wyższym poziomie temperatury, np. 70 lub nawet 80°C. Jeśli taka sytuacja jest dostatecznie prawdopodobna, to układ nie może zostać zakwalifikowany do kategorii B ze względu na prawdopodobieństwo oparzenia obsługi.

W przypadku, gdybyśmy chcieli kontrolować temperaturę oleju, funkcja bezpieczeństwa przyjąłaby postać taką, że przełącznik temperatury „7” stałby się czujnikiem wejściowym, elementem logicznym byłby niepokazany na schemacie stycznik, a elementem wyjściowym zawór wodny „11”.

- c. Odprowadzenie zmagazynowanej energii. Zastosowanie akumulatora hydraulicznego „20” powoduje, że po wyłączeniu maszyny w obwodach zasilania pozostaje olej pod ciśnieniem. W obwodzie funkcji bezpieczeństwa znajduje się zawór kulowy „22”, pokazany na schemacie jako zamknięty. Dla obwodów kategorii B istnieje powszechna praktyka stosowania bloku bezpieczeństwa „21” wyposażonego w zawór kulowy „22”, jak na schemacie. Niemniej każdorazowo należy rozważyć potrzeby i konsekwencje takiego stanu układu.

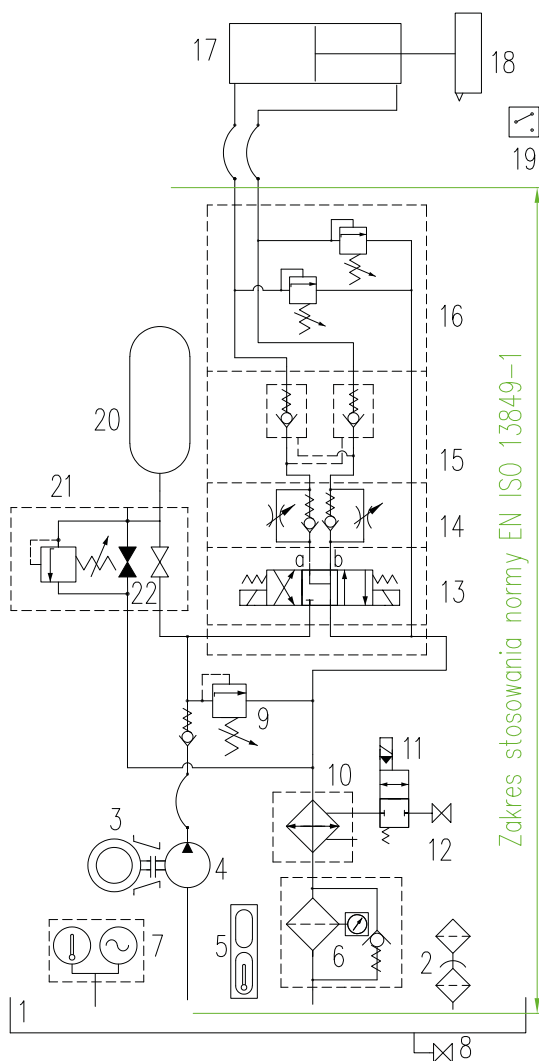
- d. Zapobieganie niezamierzonemu użyciu. Przy nierozładowanym akumulatorze i wyłączonym zasilaniu układu hydraulicznego przesterowanie suwaka rozdzielcza „13” za pomocą przycisku ręcznego spowodować może niezamierzony ruch tłoczyska skutkujący zdarzeniem potencjalnie niebezpiecznym. Opis postępowania powinien w tym przypadku znaleźć odzwierciedlenie w instrukcji włączenia maszyny nieukończonej bądź w dtr maszyny. Jeśli niebezpieczeństwo grozić może poważniejszymi skutkami, taki układ powinien być przeniesiony do kategorii wyższej.

W przypadku analizy całej maszyny wyposażonej w układ hydrauliczny pokazany na tym schemacie należałoby rozpatrzyć znacznie więcej funkcji bezpieczeństwa:

- e. Odprowadzenie zmagazynowanej energii. Pozycja tłoka cylindra po jego zatrzymaniu utrzymywana jest za pomocą zamka hydraulicznego. Ponieważ cylinder jest w pozycji poziomej, to obwody robocze są nieobciążone. W przypadku ustawienia pionowego z tłoczyskiem w dół obwód „b” zostanie obciążony.

- f. Ograniczenia generowania i przenoszenia siły. Jeśli otoczenie maszyny jest takie, że istnieje możliwość pojawienia się zewnętrznego obciążenia tłoczyska w czasie postoju, to siły te mogą prowadzić do powstania znacznych ciśnień w obwodach roboczych. Wówczas może pojawić się zagrożenie spowodowane wzrostem ciśnienia, przed czym chroni zawór „16”. Funkcja bezpieczeństwa zbudowana byłaby więc podobnie, jak funkcja opisana w p. a) dla zaworu „9”.

- g. Ograniczenie prędkości. W razie zmiany masy „18” w przypadku realizacji różnych zadań może pojawić się konieczność ograniczenia prędkości ruchu, co realizuje zawór „14”. Może być tak, że jest to zadanie technologiczne i niezawodność



Rys. 3

jego realizacji nie jest elementem bezpieczeństwa. Może być jednak tak, że ograniczenie prędkości następuje z powodów bezpieczeństwa i wtedy zawór ten ma być analizowany w ramach tej funkcji bezpieczeństwa, podobnie jak zawory przelewowe.

- h. Wejście w strefę niebezpieczną. Cylinder w maszynie jest tak wykorzystywany, że jego organ roboczy może znaleźć się w strefie niebezpiecznej. Jeśli to zdarzenie jest mało prawdopodobne i jego skutek nie powoduje ciężkich uszkodzeń, to układ może pozostać wciąż klasyfikowany w kategorii B i architektura funkcji bezpieczeństwa przyjmie klasyczną postać, jak na rys. 2, gdzie czujnik pozycji „19” będzie pełnił funkcję wejścia, niepokazany na schemacie przełącznik sterujący rozdzielaczem „13” będzie pełnił funkcję elementu logicznego, a sam rozdzielacz „13” będzie pełnił rolę wykonawczą.

3. Kategoria 1

Kategoria 1 różni się od kategorii B jedynie wymaganiami stosowania wypróbowanych elementów i zasad bezpieczeństwa, dlatego wszystkie uwagi przedstawione powyżej dla układów kategorii B są aktualne dla kategorii 1.

4. Kategoria 2

Urządzenia zaliczane do tej kategorii muszą być dodatkowo wyposażone w system okresowej kontroli funkcji bezpieczeństwa. Architektura systemu kontroli bezpieczeństwa pokazana jest na rys. 4. Fizyczna realizacja tego układu pokazana jest na schemacie z rys. 5.

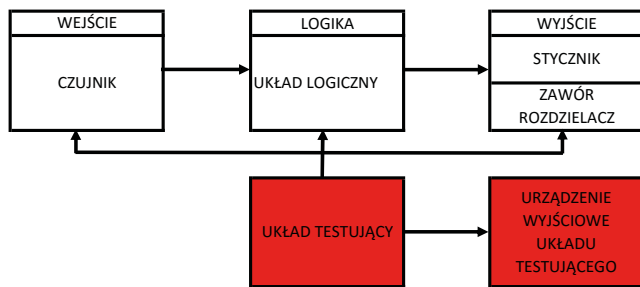
W celu realizacji funkcji bezpieczeństwa związanej z elementem wirującym „18” zastosowano rozdzielacz „13” wyposażony w czujniki kontroli położenia suwaka [4]. Rozdzielacz posiada histerezę wynoszącą w zależności od wersji ok. 20%. Jeśli za pozycję bezpieczną suwaka uznamy pozycję centralną (rozdzielacz bez napięcia, wszystkie porty odcięte), to ta pozycja jest monitorowana. Zejście suwaka z pozycji centralnej o więcej niż ok. 15% w każdym kierunku sygnalizowane jest przez czujniki zamocowane na rozdzielaczu (po jednym dla każdego z kierunków). Informacja o tym zdarzeniu przekazywana jest do układu monitorującego. Jeśli jest to stan oczekiwany (silnik powinien obracać się), układ bezpieczeństwa nie podejmuje żadnych akcji. Jeśli fakt ten następuje w momencie, w którym nie powinien mieć miejsca (obie cewki rozdzielacza są bez napięcia), to jest to identyfikowane jako stan awaryjny (suwak nie powrócił w pozycję neutralną).

Na schemacie na rys. 5 oprócz obwodów hydraulicznych zaznaczono na czerwono obwody sterujące (linią ciągłą) i obwody monitorujące stan obiektu (linią przerywaną). Wprawdzie przedmiotem publikacji jest układ hydrauliczny, ale nie można analizować funkcji bezpieczeństwa w oderwaniu od układu elektrycznego. Układ hydrauliczny powinien być tak zbudowany i wyposażony w takie elementy, aby możliwe było zbudowanie układu bezpieczeństwa spełniającego wymagania danej kategorii.

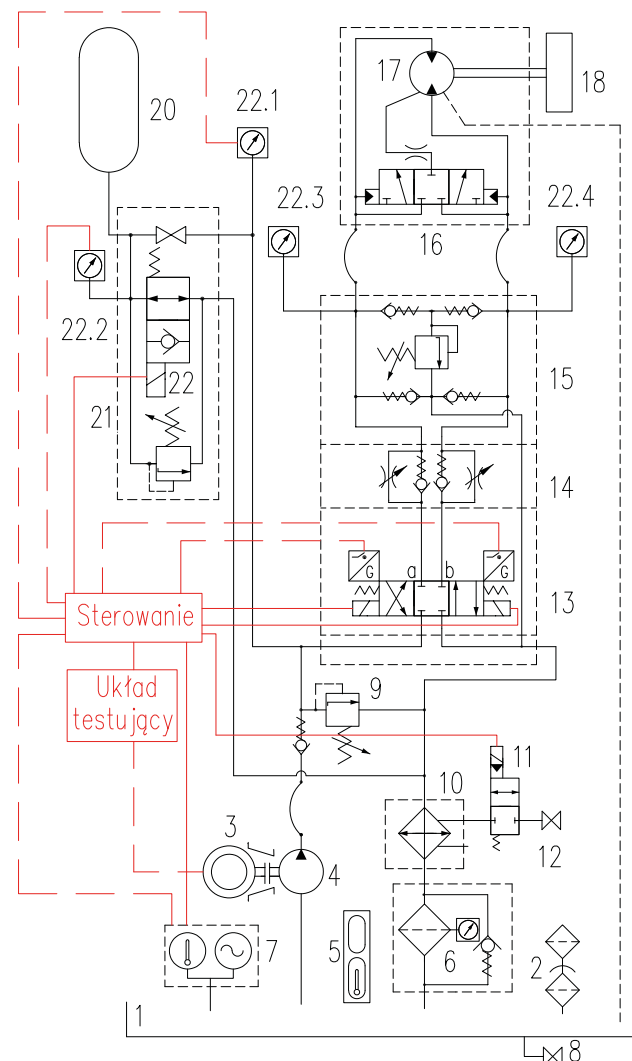
Natomiast funkcja bezpieczeństwa związana z temperaturą może być monitorowana przez drugie wyjście przełącznikowe, lub wyjście analogowe przełącznika temperatury. Pierwsze wyjście wykorzystywane jest do sterowania zaworem dopływu wody. Drugie kontroluje rzeczywistą temperaturę, co oznacza, że identyfikowany jest stan awaryjny każdego z elementów obwodu chłodzenia niezależnie od miejsca występowania (brak dostatecznej ilości wody, jej za wysoka temperatura, awaria zaworu, awaria chłodnicy).

Bardzo ważna funkcja odprowadzenia zmagazynowanej energii realizowana jest za pomocą rozdzielacza „22” zainstalowanego w bloku bezpieczeństwa „20” i monitorowana za pomocą przełącznika ciśnienia „22.2”. W stanie beznapięciowym rozdzielacz jest otwarty i przestrzeń pod akumulatorem połączona jest ze zlewem. Podczas pracy cewka rozdzielacza musi być cały czas zasilana napięciem, co umożliwi wykorzystanie akumulatora w pracy układu. Po wyłączeniu zasilania cewki rozdzielacz automatycznie łączy obwód zasilania ze zlewem. Fakt ten monitorowany jest czujnikiem ciśnienia, którego sygnał może być wykorzystany w obwodzie układu testującego.

Podobne funkcje kontrolne prawidłowości działania zaworów ciśnieniowych, a mianowicie zaworu przelewowego „9” i zaworu krzyżowego „15” pełnią odpowiednio przełączniki ciśnienia „22.1”, „22.3” i „22.4”, które w określonych fazach cyklu powinny być pod ciśnieniem, a w innych nie.



Rys. 4



Rys. 5

Przy doborze elementów systemu należy zwrócić uwagę na ich rodzaj. Przekładniki mogą być bowiem w wersji standardowej lub w wersji „bezpieczeństwa”, tzn. z obwodami kontrolnymi [4]. Te pierwsze charakteryzują się niższym stopniem pokrycia diagnostycznego i mogą być stosowane tylko w układach z poziomem bezpieczeństwa PL_c . Te drugie przewidziane są dla układów z poziomem PL_d .

5. Kategoria 3

Urządzenia zaliczane do tej kategorii oprócz spełnienia wymagań podstawowych i wypróbowanych zasad bezpieczeństwa muszą dodatkowo być tak zaprojektowane, aby pojedynczy błąd nie doprowadził do utraty funkcji bezpieczeństwa. Oznacza to, że bezpieczeństwo tego układu zapewnione jest dzięki jego redundancji. Architektura systemu bezpieczeństwa pokazana jest na rys. 6. Na czerwono zaznaczono sygnalizację wykrycia awarii.

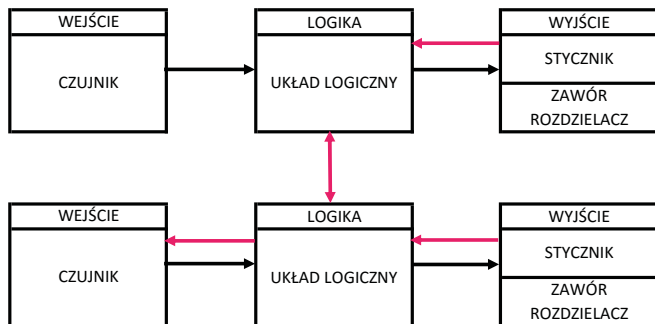
Obwód bezpieczeństwa każdej z funkcji bezpieczeństwa jest podwojony, czyli awaria jakiegokolwiek elementu systemu nie spowoduje utraty bezpieczeństwa. Należy pamiętać, że redundanтный obwód bezpieczeństwa nie oznacza redundantnego sterowania. Oczywiście nie wszystkie funkcje bezpieczeństwa maszyny muszą spełniać wymagania tej samej kategorii. Zależy to od charakteru ryzyka związanego z daną funkcją bezpieczeństwa. Utrata jednej z nich może prowadzić z dużym prawdopodobieństwem do ciężkiego i trwałego uszczerbku na zdrowiu i wtedy kategoria 3 jest jak najbardziej wskazana, gdy tymczasem utrata innej funkcji bezpieczeństwa na tej samej maszynie doprowadzi z niewielkim prawdopodobieństwem tylko do lekkich urazów, których skutki mogą po pewnym czasie zaniknąć, i dla tej funkcji wystarczy kategoria 1 lub nawet B.

Część hydrauliczna tego układu pokazana jest na rys. 7. Część logiczna znajduje się poza układem hydraulicznym. Funkcja bezpieczeństwa związana z ruchem tłocznika realizowana jest przez dwa czujniki „19.1” i „19.2”. Część hydrauliczną stanowią dwa rozdzielacze „13” i „23” z czujnikami kontroli położenia suwaka, połączone szeregowo. Szeregowe połączenie funkcjonalne oznacza, że w obwodzie bezpieczeństwa będziemy mieli połączenie równoległe, czyli elementy te są redundantne w zakresie tej funkcji bezpieczeństwa.

Funkcja bezpieczeństwa związana z ciśnieniem też będzie miała redundantne czujniki ciśnienia („22.3” i „22.1”), („22.3” i „22.2”). Rozdzielenie czujników eliminuje ryzyko awarii o wspólnej przyczynie. W niektórych przypadkach stosuje się czujniki ciśnienia z redundantnym wyjściem, co zapewnia kontrolę poprawności działania czujnika [9]. W obwodach roboczych kluczową rolę pełnią zawory przelewowe „16” bezpośredniego działania. Zgodnie z załącznikiem C do normy PN-EN ISO 13849-2:2012 [3] można wykluczyć ich awarię. Jeśli zastosowane zostaną zawory z nastawą fabryczną, dodatkowo potwierdzoną certyfikatem, nie ma możliwości jej zmiany w trakcie eksploatacji, dzięki czemu mamy pewność, że ciśnienie w obwodach roboczych nie wzrośnie powyżej nastawionego poziomu.

Osobnym problemem jest bezpieczeństwo pras hydraulicznych. Ze względu na popularność tych maszyn oraz znaczny poziom ryzyka opracowana została dla nich norma typu C PN-EN 693+A2:2012 oraz norma EN ISO 16092-3. Oczywiście wypełnienie wymagań dedykowanej do pras normy typu C nie zwalnia projektanta od rozważenia innych aspektów bezpieczeństwa, nieuwjętych w normie PN-EN 693.

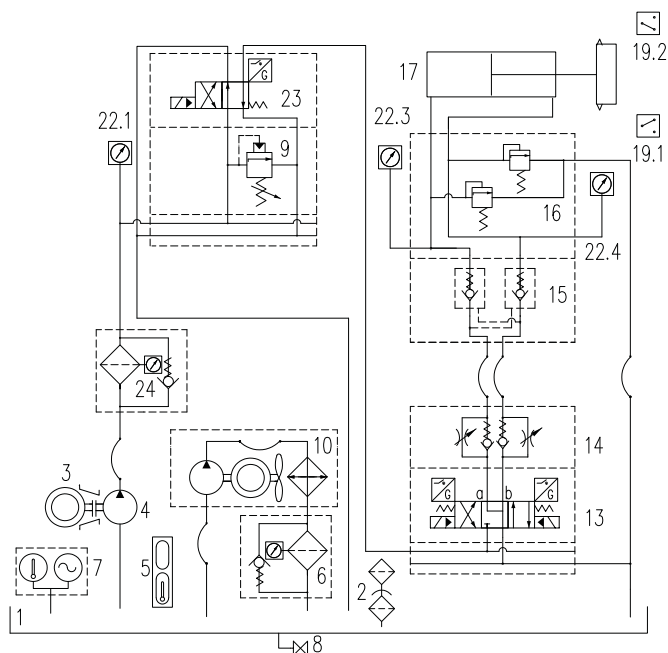
Mając na uwadze wygodę użytkownika, firma Parker Hannifin opracowała zintegrowany blok sterowania prasą serii PPCC o trzech wielkościach nominalnych: 10, 16 i 25 mm,



Rys. 6



Fot.1



Rys. 7

przeznaczonych do maksymalnego przepływu przez gniazda robocze odpowiednio 240, 540 i 940 l/min. Blok (fot. 1) ma architekturę otwartą, umożliwiającą zestawienie modułowego systemu hydraulicznego złożonego z różnego typu elementów sterowania ciśnieniem, przepływem oraz kierunkiem przepływu, w tym również elementów proporcjonalnych, w celu realizacji cyklu roboczego odpowiadającego wymaganiom danej maszyny. Stworzony w ten sposób system może spełnić najwyższy poziom bezpieczeństwa PL_e zgodnie z normą PN-EN ISO 13419.

Norma PN-EN ISO 13849-1 [2] nie zajmuje się wprost stanem medium roboczego. Niemniej ma on kluczowe znaczenie dla niezawodności większości elementów hydraulicznych, czyli ma bezpośredni wpływ na parametr CCF – potencjalne usterki o wspólnej przyczynie. Ponieważ parametr ten zmienia się podczas eksploatacji układu hydraulicznego, a dynamika tych zmian zależy od wielu zmiennych, w tym zewnętrznych, nie wystarczy wyposażyć układ hydrauliczny w filtry z odpowiednimi wkładkami [4], ale należy stosować też czujniki kontrolujące stan medium.

6. Kategoria 4

Urządzenia zaliczane do tej kategorii mają taką samą architekturę jak urządzenia w kategorii 3, z tym, że zaznaczone na czerwono połączenia pokazane na rys. 6 oznaczają monitorowanie, a nie wykrywanie awarii, jak w przypadku kategorii 3. Tak więc wymagania w stosunku do części hydraulicznej dla kategorii 3 i 4 są przeważnie takie same.

7. Posumowanie

Obniżenie zagrożeń jest podstawowym zadaniem procesu projektowego. Dyrektywy Europejskie, a zwłaszcza Dyrektywa Maszynowa, stawiają producentom konkretne wymagania. Celem tej publikacji jest przedyskutowanie wybranych aspektów bezpieczeństwa.

Literatura

- [1] Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 17 maja 2006 w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 9.6.2006.
- [2] Norma PN-EN ISO 13419-1:2015 Bezpieczeństwo maszyn. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część: 1. Ogólne zasady projektowania.
- [3] Norma PN-EN ISO 13849-2:2012 Bezpieczeństwo maszyn. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część: 2. Walidacja.
- [4] OLEKSIUK M.: Wybrane aspekty bezpieczeństwa układów i zasilaczy hydraulicznych Parkera w świetle normy EN ISO 13849-1, „Napędy i Sterowanie” 10/2017.
- [5] Katalog HY11-3359 Parker Hannifin.

Maciej Oleksiuk – Specjalista Techniczny
Parker Hannifin Sales Poland



Parker Hannifin Sales Poland Sp. z o.o.
ul. Równoległa 8
02-235 Warszawa
tel. 22-573 24 00
e-mail: warszawa@parker.com
www.parker.com