

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

Maciej Oleksiuk

1. Wstęp

Co najmniej dwie Europejskie Dyrektywy – Maszynowa [1] i Ciśnieniowa [2] – tworzą ramy bezpieczeństwa układów hydraulicznych. Zawierają one między innymi zobowiązania prawne producentów i dostawców zapewnienia bezpieczeństwa użytkownika wprowadzonego na rynek produktu. Natomiast sposób wdrożenia zasad bezpieczeństwa określono w szeregu zharmonizowanych norm. Ich wypełnienie pozwala domniemywać, że urządzenie wytworzone na ich bazie będzie bezpieczne, aczkolwiek analiza ryzyka zawsze powinna być robiona możliwie szeroko.

Na język techniczny wymagania prawne wyżej wymienionych Dyrektyw „przekładają” normy zharmonizowane [3 i 4].

Ocenę i zmniejszanie ryzyka zgodnie z Załącznikiem I p. 1.1.2 b Dyrektywy Maszynowej [1] oraz normą EN-EN ISO 12100:2012 [3] dokonuje się w trzech krokach, co pokazano na rys. 1:

1. Poprzez właściwą konstrukcję w zakresie mechaniki lub/i sterowania.
2. Poprzez urządzenia ochronne – mechaniczne lub/i sterujące.
3. Wskazówki o zagrożeniach resztkowych.

Oceny ryzyka i zmniejszania ryzyka samych układów sterowania i ich elementów, stanowiących fragment analizowanej pod kątem bezpieczeństwa maszyny, dokonywać można, wykorzystując alternatywnie dwie zharmonizowane normy [5 i 6]. Normy te są typu B, co oznacza, że ich zastosowanie jest zalecane, ale nie wyczerpują one wszystkich aspektów bezpieczeństwa. W dalszej

części publikacji zamieszczone zostaną wybrane aspekty bezpieczeństwa funkcjonalnego układów hydraulicznych w świetle normy PN-EN ISO 13849-1.

2. Wybrane aspekty bezpieczeństwa zawarte z normie PN-EN ISO 13849-1

Analiza bezpieczeństwa wykonywana na podstawie ww. normy jest przedmiotem często wielodniowych szkoleń. Niniejsza publikacja ogranicza się do wybranych aspektów i ma na celu wskazanie pewnych możliwości oraz ograniczeń. Przedmiotem normy jest analiza elementów bezpieczeństwa układów sterowania i nie daje ona możliwości analizy całej maszyny, między innymi elementów niebędących elementami sterowania (cylindry i silniki hydrauliczne, przewody, pompy itp.) oraz oprogramowania.

Należy wyraźnie podkreślić, że przedmiotem analizy są elementy i systemy bezpieczeństwa stanowiące fragment sterowania, a nie całe układy sterowania. Z punktu widzenia tej normy nie jest istotne, czy maszyna działa poprawnie, czy nie, a jedynie czy jest bezpieczna, nawet wówczas, gdy działa niewłaściwie. Stąd, zwłaszcza w wyższych kategoriach bezpieczeństwa, obwody sterowania i obwody bezpieczeństwa są separowane, a w najwyższych obwody bezpieczeństwa są składane z elementów z samokontrolą ich stanu.

Norma EN ISO 13849 [6] jest rozwinięciem stosowanej przez wiele lat normy EN 954-1. W starej normie ocenie podlegała struktura części systemu sterowania związanego z bezpieczeństwem.

W nowej normie szacujemy dodatkowo niezawodność, czyli określamy prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia potencjalnie niebezpiecznego, zaczynając oczywiście od prawdopodobieństwa wystąpienia usterki.

2.1. Zapewnienie poziomu bezpieczeństwa

Norma określa 5 poziomów bezpieczeństwa od najniższego PL_a do najwyższego PL_e. W prawidłowo prowadzonym procesie projektowym celem analizy jest stwierdzenie, czy osiągnięte poziomy bezpieczeństwa są co najmniej takie, jak poziom założony/wymagany.

Poziomy mówią o średnim prawdopodobieństwie wystąpienia niebezpiecznej usterki w ciągu godziny, przy czym nie ma czegoś takiego, jak ogólny poziom PL dla całej maszyny. Definiuje się PL dla każdej funkcji bezpieczeństwa oddzielnie. O funkcji bezpieczeństwa będzie mowa w drugiej części publikacji.

2.2. Kategoria bezpieczeństwa

Norma określa 5 kategorii bezpieczeństwa od B do 4.

W układach hydraulicznych osiągnięcie najniższej 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 [7], gdzie zamieszczono podstawowe zasady bezpieczeństwa, obejmujące między innymi:

- używanie odpowiednich materiałów i sposobu wykonania;
- właściwe wymiary i kształty;

- właściwy wybór, zestawienie, zaprojektowanie, montaż i instalację komponentów;
- stosowanie zasad postępowania w przypadku zaniku energii;
- właściwe mocowanie;
- ograniczenie ciśnienia;
- ograniczenie/redukcję prędkości;
- dostateczne uniknięcie zanieczyszczeń;
- właściwy zakres czasów przełączania;
- uwzględnienie wpływu warunków otoczenia;
- zabezpieczenie przed nieoczekiwanym włączeniem;
- prostotę;
- odpowiedni zakres temperatury;
- rozdzielanie funkcji bezpieczeństwa od innych funkcji.

Z kolei osiągnięcie kolejnej kategorii 1 oznacza dodatkowo stosowanie wypróbowanych elementów i sprawdzonych metod. Dla układów hydraulicznych zasady te zdefiniowano w Tabeli C2 ww. załącznika. Kilka najistotniejszych to:

- przewymiarowanie (stosowanie współczynników bezpieczeństwa);
- zdefiniowanie bezpiecznej pozycji;
- zastosowanie sprężyn wysokiej jakości;
- ograniczenie prędkości i siły;
- właściwy zakres warunków pracy;
- kontrola stanu cieczy roboczej;
- znaczące dodatnie przekrycie suwaków rozdzielaczy;
- ograniczona histereza.

Zaliczenie systemu do kategorii 2 i wyższych wymaga ponadto zastosowania elementów wykrywających usterki. Dla kategorii 2 jest to wykrywanie okresowe, dla 3 – ciągle. Kategoria 4 oznacza strukturę odporną na jednoczesne wystąpienie dwóch usterek.

2.3. Typowy układ bezpieczeństwa

Przedmiotem analizy normy są układy bezpieczeństwa. Typowy układ bezpieczeństwa przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1

Elementem wyzwalającym mogą być przekaźniki opisujące stan układu hydraulicznego – ciśnienia, temperatury, położenia, ale także przekaźniki

opisujące stan maszyny, zamki, bramki czy zagregowane sygnały bezpieczeństwa generowane przez sterownik maszyny lub sterownik bezpieczeństwa.

Sygnał wyzwalający może (choć nie musi) być przetworzony przez układ logiczny. W najprostszej konfiguracji będzie to przekaźnik.

Jako wyjście w układzie hydraulicznym wystąpi przeważnie zawór lub rozdzielacz. Jak wspomniałem, takie elementy układu hydraulicznego, jak cylindry, silniki hydrauliczne, przewody, wiele zaworów nie są przedmiotem analizy wg tej normy. Ich wpływ na bezpieczeństwo musi być analizowany na podstawie innych norm, np. PN-EN ISO 4414:2011 [4] i EN-EN ISO 12100:2012 [3].

Ponieważ z punktu widzenia Dyrektywy Maszynowej układy hydrauliczne przeważnie należy traktować jako maszyny nieukończone, wpływ cylindrów i silników hydraulicznych na bezpieczeństwo może być istotny dopiero po połączeniu ich z maszyną i dopiero wtedy mogą pojawić się dodatkowe wymagania, które musi spełnić układ hydrauliczny, aby zapewnić bezpieczeństwo maszyny. Dlatego twórca układu hydraulicznego musi od samego początku projektu znać przeznaczenie i działanie całej maszyny, aby zaimplementować w układzie hydraulicznym rozwiązania i elementy bezpieczeństwa, które wymagane są nie przez sam układ hydrauliczny, a przez funkcje maszyny, którą napędza.

3. Elementy systemów bezpieczeństwa stosowane w układach hydraulicznych

3.1. Czujniki ciśnienia

W układach bezpieczeństwa stosowane są dedykowane czujniki. Wśród nich wymienić należy czujnik ciśnienia serii SPC07 produkcji Parkera (fot. 1), który może być stosowany w systemach bezpieczeństwa na poziomie PL_d kategorii 2. Czujnik ten, dzięki podwójnemu, redundantnemu wyjściu analogowemu zapewnia poziom pokrycia diagnostycznego DC 93,8% (z uwzględnieniem sterownika) oraz odporność CCF = 70 > 65. Dzięki takim parametrom czujnik ten idealnie nadaje się do zastosowania w obwodach bezpieczeństwa w takich

Fot. 1.

Dedykowany do obwodów bezpieczeństwa czujnik ciśnienia



maszynach z napędem hydraulicznym, jak na przykład prasy itp.

3.2. Rozdzielacze

W obwodach bezpieczeństwa systemów kategorii B lub 1 można stosować standardowe rozdzielacze z dodatnim przekryciem. U układach kategorii 2 i wyższych rozdzielacze powinny być wyposażone w czujniki potwierdzające pozycję suwaka. W ofercie Parkera są rozdzielacze z potwierdzeniem wybranej pozycji zarówno dwu-, jak i trzyłożeniowe (fot. 2).



Fot. 2

Czujniki monitorują pozostawanie suwaka w pozycji, którą z punktu widzenia układu uznajemy za bezpieczną. Zejście suwaka z tej pozycji sygnalizowane jest w obwodzie bezpieczeństwa, chyba że ze względu na funkcjonalność układu hydraulicznego wymagane jest zastosowanie funkcji mutingu (automatycznego zawieszenia funkcji bezpieczeństwa w określonych warunkach).

Standardowe rozdzielacze wyposażone są w funkcję umożliwiającą ich ręczne przesterowanie. Rozdzielacze stosowane w układach kategorii 3 lub 4 powinny mieć tę funkcję zablokowaną.

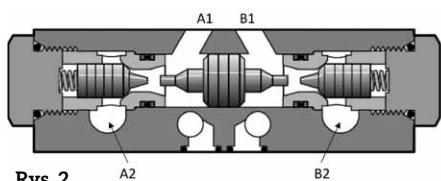
3.3. Zawory zwrotne sterowane

Zawory te chętnie stosowane są od lat w układach hydraulicznych w celu zablokowania położenia tłoka cylindra, ze względu na ich sprawdzoną skuteczność. Są one produkowane w wariantach na różne przepływy, a także w różnych wersjach konstrukcyjnych. Poniżej kilka przykładów z bogatej oferty Parkera.

3.3.1. Podwójny zawór zwrotny sterowany, otwierany mechanicznie

Przekrój przez zawór o budowie warstwowej pokazany jest na rys. 2. Przepływ z gniazda A1 do A2 i z B1 do B2 jest możliwy po pokonaniu oporów sprężyn podpierających grzybki. Przepływ w kierunku z A2 do A1 możliwy jest jedynie w przypadku podania ciśnienia w gniazdo B1, które powoduje przemieszczenie tłoka w lewo, przemieszczenie grzyba i otwarcie linii A.

Skuteczność odcięcia gniazd A2 i B2 jest tak duża, że zawór ten potocznie nazywany jest zamkiem hydraulicznym.



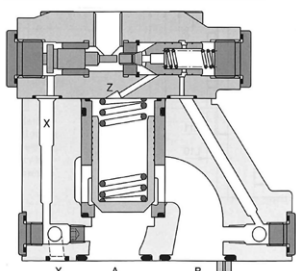
Rys. 2

Jedyną przyczyną utraty funkcji odcięcia mogą być zanieczyszczenia stałe, które dostaną się na przylgnię grzybka, powodując przeciek. Dlatego zachowanie wymaganego poziomu czystości oleju jest jednym z wymagań zapewnienia bezpieczeństwa układu hydraulicznego.

Dla większych przepływów stosowany może być zawór dwustopniowy serii C4V, pokazany na rys. 3. Pierwszy stopień stanowi zawór zwrotny sterowany sygnałem X, który przemieszcza tłoczek. Popychacz tłoczka przemieszcza grzybek pierwszego stopnia, co powoduje połączenie przestrzeni nad grzybkami drugiego stopnia z drenażem i umożliwia przepływ z kierunku B do A.



Rys. 3



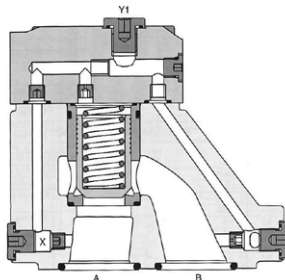
3.3.2. Zawór gniazdowy sterowany sygnałem hydraulicznym

O ile w wyżej opisanych wersjach grzybek otwierany jest mechanicznie popychaczem, w konstrukcji pokazanej na rys. 4 otwierany jest on bezpośrednio sygnałem hydraulicznym. Jest to zawór grzybkowy, gniazdowy przeznaczony do sterowania kierunkiem przepływu (2/2 sterowany sygnałem Y1). Szeroki zakres dostępnych grzybków, sprężyn, dysz i pokryw, obejmujący również zawory logiczne „LUB” oraz rozdzielacze elektromagnetyczne, pozwala na stworzenie zindywidualizowanych rozwiązań układów hydraulicznych dostosowanych do potrzeb użytkownika.

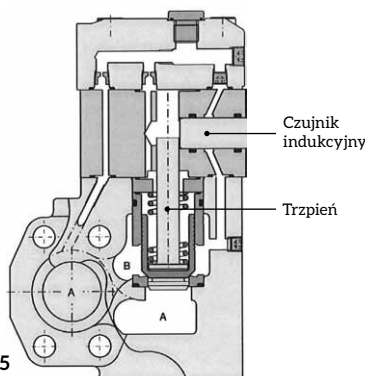
Zawór serii D4S pokazany na rys. 4 jest faktycznie rozdzielaczem odcinającym. Jeśli wyposażymy go w czujnik kontroli położenia grzybka (kontroli zamknięcia), może on stanowić element układu bezpieczeństwa kategorii 3 lub 4.



Rys. 4



Rysunek takiego zaworu w wykonaniu serii D5S pokazany jest na rys. 5. Położenie grzybka monitorowane jest tu za pomocą czujnika indukcyjnego pobudzanego trzpieniem.

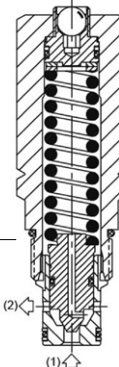


Rys. 5

3.4. Zawory przelewowe

3.4.1. Zawory bezpośredniego działania

Norma PN-EN ISO 13849-2 [7] w zał. C dopuszcza wykluczenie możliwości uszkodzenia zaworów przelewowych bezpośredniego działania, jeśli wykonane zostały one sprawdzonymi metodami. Stąd zawory te często stosowane są w wielu miejscach instalacji hydraulicznej, stanowiąc wyłącznie element układu bezpieczeństwa i nie biorąc udziału w działaniu samego układu. W wielu zastosowaniach użytkownicy wolą umieszczenie tego zaworu nastawionego fabrycznie na bezpieczne ciśnienie, bez możliwości korekty nastawy ciśnienia. Uniemożliwia to ingerencję obsługi w element bezpieczeństwa i w funkcję bezpieczeństwa przy jednoczesnym zachowaniu możliwości korekty nastawy zaworów związanych ze sterowaniem. Przykład takiego zaworu serii A4B2*CE pokazano na rys. 6.



Rys. 6

3.4.2. Zawory dwustopniowe

O ile celem zaworu bezpośredniego działania jest niedopuszczenie do przekroczenia maksymalnej wartości ciśnienia w danym obwodzie, to celem zaworu dwustopniowego jest zapewnienie tego warunku przez umożliwienie przepływu odpowiedniej ilości oleju przy określonym ciśnieniu. Zawory te stosowane są w obwodach o dużych przepływach (z dużymi cylindrami lub akumulatorami). Przykład takiego zaworu oraz wygląd tabliczki znamionowej pokazano na fot. 3.



Fot. 3



Uwidocznione na pokazanej na fotografii tabliczki dane oznaczają w tym konkretnym przykładzie:

- minimalna wielkość otwarcia zaworu 415 mm²;
- maksymalny przepływ 220 l/min;
- nastawione ciśnienie 70 barów;
- skok grzybka 7,3 mm;
- dopuszczalny wzrost spadku ciśnienia dla danego zakresu przepływu 10%.

Użytkownik ma więc w tym przypadku pewność, że jeśli przepływ przez zawór wzrośnie do 220 l/min, spadek ciśnienia na nim nie będzie większy niż 10% więcej od wskazanej nastawy, co jest potwierdzone certyfikatem dostarczonym wraz z zaworem.

3.5. Kontrola zanieczyszczenia oleju

Na pozór norma PN-EN ISO 13849-1 [6] nie zajmuje się czystością oleju, ponieważ dotyczy bezpieczeństwa układów sterowania. Niemniej należy zauważyć, że czystość oleju ma kluczowe znaczenie dla niezawodności większości elementów hydraulicznych, stąd ma bezpośredni wpływ na parametr CCF – potencjalne usterki o wspólnej przyczynie. Dlatego, zwłaszcza w układach kategorii 3 i 4, ta kwestia musi być rozważana. Aby tego dokonać, należy wyposażyć układ w elementy umożliwiające zapewnienie wymaganego poziomu czystości oleju oraz elementy kontrolujące ten stan.

Producenci elementów hydraulicznych podają wymagany poziom czystości oleju zgodny z normą ISO 4406 [8]. Na podstawie wieloletnich doświadczeń producenci filtrów zalecają dokładność wkładów filtracyjnych, które zapewnią zadany poziom czystości. W tabeli 1 pokazano zalecenia firmy Parker Hannifin w tym zakresie dotyczące standardowych mediów roboczych.

Kluczowym zagadnieniem z punktu widzenia bezpieczeństwa jest zachowanie poziomu czystości oleju w trakcie eksploatacji. Wykorzystuje się tu czujniki zanieczyszczeń montowane na filtrach (fot. 4).

Pokazane w tabeli 1 zależności mogą różnić się nieco dla różnych rodzajów mediów roboczych. Dlatego, w przypadku, gdy użytkownikowi zależy na zapewnieniu dużej niezawodności instalacji hydraulicznej, stosuje on ciągły

Tabela 1

Elementy	Wymagany poziom czystości	Dokładność filtracji
	13/11/8	2 μm
Wzmacniacze hydrauliczne	16/14/11	
Zawory i rozdzielacze proporcjonalne	17/15/12	5 μm
Zawory, pompy i silniki tłoczkowe	18/16/13	
Rozdzielacze i zawory ciśnieniowe	18/16/13	
Pompy i silniki zębate	19/17/12	10 μm
Zawory sterujące przepływem	20/18/15	
Cylindry		



Fot. 4

pomiar poziomu czystości, wykorzystując licznik cząstek stałych włączony w układ, który monitoruje w sposób ciągły stan czystości medium. Sygnał wyjściowy z pokazanego na fot. 5 icountPD może być włączony bezpośrednio w układ bezpieczeństwa.



Fot. 5

Oprócz cząstek stałych na niezawodność instalacji hydraulicznej wpływa też woda rozpuszczona w oleju. Dlatego, zwłaszcza w aplikacjach morskich, stosuje się okresową kontrolę zawartości wody w oleju w układach hydraulicznych, ale też w układach smarowania, na przykład z wykorzystaniem przyrządu firmy Parker serii MS150, pokazanego na fot. 6.



Fot. 6

3.6. Kontrola temperatury oleju

Temperatura oleju w instalacji zwykle nie przekracza 60°C, dlatego trudno jest mówić o ryzyku sprężenia. Natomiast podwyższona temperatura oleju, spowodowana na przykład awarią układu chłodzenia, może być przyczyną awarii różnych elementów systemu spowodowanej wspólną przyczyną. Kwestię doboru chłodnic przedstawiono w publikacji [9]. Dlatego tu zajmę się jedynie zagadnieniem sterowania procesem oraz kontrolą stanu tego obwodu.

Niezwykle wygodnymi do monitorowania i sterowania procesami cieplnymi w układach hydraulicznych są przełączniki temperatury (fot. 7), mierzące temperaturę oleju w wybranym miejscu w zbiorniku. Kryteria wyboru tego miejsca opisano w [9].

Przełącznik posiada dwa programowalne wyjścia przełącznikowe oraz wyjście analogowe. Dla każdego z wyjść przełącznikowych można oprogramować histerezę lub okno. Dzięki temu jednym wyjściem można sterować pracą przełącznika sterującego silnikiem chłodnicy wentylatorowej lub cewką zaworu odcinającego czynnik chłodniczy w chłodnicy wodnej. Drugie wyjście może być wykorzystywane do kontroli.



Fot. 7

4. Posumowanie

Bezpieczeństwo powinno być naczelnym celem wszelkich aktywności. Dyrektywy Europejskie, a w szczególności Dyrektywa Maszynowa, stawiają producentom określone wymagania. Niniejsza publikacja stanowi głos w dyskusji na temat wybranych aspektów bezpieczeństwa, mających na celu spełnienie tych wymagań.

To pierwsza część publikacji omawiającej te aspekty w układach hydraulicznych w świetle normy EN ISO 13849-1, w której skoncentrowałem się na elementach hydraulicznych, stanowiących części składowe systemów bezpieczeństwa. W części drugiej zajmę się wybranymi przykładami samych systemów.

Literatura

- [1] Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 9.6.2006.
- [2] Dyrektywa 2014/68/UE w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku urządzeń ciśnieniowych, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 27.6.2014.
- [3] Norma EN-EN ISO 12100:2012 Bezpieczeństwo maszyn. Ogólne zasady projektowania. Ocena ryzyka i zmniejszenie ryzyka.
- [4] Norma PN-EN ISO 4413:2011 Napędy i sterowania hydrauliczne. Ogólne zasady i wymagania bezpieczeństwa dotyczące układów i ich elementów.
- [5] Norma PN- EN 60204-1:2010 Bezpieczeństwo maszyn. Wyposażenie elektryczne maszyn. Część: 1 Wymagania ogólne.
- [6] Norma PN-EN ISO 13419-1:2015 Bezpieczeństwo maszyn. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część: 1 Ogólne zasady projektowania.
- [7] PN-EN ISO 13849-2:2012 Bezpieczeństwo maszyn. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część: 2 Walidacja.
- [8] International Standard ISO 4406 Second edition 1999-12-01 Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solids particles.
- [9] OLEKSIUK M.: *Przegrzewanie się instalacji hydraulicznej*. „Utrzymanie Ruchu” 3/2016.
- [10] Katalogi Parker Hannifin.

 mgr inż. Maciej Oleksiuk – Specjalista Techniczny – Parker Hannifin



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