



Precyzyjna i pozbawiona nagłych zmian ciśnienia regulacja instalacji pompowych za pomocą napędów o zmiennej prędkości obrotowej

Ottmar Kögel, Altdorf *)

Niezależnie od tego, czy mamy do czynienia z uzdatnianiem wody, oczyszczaniem ścieków, odzyskiwaniem wody, czy po prostu z jej dystrybucją, wszędzie procesy w coraz większym stopniu są automatyzowane.

Na przykład w przepompowniach opisanych w artykule nowoczesne pompy współpracujące z przepustnicami, zaworami kulowymi i innymi rodzajami armatury zapewniają niezawodny, stabilny przepływ wody. Optymalizacja tego rodzaju systemu pod kątem wykluczenia nagłych zmian ciśnienia możliwa jest dzięki napędom o zmiennej prędkości obrotowej takich jak SIPOS 5.

Niektóre zastrzone wymagania dotyczą również napędów pracujących w instalacjach gospodarki wodnej:

- Na pierwszym miejscu, również z tego powodu, że wada ta od razu staje się widoczna, lokuje się tutaj odporność na korozję. Jeżeli napęd rdzewieje, nie można liczyć na jego nienaganne działanie.
- Często muszą sprostać ekstremalnym warunkom pogodowym.
- Instalacje wodociągowe pracują często w warunkach zatopienia. Wobec czego nierzadko wymagany jest stopień ochrony IP 68.
- I co nie mniej ważne, armatura wodociągowa jest coraz większa, co wymaga coraz większe wartości momentu obrotowego dostarczanego przez napędy.

Wszystkie te warunki spełniają przedstawione w artykule napędy produkowane przez firmę **SIPOS Aktorik**.

Kolejną ważną cechą wymaganą dla pracy w systemach wodociągowych jest unikanie nagłych zmian ciśnienia, które mogą stanowić poważne zagrożenie dla

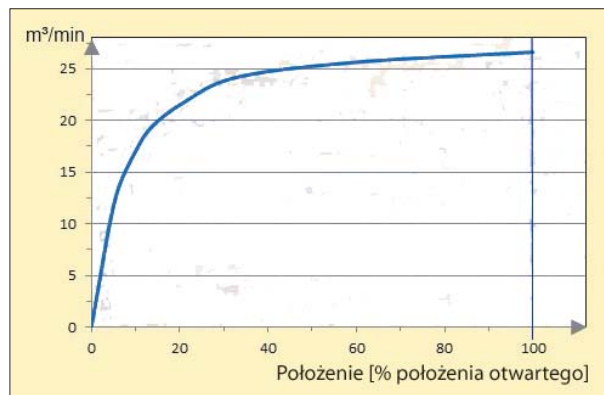
instalacji i rurociągów. Dzięki zasadniczej funkcji, jaką jest zmienna prędkość obrotowa, oraz funkcjom zapisanym w oprogramowaniu firmowym napędu SIPOS 5 z powodzeniem wykluczają lub przynajmniej tłumią tego rodzaju uderzenia hydrauliczne, inteligentnie sterując pompami i zaworami wyrównawczymi.

Funkcja zależności czasu przesterowania od położenia

Swobodny wybór prędkości obrotowej jest podstawą technologii SIPOS. Osiągnięto to dzięki zintegrowanej przetwornicy częstotliwości. Inteligentne oprogramowanie napędu steruje nie tylko silnikiem, lecz udostępnia między innymi funkcję zależności położenia od czasu przesterowania armatury.

Dobór armatury odbywa się zazwyczaj na podstawie czasu przesterowania. Armatura powinna w określonym czasie otwierać lub zamykać, jest to zasadnicza wielkość, według której ustala się prędkość obrotową. Jeżeli jednak napęd pracuje wyłącznie z prędkością obrotową określoną na podstawie całkowitego czasu, w większości rodzajów armatury (przepustnice, zawory kulowe) stosowanych w instalacjach wodociągowych już po kilkuprocentowym otwarciu przepływ osiąga wartość 50%, a w okolicach jednej trzeciej praktycznie 100%.

Ilustracja 1. Charakterystyka przepływu typowego zaworu kulowego. Po przekroczeniu 6% przepływu wynosi już 50%



Połowa czasu przesterowania równa się połowie natężenia przepływu – uzyskanie liniowości charakterystyki zaworu

Trudno sprostać temu wymogowi, opierając się tylko na prędkości obrotowej. Dobór odbywa się zazwyczaj na podstawie charakterystyki armatury udostępnionej przez producenta, która przedstawia natężenie przepływu medium w funkcji położenia zaworu (w odniesieniu do innych parametrów jak na przykład gradient ciśnienia). Zależność przepływu od położenia armatury zazwyczaj jest w dużym stopniu nieliniowa. Na *ilustr. 1* przedstawiono charakterystykę przepływu zaworu kulowego zastosowanego w przedstawionym poniżej projekcie „KIVA”. Zawory kulowe cechują się prostą budową i zapewniają dużą przepustowość. Ponadto różnica ciśnień w otwartym zaworze kulowym jest bardzo mała – co jest niezwykle pożądaną właściwością w zastosowaniach wodociągowych. Charakterystyka regulacji armatury tego rodzaju – opisana pokrótce już wcześniej – jest bardzo niekorzystna.

Specjaliści dokonujący doboru armatury zazwyczaj kompensują znacznie zniekształconą charakterystykę w kilku krokach. W efekcie uzyskuje się krzywą przemieszczenia dla napędu zapewniającą liniowość przepływu medium w funkcji czasu, która przybiera postać zależności wartości procentowej otwarcia armatury od czasu przesterowania.

Już samo przyporządkowanie punktu „50% przepływu” do połowy czasu przesterowania (dla zaworu kulowego pokazanego na *ilustr. 1* byłoby to 13,8 m³/h przy otwarciu 6,2%) w przybliżeniu charakterystykę uczyniłoby linearną. Pomocna w parametryzacji funkcja uzależnienia położenia od czasu przesterowania, którą dysponuje napęd SIPOS 5, umożliwia wyznaczenie kolejnych punktów.

Za pomocą maksymalnie dziesięciu par wartości (położenie; czas przesterowania) można bezpośrednio ustawić czasy przesterowania wymagane w procesie. Podczas pierwszej nastawy opartej na charakterystyce producenta zaleca



się skorzystanie z oprogramowania parametryzującego napęd COM-SIPOS. Aplikacja wyświetla mianowicie zsumowany czas przesterowania wprowadzonych par wartości. Jest to bardzo ważna wskazówka, która osobie dokonującej uruchomienia umożliwi wyobrażenie sobie krzywej mającej skompensować nieliniowość armatury.

Można zdefiniować osobne krzywe nastawy dla otwierania i zamykania armatury. COM-SIPOS przedstawia wprowadzone dane w sposób graficzny (ilustr. 2), co pozwala na łatwą kontrolę poprawności surowych liczb. Sparametryzowana krzywa o „wannowym” kształcie kompensuje przedstawioną wyżej charakterystykę zaworu kulowego. W przypadku otwierania zaworu w normalnych, niekrytycznych warunkach wyjście z położenia zamkniętego odbywa się nieco szybciej. Na ilustr. 3 widoczna jest zlinearyzowana krzywa zaworu kulowego z ilustr. 1, projekt KIVA (patrz również poniżej). Rezultatem jest bardzo praktyczna z punktu widzenia użytkownika liniowa zależność czasu przesterowania i natężenia przepływu.

Zastosowanie/problematyka

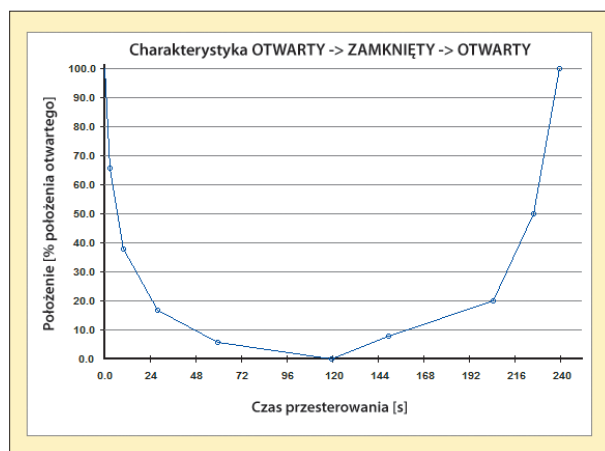
Firma **Pipestone Equipment** jest dostawcą komponentów dla przepompowni pracujących w systemach komunalnych oraz przemysłowych. Firma z Kolorado (USA) wykonuje analizy hydrauliczne, zapewnia także rozwiązania inżynierskie dla instalacji i bezpośrednio współpracującej armatury regulacyjnej, pozostałej armatury (odcinającej), zaworów powietrznych lub zbiorników wyrównawczych ciśnienia. Ważną cechą takich stacji pompowych jak KIVA w Albuquerque (Nowy Meksyk) (ilustr. 4) lub stacja wody użytkowej North Water w Erie (Kolorado) jest ograniczenie gwałtownych zmian ciśnienia i uderzeń hydraulicznych.

Unikanie uderzeń hydraulicznych

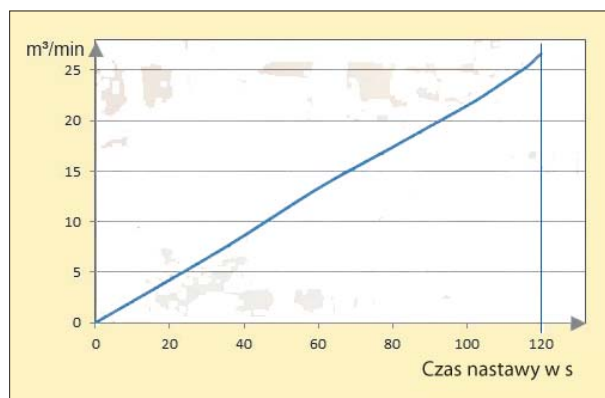
Uderzenia hydrauliczne powstają zazwyczaj wtedy, gdy zawory zbyt szybko się otwierają i równocześnie występuje nadmierna różnica ciśnień przed i za zaworem. Znanym zjawiskiem są także skoki ciśnienia powodowane przez równoczesne zamykanie wielu zaworów w zamkniętych systemach. Przepływające medium nagle się zatrzymuje, a jego energia kinetyczna przekształca się w energię ciśnienia.

Kolejną przyczyną może być zbyt szybki rozruch pompy o dużej mocy. Te podciśnienia i nadciśnienia zwane również uderzeniami hydraulicznymi można tłumić za pomocą opisanej kombinacji pompy, której rozruch jest ewentualnie dodatkowo regulowany, oraz zaworu kulowego z napędem o zmien-

Ilustracja 2. Przykład funkcji „położenie – czas przesterowania” dla napędu SIPOS 5. Poddana parametryzacji krzywa o kształcie „wannowym” kompensuje omawianą w tekście charakterystykę zaworu kulowego. Szybkie przemieszczenie w obszarze otwierania, od mniej więcej połowy czasu zamykania znacznie zredukowana prędkość obrotowa.



Ilustracja 3. Charakterystyka zaworu kulowego zlinearyzowana przez SIPOS 5



nej prędkości obrotowej. Kompensację zapewniają również zawory przelewowe/nadciśnieniowe i odpowiednie zbiorniki buforowe lub powietrzniki.

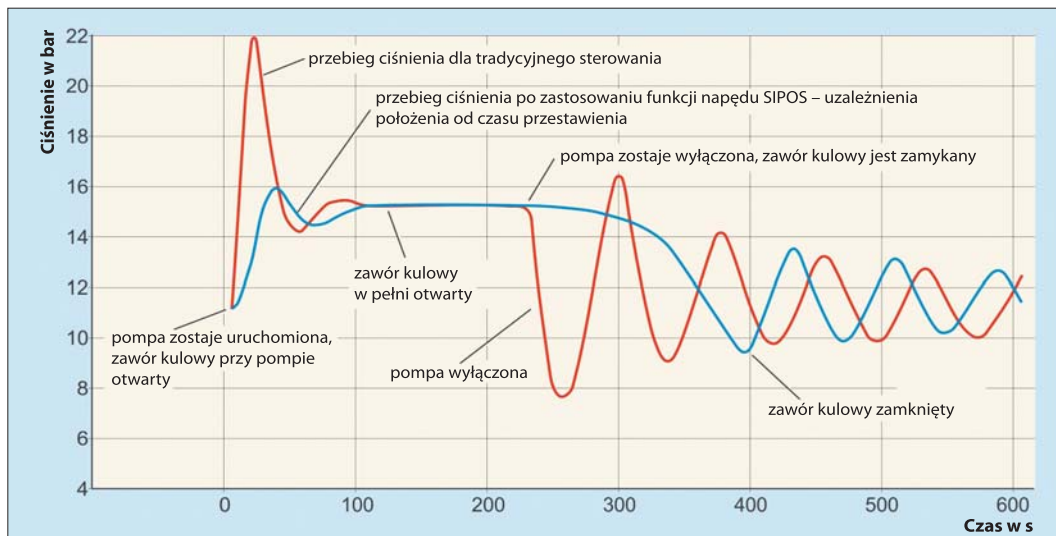
Bardzo poważne są następstwa awarii pompy, na przykład skutek zaniku zasilania. Tego zagadnienia dotyczą wskazówki o bezprzerwowym zasilaniu zamieszczone poniżej.

Również pęknięcia rurociągów mogą wywoływać uderzenia ciśnienia powodujące uszkodzenia w całym systemie.

W przypadku gazów i pary nagłe skoki ciśnienia są częściowo absorbowane dzięki ściśliwości medium. Uderzenia hydrauliczne dotyczą, jak sama nazwa wskazuje, raczej medium w stanie płynnym, gdzie fala ciśnienia lub podciśnienia rozprzestrzenia



Ilustracja 4. Przepompownia pomp KIVA w gminie Albuquerque. Widoczne są napędy SIPOS 5 służące do sterowania zaworami kulowymi 16". Dzięki liniowej kontroli przepływu napędy gwarantują niezakłóconą eksploatację pomp.



Ilustracja 5. Typowy przebieg ciśnienia zmierzony w pompie lub za armaturą pompy (zawór kulowy) rejestrowany podczas rozruchu lub wyłączania stacji pomp. Niebieska krzywa wyraźnie pokazuje tłumienie uderzeń ciśnienia po zastosowaniu funkcji napędu SIPOS 5 – uzależnienia położenia od czasu przestawienia

się w systemie rurociągowym z typową prędkością. Wynika ona z prędkości dźwięku w przepływającym medium oraz właściwości rurociągu, dla wody transportowanej w rurociągu ze staliwa ciągłego wynosi około 1000 m/s. Tego rodzaju skoki ciśnienia występujące w systemie rurociągowym mogą poważnie uszkodzić pompy, rurociągi (ścianki rury, kołnierze) i armaturę.

Firmy takie jak Pipestone Equipment codziennie konfrontowane są z problemem gwałtownych zmian ciśnienia i związanych z nimi uderzeń hydraulicznych. Szczegółowe badania, w jaki sposób zachowuje się system składający się z pomp, zaworów (odcinających) i rurociągów, współpracujący z wodą, tworzą podstawowe kompetencje firmy. Punktem wyjściowym do wszelkich rozważań są często pomiary i symulacje, takie jak przedstawiony na czerwono przebieg ciśnienia (ilustr. 5).

Skoki zmierzone za zaworem kulowym pompy wskazują na wyraźne uderzenia ciśnienia. Inteligentna regulacja armatury pomp pozwala wykluczyć mechanicz-

no-hydrauliczne środki łagodzenia fal ciśnienia lub ograniczyć ich zakres. Niebieska krzywa wskazuje znacznie łagodniejsze zmiany ciśnienia, które towarzyszą zastosowaniu funkcji zależności czasu przestawienia zaworu od położenia, dostępnej w napędzie SIPOS 5.

„KIVA Pump Station” (Albuquerque)

Przepompownia KIVA (zob. ilustr. 4) została przyłączona do systemu wodociągowego miasta Albuquerque (Nowy Meksyk). Ze względu na rosnące zapotrzebowanie konieczne było znaczne zwiększenie jej wydajności. Przedstawione na ilustracji jednostki składające się z zaworu kulowego i napędu powinny skutecznie tłumić uderzenia hydrauliczne towarzyszące uruchomieniu i wyłączeniu pomp. Liniowe sterowanie przepływem wody zapewnia opisana powyżej funkcja napędu SIPOS 5 – uzależnienie czasu przestawienia armatury od jej położenia.

Na ilustr. 3 widoczny jest niemal liniowy wzrost natężenia przepływu

(m³/h) w zakresie czasu przesterowania (0...120 s). Uzyskano to w wyniku kompensacji krzywej zaworu przedstawionej na ilustr. 1 za pomocą zapisanej w napędzie krzywej położenie–czas przesterowania z ilustr. 2.

Sytuacja krytyczna – zanik zasilania

Ekstremalną sytuacją dla całego systemu składającego się z rurociągów, pomp i armatury jest nagła przerwa w dopływie prądu. Pompa charakteryzująca się małym momentem bezwładności zatrzymuje się gwałtownie ze skutkiem podobnym do nagłego zamknięcia zasuw. Ze względu na dużą bezwładność słup cieczy odrywa się na wyjściu pompy, tworząc przestrzeń wypełnioną parą wodną i wygazowanym z wody powietrzem. Podczas następującego powrotu i uderzenia masy wody wytwarza się wysokie ciśnienie (kawitacja). Spadek ciśnienia powoduje także uderzenia w instalacji. Jeżeli spada ono gwałtownie do zera, jak w opisanej sytuacji, uderzenia są niezwykle silne i stanowią jeszcze większe zagrożenie dla systemu.

Zbiorniki ciśnieniowe z poduszkami powietrznymi o powierzchni od kilku do kilkuset metrów sześciennych są powszechnie stosowanym środkiem przejmowania niszycielskiej kawitacji. Jeżeli dodatkowo zawory kulowe i przepustnice zostaną mimo zaniku zasilania zamknięte szybko i zgodnie ze zdefiniowaną krzywą, siły działające na ścianki rur można będzie zneutralizować za pomocą mniej rozbudowanych środków.

Dlatego też w przepompowniach KIVA oraz North Water, podobnie jak w wielu innych instalacjach, napędy SIPOS 5 mają zabezpieczenie w postaci zasilania bezprzerwowego, które w razie przerwy w dostawie prądu pozwala na awaryjne przestawienie.



Ilustracja 6. Projekt odzyskiwania wody North Water w gminie Erie jest jedną z najnowszych instalacji, które świadczą o profesjonalnej realizacji projektu przez firmę Pipestone Equipment – również w zakresie inteligentnego zastosowania napędów SIPOS

Stacja wody użytkowej „North Water”

Bezpośrednie wykorzystanie ścieków oczyszczonych jest dziś tematem „na czasie”. W ten sposób można efektywnie wykorzystywać cenne zasoby wody. Ma to przede wszystkim znaczenie w bardzo suchym klimacie, z którym mamy do czynienia w Kolorado (USA). Powszechną praktyką jest tutaj stosowanie wody użytkowej do nawadniania, aby zaoszczędzić ceną wodę pitną dla gospodarstw domowych.

Miasto Erie w Kolorado zainstalowało nową przepompownię (*ilustr. 6*), która ma napełniać zbiornik North Water uzdatnioną wodą. Firma Pipestone Equipment oprócz pomp dostarczyła armaturę regulacyjną i odcinającą wyposażoną w napędy SIPOS 5.

Dla instalacji North Water z technicznego punktu widzenia istotna jest kombinacja zaawansowanego sterowania pompami z zaworami regulacyjnymi, co pozwala zapobiegać zmianom warunków hydraulicznych i wykluczać uderzenia ciśnienia.

Podobnie jak w wypadku przepompowni KIVA również tutaj wykorzystano

zaimplementowaną w napędach SIPOS 5 funkcję zależności położenia od czasu nastawy w celu linearyzacji charakterystyki zaworu. Bezprzerwowe zasilanie gwarantuje kontrolowane zamknięcie armatury w razie awarii zasilania.

Zoptymalizowana koncepcja instalacji

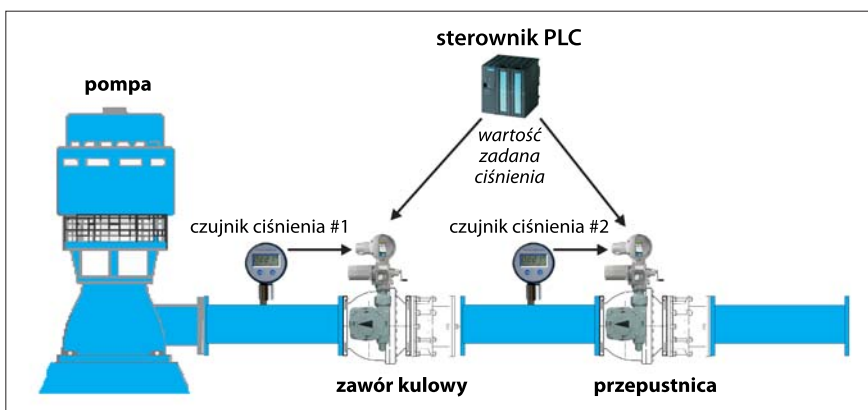
Firma Pipestone Equipment, zachęcona sukcesem odniesionym w przepompowniach, przygotowuje w ścisłej współpracy z SIPOS Aktorik koncepcję instalacji o wyższym stopniu optymalizacji.

Podstawą dotychczasowych dobrze rokujących rozwiązań jest wyłącznie optymalna regulacja zaworu kulowego współpracującego z pompą, natomiast poszerzona koncepcja przewiduje jednostkę składającą się z pompy o regulowanej prędkości obrotowej z (regulacyjnym) zaworem kulowym i dołączoną przepustnicą oraz z dwóch napędów SIPOS 5. Napędy te będą teraz udostępniać dwie funkcjonalności: zintegrowanego regulatora procesu oraz krzywej „położenie – czas przestawienia”, które będą przywoływane w zależności od wy-

mogów procesu. Kontrolę nad całym procesem będzie sprawować programowalny sterownik PLC (*ilustr. 7*).

Uruchomienie pompy, regulacja przepływu oraz zamknięcie i wyłączenie instalacji w sytuacji niezakłóconego działania przebiega w następujący sposób:

- Pompa odbiera sygnał uruchomienia.
- Pompa zaczyna działać i w krótkim czasie wytwarza ciśnienie około 10 bar. W tej fazie zwanej „dead head” przepływ medium jest chwilowo wstrzymywany do momentu, aż zawory otworzą się (podobnie do przebiegu ciśnienia przedstawionego po lewej stronie wykresu na *ilustr. 5*).
- Sterowniki PLC przekazują do napędów SIPOS wartości zadane ciśnienia, według których ma być prowadzona regulacja w systemie. W tym celu napędy wykorzystują bezpośrednio sygnały pomiarowych przetworników ciśnienia i zintegrowanego z napędem regulatora procesu.
- Równocześnie otwiera się najpierw zawór kulowy, aby zmniejszyć ciśnienie napływu (czujnik ciśnienia #1) zgodnie z wartością zadaną.



Ilustracja 7. Zasada budowy centralnej jednostki przepompowni wykorzystującej dwustopniową regulację ciśnienia (natężenia przepływu). Napędy SIPOS 5 wykorzystują zintegrowany sterownik procesowy oraz przedstawioną funkcję uzależnienia położenia od czasu przestawienia

- Niezwłocznie po otwarciu zaworu kulowego otwiera się również przepustnica tak, aby ciśnienie w punkcie pomiarowym #2 wynosiło około 2,7 bar.
- Oba napędy kontynuują otwieranie armatury i regulują ciśnienie zgodnie z wartościami zadanymi.

W sposób następujący przepompownia jest bezpiecznie zamykana:

- Pompa odbiera sygnał zatrzymania pracy, sterownik wycofuje również wartości zadane ciśnienia z napędów SIPOS, wyłącza tryb regulacji procesu i inicjuje funkcję „położenie–czas przestawienia” oraz wysła komendę zamknięcia do napędów na zaworze kulowym i przepustnicy.
- Napęd na zaworze kulowym zamyka zgodnie z zapisaną w jego oprogramowaniu firmowym krzywą „położenie – czas przestawienia” dla zamykania (patrz ilustr. 2, lewa część wykresu).
- Przepustnica jest również zamykana według zdefiniowanej krzywej „położenie – czas przestawienia”, jednak trwa to znacznie dłużej. W tym wypadku wystarczy prosty wariant z identyczną krzywą dla otwierania i zamykania.
- Gdy zawór kulowy zostanie całkowicie zamknięty, napęd przekazuje o tym informację, a sterownik niezwłocznie zamyka pompę.
- Następnie zamyka się również przepustnica i informuje o tym stanie sterownik PLC.

Dzięki układowi bezprzerwowego zasilania w razie „typowego” zakłócenia (zanik napięcia zasilającego, nadmierna temperatura silnika pompy itp.) oba napędy otrzymują ze sterownika sygnał awaryjny i oba zawory są zamykane z awaryjną prędkością obrotową również zgodnie z zaprogramowaną krzywą.

Jeżeli dojdzie do nagłego zaniku zasilania, napędy zabezpieczane są przez układ bezprzerwowego zasilania. Zgodnie z powyższym opisem następuje szybkie zamknięcie armatury, jednak bez wyrzą-

dzenia szkody całemu systemowi. Dla przedstawionej zoptymalizowanej koncepcji instalacji użycie układu bezprzerwowego zasilania jest bardzo wskazane.

Inne zalety napędu SIPOS 5

Praktycznie swobodny wybór prędkości obrotowej uzyskany dzięki technologii przetwornicy częstotliwości jest podstawą przedstawionej powyżej funkcji uzależnienia czasu przesterowania od położenia. Jednak zmienna prędkość obrotowa w zastosowaniach wodociagowych przysparza jeszcze innych korzyści:

- Rozruch – powoli, ale z dużą siłą i niezawodnie: wyjście z położenia krańcowego z ograniczoną prędkością obrotową jest niezbędne dla pozabawionego turbulencji wyrównania ciśnienia. Sterowanie przetwornicą częstotliwości gwarantuje uruchomienie napędu SIPOS 5 z dużym momentem rozruchowym również przy małej prędkości obrotowej.
- Pokonanie tarcia statycznego ze zwiększonym momentem obrotowym: podobnie do „silnego rozruchu” rezerwa mocy może zostać wykorzystana w celu pokonania tarcia statycznego.
- Łagodne dochodzenie do położen krańcowych: dla zakresu nastawy można wybrać różne prędkości obrotowe w obrębie danego zakresu prędkości, natomiast w pobliżu położen krańcowych napęd zmniejsza prędkość do stałej niskiej wartości (ochrona armatury).
- Kompensacja wahań napięcia sieciowego: tolerowanie zmian napięcia w sieci jest szczególnie istotne dla zastosowań opisanych w artykule. Włączanie i wyłączanie większych odbiorników, jakimi są choćby pompy, powoduje wzrosty i spadki napięcia sieciowego. Układ elektroniczny napędu SIPOS 5 toleruje wzrost sięgający +20% zadanego zakresu. Krótkotrwale dopuszczalne są również

obniżenie napięcia do -30%. Moment obrotowy na wałku napędowym zachowuje wtedy stałą wartość.

- Szybkie wyjście z położen krańcowych: zwłaszcza w przypadku przepustnic w chwili otwarcia powstają bardzo duże prędkości przepływu, które na dłuższą metę powodują uszkodzenie materiału. Ponieważ właściwie brak jest przepływu medium, zakres ten – w zależności od konstrukcji od 10 do 15% - można szybko pokonać. SIPOS 5 umożliwia parametryzację dodatkowej funkcji „szybkie wyjście z położen krańcowych”. W kolejnym zakresie o większym znaczeniu hydraulicznym do przykładowo 30% przestawienie jest wolniejsze. Otwarcie do 100% może nastąpić ponownie z dużą prędkością.

Istotny udział inżynierii

Przedstawione zagadnienie redukcji uderzeń fali ciśnienia uświadamia, że udział inżynierii w tego rodzaju projektach nie jest bez znaczenia, a w przyszłości będzie się jeszcze powiększał. Tendencji tej odpowiada wykorzystanie narzędzi doboru o funkcjonalności precyzyjnie dobranej do danego zastosowania i oferujących większą wygodę obsługi.

Co do napędu i jego bezpośredniego otoczenia, SIPOS oferując funkcję uzależnienia położenia od czasu przestawienia, umożliwia opracowanie rozwiązań dla danej branży, które opierałyby się na standardach przemysłowych i zachowałyby przejrzystość pod względem doboru środków. Dzięki temu klient ma pewność, że w dowolnym momencie może dostosować i rozbudować swoją aplikację, ponosząc rozsądne koszty.

Podziękowanie

Autor dziękuje za wsparcie Panu *Steffenowi Köhlerowi*, menedżerowi ds. sprzedaży międzynarodowej w firmie SIPOS Aktorik.

Dziękujemy firmie **AUMA Polska Sp. z o.o.**, Sosnowiec, za pomoc w przygotowaniu artykułu.



*) *O. Kögel* jest odpowiedzialny za zarządzanie produktem i dokumentację w firmie SIPOS Aktorik GmbH w Altdorf (Niemcy, grupa AUMA).

Tłumaczenie artykułu z „Industriearmaturen”, z. 1/2013, ss. 47–53.

