

## STRESZCZENIE

Automatyzacja procesów metalurgicznych pozwala na zapewnienie bezobsługowej pracy poszczególnych węzłów technologicznych, zwłaszcza kiedy te procesy są szczególnie uciążliwe dla załogi i środowiska. Proces technologiczny napełnienia zbiorników transportowych kwasem siarkowym (VI) wymaga pełnej kontroli nad dostarczaniem strumieniem płynu, co jest możliwe do zrealizowania poprzez zastosowanie programowalnych aktuatorów do kulowych zaworów sterujących. Ze względu na niekorzystną charakterystykę przepływową zaworów występują znaczne problemy związane z regulacją przy początkowych stopniach otwarcia. Wprowadzone obecnie na rynek aktulatory zmiennoprędkościowe pozwalają na możliwość dowolnego kształtowania charakterystyki elementu nastawczego w sposób ściśle zamierzony, programowalny, a więc dający możliwość ukształtowania wybranego parametru według wcześniej zdefiniowanego kryterium.

Celem pracy była poprawa funkcjonowania instalacji transportu kwasu siarkowego (VI) poprzez zastosowanie nowoczesnych programowalnych aktuatorów pozwalających uzyskać stabilny przepływ cieczy i uniknąć wtórnych zjawisk przepływowych oraz opracowanie i weryfikacja modelu matematycznego na podstawie zebranych informacji o parametrach przepływowych płynu.

Na początku pracy opisano technologię produkcji huty cynku „Miasteczko Śląskie” ze szczególnym uwzględnieniem Fabryki Kwasu Siarkowego (VI). Produkcja realizowana jest w ramach jednej instalacji pn. „Instalacja do produkcji metali nieżelaznych z rud metali, koncentratów lub produktów z odzysku, w wyniku procesów metalurgicznych i chemicznych” obejmującej następujące elementy składowe: Spiekalnię z Fabryką Kwasu Siarkowego i Instalacją Odsiarczania Gazów Prażalniczych oraz Piec Szybowy z Rektyfikacją Cynku i Rafinerią Ołowiu.

W następnym rozdziale zamieszczono wybrane zagadnienia matematycznego opisu ruchu płynu, które posłużyły do opisu modelu przepływowego badanego układu. Przedstawiono własności płynu, które reprezentują gęstość i temperatura oraz własności danego przepływu (pola prędkości i ciśnienia), w zależności od współrzędnych przestrzennych i czasu, których oczekuje się w rozwiązaniach modelowania z zakresu mechaniki płynów.

Przedstawiono informacje o rozwoju aktuatorów z napędem elektrycznym, które służą do sterowania armaturą w różnych procesach metalurgicznych. W porównaniu z aktuatorami z

napędem pneumatycznym posiadają one zalety takie, jak: trwałość, niezawodność, dokładność, odporność na wilgoć i pył, brak zakłóceń w niskich temperaturach, powtarzalność oraz brak elementów pośredniczących. Analiza dostępnych danych wykazała, że akтуatory z napędem elektrycznym są z powodzeniem stosowane w procesach przemysłu metalurgicznego.

Obecnie dużym zainteresowaniem, zarówno w energetyce konwencjonalnej, jak i jądrowej, a także w przemyśle metalurgicznym cieszą się wprowadzane na rynek akтуatory elektryczne o zmiennej prędkości działania.

Do podstawowych wielkości podlegających sterowaniu i regulacji w technologiach przemysłowych należą m.in. strumienie płynów. Do ich sterowania stosuje się różnego rodzaju elementy nastawcze: zawory z grzybkim płaskim, zawory kulowe, zasuwki i przepustnice. Automatyczna regulacja obiektów przepływowych powinna charakteryzować się dobrą jakością dynamiczną, która znacząco zależy od regulacyjnej charakterystyki przepływowej danego elementu nastawczego. Kolejny rozdział poświęcono zatem kształtowaniu regulacyjnych charakterystyk przepływowych oraz opisowi metod mechanicznej i cyfrowej linearyzacji charakterystyki przepływowej.

Badania eksperymentalne przeprowadzone były na stacji napełniania cystern kolejowych kwasem siarkowym (VI) w Hucie Cynku „Miasteczko Śląskie”. Badania wykonano przy wykorzystaniu akтуatora stałoprędkościowego Auma SGR 07.1 i zmiennoprędkościowego Sipos 7. Eksperymenty przeprowadzono w pięciu seriach. Trzy pierwsze serie dotyczyły pracy akтуatora stałoprędkościowego, a czwarta i piąta wykonane były po zamianie akтуatora na zmiennoprędkościowy. Mierzone parametry: czas, stopień otwarcia zaworu i przepływ kwasu siarkowego (VI) rejestrowane były przy użyciu komputera osobistego. Eksperymenty zaplanowano w procedurze płynnego przejścia, z okresowym zatrzymaniem oraz ze zmianą prędkości otwierania zaworu. Podczas badań sprawdzano również wpływ parametru „damp” przepływomierza, który jest definiowany, jako tłumienie pomiarów. Analizując wyniki poszczególnych serii eksperymentów zaobserwowano nietypowy kształt charakterystyk strumienia masy kwasu siarkowego (VI) w funkcji stopnia otwarcia zaworu (zbyt szeroka histereza), który znacznie odbiegał od kształtów typowych charakterystyk przepływowych podawanych w normach i literaturze (*PN-EN 60534-2-3, Tomeczek i inni 2007, Wiśniowicz 2004*). Przedstawiony zbiór charakterystyk świadczy o nieodpowiednim dopasowaniu prędkości działania akтуatora i dynamiki układu przetwarzającego strumień masowy. Z analizy sporządzonych wykresów wynika, że w podczas otwierania zaworu przepływ następuje

dopiero od stopnia otwarcia równego ok. 15°, jednakże fakt ten nie potwierdza się w przebiegu zamykania. Można zauważyć, że po przekroczeniu kąta martwego 11° podczas zamykania zaworu nadal rejestrowany jest przepływ, który fizycznie już nie istnieje, gdyż zawór jest zamknięty. Ta sytuacja wyraźnie wskazuje na to, jak znaczący wpływ ma bezwładność układu pomiarowego na otrzymywane informacje i proces prowadzenia właściwego sterowania w celu zapewnienia prawidłowej regulacji parametru przepływowego. Ze względu na brak możliwości szerszej ingerencji w instalację (montaż dodatkowych przyrządów pomiarowych) na stacji napełniania cyster kolejowych w HC „Miasteczko Śląskie”, postanowiono przeprowadzić badania modelowe na specjalistycznym stanowisku do badań przepływowych w Katedrze Informatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej zgodnie z procedurą badawczą IEC – 534/ISA S75 (PN-EN 1267). Stanowisko to spełnia warunki normy PN-EN 60534-2-3 do określania podstawowych charakterystyk przepływowych zaworów regulacyjnych.

Badania dynamiki charakterystyki przepływowej dla modelowego zaworu kulowego na stanowisku laboratoryjnym opisano w kolejnym rozdziale. W części teoretycznej przedstawiono: charakterystyki elementów nastawczych, rodzaje charakterystyk przepływowych oraz teorię podobieństwa mechanicznego (metodyka przeprowadzenia badań do wyznaczenia współczynnika przepływu według PN-EN 60534-2-3). W części eksperymentalnej opisano stanowisko do badań przepływowych oraz wyniki badań modelowych na tym stanowisku. W przeprowadzonych badaniach, wg wytypowanych procedur, wyznaczono wpływ prędkości napędu na rozważaną charakterystykę. Stwierdzono, że zastosowanie napędu „wolniejszego”, czyli o dłuższym czasie przejścia, zawęży charakterystykę w sensie zmniejszenia różnicy wskazań przepływu pomiędzy przebiegiem otwierania i zamykania zaworu. Dodatkowo wprowadzenie chwilowych zatrzymań napędu znacząco przybliży wskazania przepływu, aż do ich wyrównania dla przebiegu otwierania i zamykania (na co pozwala aktuator zmiennoprędkościowy). W ustalonej procedurze badawczej dynamicznej charakterystyki pomiaru przepływu, sprawdzono wpływ dynamiki przetwornika pomiarowego w przepływomierzu na przebieg tej charakterystyki. Wykazano, że im szybszy w działaniu jest przetwornik, tym bardziej przebiegi rejestracji strumienia dla otwarcia i zamknięcia zaworu zbliżają się do siebie.

Przedstawiono sposób aproksymacji uzyskiwanych charakterystyk oraz zasadę ich wykorzystania w procesach regulacyjnych. Przeprowadzone badania wyraźnie wskazują na to, jak istotne jest właściwe zestrojenie układu pomiarowego i sterującego ze względu

na charakterystyki przepływowe, co ma zasadniczy wpływ na proces regulacji przepływowego systemu technologicznego.

W przypadku realizowanego tematu badawczego istotne znaczenie miało wyznaczenie pola powierzchni przepływu dla różnych położeń zaworu kulowego przy formułowaniu jego charakterystyki przepływowej. W rozdziale ósmym wyprowadzono zależność na zredukowane pole powierzchni przepływu zaworu kulowego w funkcji jego kąta otwarcia.

Dziewiąty rozdział przedstawia model przepływowy badanego układu. Zawarto w nim: model układu, podstawową charakterystykę przepływową elementu nastawczego, przepływową charakterystykę roboczą elementu nastawczego i wyniki modelowania. W wyniku modelowania przepływu w instalacji kwasu siarkowego zaprezentowano charakterystykę o pożądanym kształcie, jaki powinien być uzyskiwany z układu pomiarowego, gdyby nie był on obciążony bezwładnością. Przedstawiono także a w dalszej kolejności linię energii i wysokość ciśnienia dla stopnia otwarcia zaworu regulacyjnego 49% wynikające z charakterystyki modelowej.

Wyniki analizy poświęconej bezpieczeństwu w systemie zarządzania stacji napełniania cystem kolejowych Huty Cynku „Miasteczko Śląskie”, ocenie ryzyka zawodowego i poprawie bezpieczeństwa pracy po zastosowaniu akuatora zmiennoprędkościowego potwierdzają zasadność wdrożenia nowego rozwiązania w aspekcie poprawy bezpieczeństwa pracy (rozdział 10).