

Janusz PIOTROWSKI
Politechnika Śląska
Instytut Automatyki

POMIARY PRZEPŁYWU WODY W RUROCIĄGACH W SYSTEMIE WODNO-GOSPODARCZYM

Streszczenie: Przedstawiono składniki kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wodomierzy i przepływomierzy zwężkowych. Przeanalizowano straty technologiczne przy stosowaniu przepływomierzy do rozliczeń poborów wody i kontroli niektórych procesów technologicznych. Z bilansu kosztów i strat podano zalecenia wyboru rodzaju przepływomierza i racjonalnej dokładności. Artykuł jest skrótem pracy [35].

1. Wstęp

W systemach zaopatrzenia w wodę pomiary natężenia przepływu i objętości wody stanowią podstawę sterowania procesami produkcji wody uzdatnionej i jej dystrybucji. Przepływomierze instalowane są w rurociągach o średnicy od 50 do 1800 mm. O ile w pomiarach przemysłowych ok. 80% stanowią przepływomierze zwężkowe [40], to w zaopatrzeniu w wodę w rurociągach o średnicy do 500 mm dominują wodomierze, a dla dużych średnic stosuje się przepływomierze zwężkowe, elektromagnetyczne, ultradźwiękowe i inne.

Różnice pomiędzy przepływomierzami a licznikami płynu mogą być tutaj pominięte, gdyż przez całkowanie lub różniczkowanie za pomocą każdego z urządzeń można uzyskać wskazanie natężenia lub objętości płynu. Nowe zasady pomiaru natężenia przepływu masy jak przepływomierze wirowe i wibracyjne nie będą brane pod

uwagę, gdyż własności ich nie są dostatecznie zbadane.

Do racjonalnej gospodarki wodą niezbędne jest zastosowanie dość dużej liczby przepływomierzy. Wybór rodzaju przepływomierza jest więc także problemem ekonomicznym. W artykule przedstawiono ekonomiczne uzasadnienie wymaganych właściwości przepływomierzy, co pozwala ustalić, jaki rodzaj przepływomierza najbardziej nadaje się do pomiaru określonego parametru technologicznego.

2. Kryterium wyboru przepływomierza

Duża liczba zastosowań przepływomierzy do jednakowego celu i w jednakowych warunkach powoduje, że czynniki ekonomiczne odgrywają dominującą rolę. Kryterium są więc koszty inwestycyjne, eksploatacyjne i koszty strat spowodowane niedoskonałym spełnianiem celu przeliczone na okres jednego roku. Niektóre ze składników kosztów zależą od metody pomiaru M , średnicy rurociągu D i błędu pomiaru Δ . Uwzględnienie tych zależności w kryterium pozwoli dokonać racjonalnego wyboru metody oraz dopuszczalnego błędu.

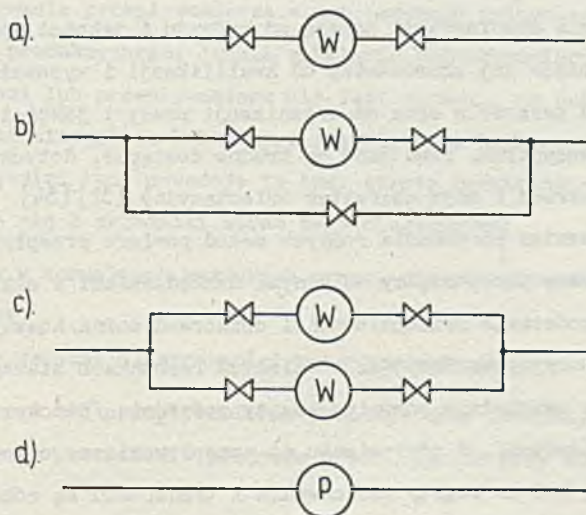
Koszt inwestycyjny obejmuje koszty zakupu i instalacji przepływomierza przy założeniu 6-letniego okresu amortyzacji. Uwzględniono koszt organu pomiarowego zależny od średnicy rurociągu i koszt przetwornika pomiarowego zwykle niezależny od średnicy. Jako standardowe wykonanie urządzenia pomiarowego przyjęto lokalne wskazanie wyników i generowanie sygnału do układu CRPD.

3. Koszty instalacji przepływomierza

Prawidłowo wykonana instalacja przepływomierza winna spełniać wymagania odpowiednio długich odcinków prostych przed i za organem pomiarowym oraz winna umożliwiać odłączenie części rurociągu z zabudowanym przepływomierzem, jak pokazano na rys. 1.

Najmniejsze wymagania odcinków prostych rurociągu stawiane są w kolejności dla przepływomierzy elektromagnetycznych, wodo-

mierzy /i turbinowych/, klasycznych zwężek Venturiego i przepływomierzy ultradźwiękowych /ze względu na wyznaczanie charakterystyki w sposób obliczeniowy/. Od spełnienia tych wymagań zależy niedokładność pomiaru. Wymagania nie są określone jednoznacznie i zależą od rodzaju elementu zakłócającego rozkład prędkości.



Rys. 1. Schemat instalacji z wodomierzem W lub przepływomierzem P

Instalacja przepływomierza wg rys. 1a powoduje przerwę w pracy rurociągu, gdy trzeba usunąć uszkodzenie lub dokonać konserwacji organu pomiarowego. W przypadku wodomierzy przerwy następują kilkakrotnie częściej, niż wymaga tego eksploatacja rurociągu [22]. Z punktu widzenia niezawodności sieci wodociągowej rozwiązanie 1a jest nieodpowiednie i nie powinno być stosowane.

Instalacja wg rys. 1b spełnia wymagania niezawodnościowe, jest jednak droższa. Mimo stosowania mniejszych przekrojów rozwiązanie wg rys. 1c jest droższe o ok. 80% w stosunku do rozwiązania 1a. Wyraźne zalety mają przepływomierze montowane do rurociągu w postaci sondy, gdyż wówczas instalacja ogranicza

się do zaworów odcinających i mocujących sondę /sondy/; instalacja jest znacznie tańsza, a praca rurociągu niezależna od stanu sprawności przepływomierza.

W kosztach inwestycyjnych przepływomierzy uwzględniono cenę zakupu przepływomierza, koszt armatury i koszt montażu obowiązujący w MERA ZAP.

4. Koszty eksploatacji

Koszty eksploatacji zależą od rodzaju i jakości aparatury, od warunków jej stosowania, od kwalifikacji i wyposażenia w narzędzia personelu oraz od organizacji pracy i jakości zabiegów konserwacyjnych. Stąd dane są trudno dostępne, dotyczą konkretnego zakładu i mają charakter orientacyjny [32] [34] .

Elementem porównania różnych metod pomiaru przepływu mogą być okresy pracy między kolejnymi uszkodzeniami i czasy napraw.

Na podstawie pracochłonności oszacować można koszty zabiegów konserwacyjnych. Przyjęta w dalszych rachunkach stawka 100 zł/godzinę uwzględnia rozmaite koszty pośrednie /bez kosztów części zamiennych/. W odniesieniu do przepływomierzy o średnicach powyżej 500 mm koszty wzorcowania i transportu są różne dla poszczególnych rodzajów przepływomierzy.

Użytkowanie przepływomierza powoduje stratę ciśnienia na organie pomiarowym i pobór energii niezbędnej do zasilania układu pomiarowego. Wskutek straty ciśnienia Δp moc strat wynosi:
 $N = \Delta p \cdot V$.

W podanych poniżej wzorach przyjęto dane: obliczeniowy okres czasu T wynosi 1 rok, cena energii elektrycznej C = 0,50 zł/kWh uwzględnia taryfę dzienną i nocną; sprawność zespołu pompowego $\eta = 0,75$, natężenie przepływu wyrażono za pomocą średnicy rurociągu D , przyjmując prędkość wody $w = 1$ m/s, jaka występuje w większości rurociągów magistralnych.

Koszty strat ciśnienia wynoszą:

$$K_1 [\text{tys. zł}] = C \cdot T \cdot N \cdot \eta^{-1} = 5,872 \cdot \Delta p [\text{kPa}] \cdot \dot{V} [\text{m}^3/\text{s}] =$$

$$= 4,61 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta p [\text{kPa}] \cdot D^2 [\text{mm}] \quad /1/$$

Koszty pobieranej energii elektrycznej:

$$K_2 \text{ [tys.zł]} = C.T.P. = 4,40 \cdot P \text{ [kW]} \quad /2/$$

gdzie: P - moc pobierana przez przepływomierz.

Koszty K_1 , K_2 zależą od rodzaju przepływomierza i w większości przypadków od średnicy rurociągu.

5. Straty technologiczne

Stosowanie przepływomierza winno zapewnić osiągnięcie określonego celu produkcyjnego. Jeżeli wskazania przepływomierza obciążone są błędami lub przepływomierz nie jest sprawny, to osiągnięcie celu jest niemożliwe lub odbywa się większym kosztem dodatkowych przedsięwzięć, tzn. powoduje to tzw. straty technologiczne.

Wyróżnia się 2 składniki strat technologicznych:

- straty w normalnych warunkach pracy, gdy przepływomierz jest sprawny,
- straty wskutek niesprawności przepływomierza.

Niesprawność przepływomierza powoduje brak pomiaru, a konsekwencją jest prowadzenie procesów produkcyjnych przy większych kosztach.

Ponadto wymiana przepływomierza powoduje przerwę w pracy instalacji, co daje bezpośrednie straty. Oszacowanie strat technologicznych możliwe jest dla konkretnych zastosowań przepływomierzy.

5.1. Rozliczenia wody

Gdy przepływomierz stosuje się do rozliczeń ilości wody, to błąd dodatni powoduje stratę odbiorcy, a błąd ujemny stratę dostawcy wody. W miarę zanieczyszczenia się organu pomiarowego, procesów starzenia i zużycia przepływomierza czasowy przebieg błędu może być różny.

Zakładając, że błędy dodatnie i ujemne są jednakowo prawdopodobne, a rozkład błędów jest symetryczny w dostatecznie długim czasie, straty dostawcy i odbiorcy są jednakowe, czyli formalnie nie występują.

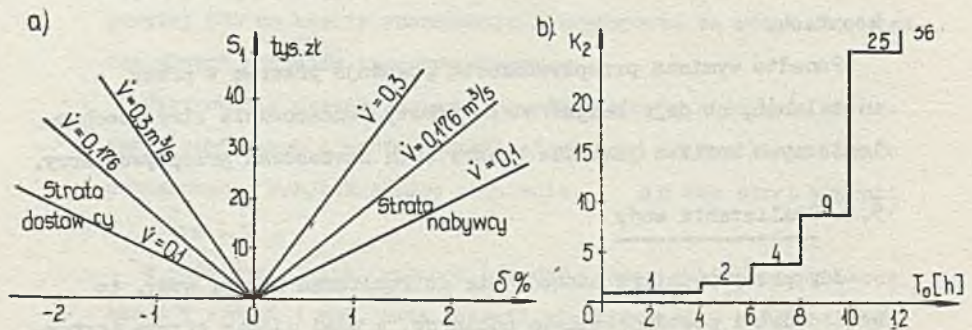
Z punktu widzenia gospodarowania zasobami, tzn. sterowania rozrządem wody, każda odchyłka od wartości zadanej - dodatnia i ujemna oddala od celu. Racjonalne gospodarowanie surowcami, a więc i wodą, poparte premiowaniem oszczędności musi opierać się na rzetelnym pomiarze. Dlatego jako straty technologiczne traktuje się wartość nie zmierzonej wody:

$$S_1 = \int_0^T C_W |\Delta/t| dt = \int_{-\infty}^{\infty} C_W \cdot T \cdot |\Delta| p(\Delta) d\Delta \quad /3/$$

Zależność strat S_1 od błędu pomiaru przedstawiono na rys. 2a. Przez Δ oznaczono błąd pomiaru, który jest zmienną losową. Gdy np. błąd ten ma rozkład równomierny w przedziale $\pm \Delta_V$, to straty wynoszą:

$$S_1 = C_W \cdot T \cdot \Delta_V = 94,6 \cdot 10^3 \cdot \Delta_V [\text{m}^3/\text{s}] [\text{tys.zł}], \quad /4/$$

gdy $T = 1$ rok, $C_W = 3,0 \text{ zł/m}^3$ /cena wody/.



Rys.2. Funkcje strat technologicznych:

a/ przy pomiarze dla rozliczenia poborów wody

b/ mnożnik strat wskutek przerwy w dostawie wody

Brak sprawnego przepływomierza powoduje kilkakrotne przekroczenie błędów. Jeżeli okres czasu od chwili uszkodzenia przepływomierza do momentu zabudowania nowego trwa $T_1 = \frac{1}{50} T$, to dla uwzglę-

dnienia tego straty S_1 zwiększają się o ok. 10%.

Przerwa w pracy rurociągu niezbędna do wymiany przepływomierza w instalacji wg rys. 1 a powoduje straty u odbiorców zależnie od długości przerwy i od specyfiki odbiorcy. Straty te są małe wymierne, gdyż zależą od pory dnia, lokalizacji przepływomierza w sieci, rodzaju przepływomierza i średnicy rurociągu. Im większa średnica, tym dłużej trwa przerwa. Odbiorcy wody bardziej wrażliwi na przerwy w zasilaniu stosują bardziej niezawodne rozwiązania jak wielostronne zasilanie, zbiorniki rezerwujące wodę itp. Badania zmierzające do ustalenia strat typowych odbiorców wody powstałych wskutek niedostarczenia wody [24] dotyczyły długiego okresu czasu i nie mogą być tutaj zastosowane. Jako przykład orientujący o rzędzie wielkości strat arbitralnie przyjęto progresywną zależność współczynnika strat w funkcji czasu przerwy w dostawie wody przedstawioną na rys. 2b.

Straty wyraża wówczas wzór:

$$S_2 = C_W \cdot T_0 \cdot K_2 \cdot \overset{\circ}{V} = 3,6 \cdot C_W \cdot T_0 \text{ [h]} \cdot K_2 \cdot \overset{\circ}{V} [\text{m}^3/\text{s}] \text{ [tys.zł]} \quad /5/$$

gdzie: T_0 - czas przerwy, $C_W = 3,0 \text{ zł/m}^3$ /cena wody/,

K_2 - mnożnik zależny od T_0 wg rys. 2b,

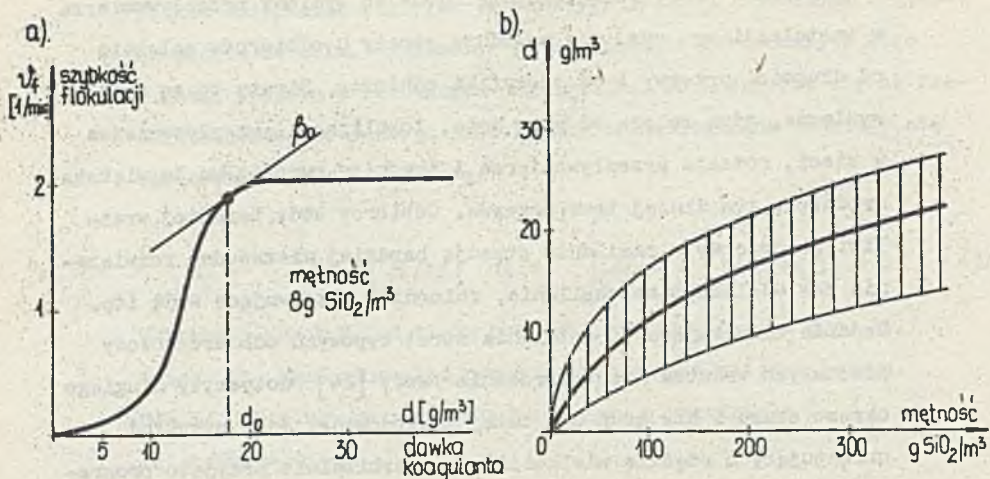
$\overset{\circ}{V}$ - natężenie przepływu.

Wzór ten nie wyraża strat wyrównywanych w postaci odszkodowania, lecz służy do wyboru rozwiązań projektowych. W szczególności wysokie straty S_2 nakazują stosowanie rozwiązań wg rys. 1b lub 1c.

5.2. Pomiar natężenia przepływu wody surowej w SUW

Wynik pomiaru jest wykorzystywany do sterowania dopływem koagulantów. Dawka koagulanta, np. siarczanu glinu $\text{Al}_2/\text{SO}_4/3$ ustalana jest doświadczalnie poprzez pomiar szybkości flokulacji. Z wyznaczonej doświadczalnie zależności $V_f = f/d$, przedstawionej na rys. 3a, dawkę ustala się jako minimalną dawkę, dla której

$$\frac{dV_f}{dd} \leq \beta_0.$$



Rys. 3. Charakterystyka procesu flokulacji [25]

a/ doświadczalne wyznaczanie dawki koagulantu

b/ zależność dawki od mętności wody surowej

Zwiększenie dawki ponad d_0 nie zwiększa szybkości flokulacji,

więc nadmiar $d - d_0$ jest stratą S_3 równą wartości koagulantu:

$$S_3 = k_3 \int_0^T (d - d_0) \cdot \dot{V} \cdot dt = k_3 \int_0^T d_0 \cdot \Delta \dot{V} dt \quad \text{dla } \Delta \dot{V} > 0 \quad /6/$$

gdzie: k_3 - cena jednostkowa koagulantu,

d_0 - dawka zależna od mętności wody,

\dot{V} - natężenie przepływu wody.

Dawka koagulantu d_0 zależy od mętności wody surowej, jak pokazano na rys. 3b.

Nadmiar koagulantu powoduje zmniejszenie szybkości flokulacji.

Dla utrzymania zadanej jakości wody uzdatnionej należy zmniejszyć prędkość przepływu, a więc zmniejszyć wydajność stacji, co jest stratą:

$$S_4 = \int_0^T C_w \cdot \Delta \dot{V} dt \quad \text{dla } \Delta \dot{V} < 0. \quad /7/$$

W tym przypadku przyczyną strat jest błąd pomiaru natężenia

przepływu $\Delta \dot{V}$, przy czym dla $\Delta \dot{V}$ dodatnich obowiązuje wzór /6/,

a gdy błąd jest ujemny to wzór /7/.

5.3. Pomiar natężenia przepływu wody dopływającej do komór filtracyjnych

Wyniki pomiaru natężenia przepływu są wykorzystywane do sterowania wydajnością każdej komory filtracyjnej i równomiernym rozłożeniem obciążenia komór. Sterowanie jest niezbędne, gdyż zwiększająca się w miarę upływu czasu oporność złoża filtracyjnego powoduje zmniejszanie natężenia przepływu. Zmiana natężenia przepływu w granicach kilku procent nie ma istotnego wpływu na jakość wody uzdatnionej. Rozrzut charakterystyk komór wynosi kilka procent [25]. Ograniczeniem jest dopuszczalna strata ciśnienia na złożu zależna od natężenia przepływu; przekroczenie może spowodować straty katastroficzne. Odnosnie ^{do} tego pomiaru nie ma istotnych wymagań dokładności, pomiar może być z błędem kilku procent.

5.4. Pomiar natężenia przepływu wody płuczej

Pomiar służy do kontroli prędkości płukania, przy czym kilkuprocentowe odchyłki nie mają istotnego wpływu na przebieg procesu płukania. Wynika to z faktu, że przy płukaniu operuje się charakterystyką średnią filtra, a nie indywidualną. Drugim celem jest pomiar zużycia wody na płukanie, a więc pomiar objętości wody, który jest składnikiem bilansu wody w stacji uzdatniania wody. Dobór własności przepływomierza należy przeprowadzać wg kryterium stosowanego w p.5.1.

5.5. Pomiar wydajności pomp

Oprócz pomiaru natężenia przepływu wody produkowanej przez stację uzdatniania wody zwykle mierzy się także natężenie przepływu wody pompowanej przez każdą z równolegle pracujących pomp. Wobec jednakowego ciśnienia w zbiorczym rurociągu tłocznym pomiar przepływu służy do kontroli równomierności obciążenia poszczególnych pomp. Ponadto dużą rolę odgrywa możliwość okresowej kontroli stanu pompy poprzez obliczenie sprawności zespołu pompowego. Spadek sprawności jest miarą zużycia pompy i sygnałem o niezbędności remontu.

Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne przepływomierza należy traktować jako część zespołu pompowego i z wymagań eksploatacyjnych pompy ustalać wymaganą dokładność pomiaru przepływu.

Kilkuprocentowe zmniejszenie sprawności zespołu pompowego powoduje straty, które uzasadniają przeprowadzenie remontu pompy. Aby zmiany te wykryć, pomiar przepływu winien być wykonywany z dokładnością ok. 1%.

6. Bilans kosztów i jego analiza

6.1. Wybór rodzaju przepływomierza

Analizę kosztów, która uzasadnia wybór rodzaju przepływomierza, przeprowadzono w 1975 r. [1] w oparciu o dane amerykańskie: ceny aparatury i oszacowanie kosztów montażu [19]. Poniższe dane dotyczą aparatury i rozwiązań krajowych.

W o d o m i e r z e. Koszt zakupu obejmuje wodomierz typu MZ lub MW z nadajnikami telemetrycznymi NZ, NZQ do zdalnych wskazań objętości i natężenia przepływu oraz blok odczytu stanu licznika z wyjściowym sygnałem cyfrowym do układu CRFD. Ten ostatni blok jest w opracowaniu [26] i ceny są szacunkowe.

Koszty montażu ustalone wg normatywu MERA ZAP. Koszty te obejmują drobny osprzęt i armaturę, konstrukcje pomocnicze, kable obiektowe.

Koszty konserwacji przyjęto wg danych z NRD [3], co jest zgodne z szacunkiem pracochłonności w WPWiK. Koszt wzorcowania jest szacunkowy, gdyż urzędowe ceny legalizacji wodomierzy są zdaniem autora za niskie. Straty technologiczne oszacowano wg wyżej podanych wzorów.

P r z e p ł y w o m i e r z e z w ę ż k o w e. Koszty kryz, zwężek Venturiego z obudową zwężki są dość znacznie zróżnicowane [27], wskutek dorywczej produkcji. Cena manometru różnicowego jest wysoka wobec stosowania tzw. ceny "światowej".

Inne koszty ujęto podobnie jak dla wodomierzy.

W kosztach konserwacji uwzględniono czyszczenie zwężki 1 raz w roku, przy czym jest to orientacyjny szacunek autora wskutek braku danych o niezawodności parametrycznej.

5.3. Pomiar natężenia przepływu wody dopływającej do komór filtracyjnych

Wyniki pomiaru natężenia przepływu są wykorzystywane do sterowania wydajnością każdej komory filtracyjnej i równomiernym rozłożeniem obciążenia komór. Sterowanie jest niezbędne, gdyż zwiększająca się w miarę upływu czasu oporność złoża filtracyjnego powoduje zmniejszanie natężenia przepływu. Zmiana natężenia przepływu w granicach kilku procent nie ma istotnego wpływu na jakość wody uzdatnionej. Rozrzut charakterystyk komór wynosi kilka procent [25]. Ograniczeniem jest dopuszczalna strata ciśnienia na złożu zależna od natężenia przepływu; przekroczenie może spowodować straty katastroficzne. Odnosnie^{do} tego pomiaru nie ma istotnych wymagań dokładności, pomiar może być z błędem kilku procent.

5.4. Pomiar natężenia przepływu wody płucznej

Pomiar służy do kontroli prędkości płukania, przy czym kilkuprocentowe odchyłki nie mają istotnego wpływu na przebieg procesu płukania. Wynika to z faktu, że przy płukaniu operuje się charakterystyką średnią filtra, a nie indywidualną. Drugim celem jest pomiar zużycia wody na płukanie, a więc pomiar objętości wody, który jest składnikiem bilansu wody w stacji uzdatniania wody. Dobór własności przepływomierza należy przeprowadzać wg kryterium stosowanego w p.5.1.

5.5. Pomiar wydajności pomp

Oprócz pomiaru natężenia przepływu wody produkowanej przez stację uzdatniania wody zwykle mierzy się także natężenie przepływu wody pompowanej przez każdą z równoległe pracujących pomp. Wobec jednakowego ciśnienia w zbiorczym rurociągu tłocznym pomiar przepływu służy do kontroli równomierności obciążenia poszczególnych pomp. Ponadto dużą rolę odgrywa możliwość okresowej kontroli stanu pompy poprzez obliczenie sprawności zespołu pompowego. Spadek sprawności jest miarą zużycia pompy i sygnałem o niezbędności remontu.

Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne przepływomierza należy traktować jako część zespołu pompowego i z wymagań eksploatacyjnych pompy ustalać wymaganą dokładność pomiaru przepływu.

Kilkuprocentowe zmniejszenie sprawności zespołu pompowego powoduje straty, które uzasadniają przeprowadzenie remontu pompy. Aby zmiany te wykryć, pomiar przepływu winien być wykonywany z dokładnością ok. 1%.

6. Bilans kosztów i jego analiza

6.1. Wybór rodzaju przepływomierza

Analizę kosztów, która uzasadnia wybór rodzaju przepływomierza, przeprowadzono w 1975 r. [1] w oparciu o dane amerykańskie: ceny aparatury i oszacowanie kosztów montażu [19]. Poniższe dane dotyczą aparatury i rozwiązań krajowych.

W o d o m i e r z e. Koszt zakupu obejmuje wodomierz typu MZ lub MW z nadajnikami telemetrycznymi NZ, NZQ do zdalnych wskazań objętości i natężenia przepływu oraz blok odczytu stanu licznika z wyjściowym sygnałem cyfrowym do układu CRFD. Ten ostatni blok jest w opracowaniu [26] i ceny są szacunkowe.

Koszty montażu ustalone wg normatywu MERA ZAP. Koszty te obejmują drobny osprzęt i armaturę, konstrukcje pomocnicze, kable obiektowe.

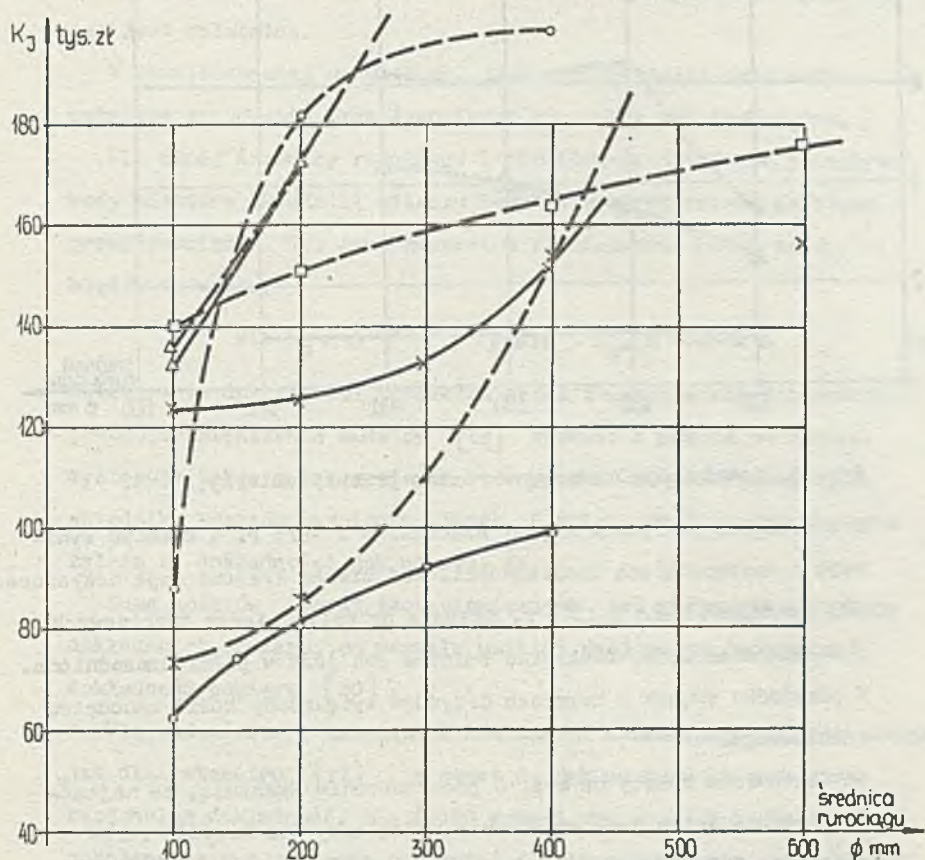
Koszty konserwacji przyjęto wg danych z NRD [3], co jest zgodne z szacunkiem pracochłonności w WPWiK. Koszt wzorcowania jest szacunkowy, gdyż urzędowe ceny legalizacji wodomierzy są zdaniem autora za niskie. Straty technologiczne oszacowano wg wyżej podanych wzorów.

P r z e p ł y w o m i e r z e z w ę ż k o w e. Koszty kryz, zwężek Venturiego z obudową zwężki są dość znacznie zróżnicowane [27], wskutek dorywczej produkcji. Cena manometru różnicowego jest wysoka wobec stosowania tzw. ceny "światowej".

Inne koszty ujęto podobnie jak dla wodomierzy.

W kosztach konserwacji uwzględniono czyszczenie zwężki 1 raz w roku, przy czym jest to orientacyjny szacunek autora wskutek braku danych o niezawodności parametrycznej.

Przepływomierze elektromagnetyczne produkowane są dla średnic 20-200 mm. Przepływomierzy ultradźwiękowych nie produkuje się. Koszty inwestycyjne przepływomierzy dla małych średnic przedstawiono na rys. 4, a roczne koszty eksploatacji na rys. 5.



Rys. 4. Koszt inwestycyjny przepływomierzy

o - wodomierze

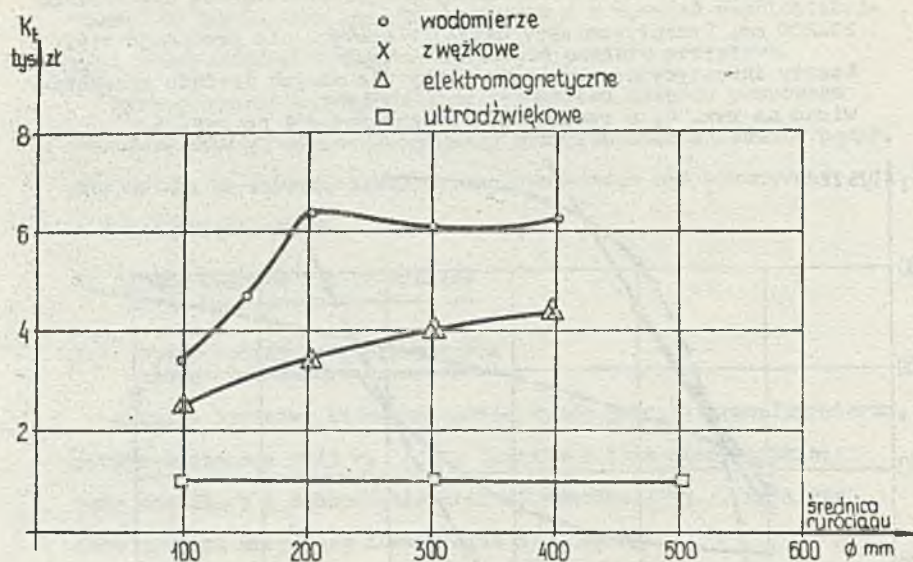
x - przepływomierze zwężkowe

Δ - przepływomierze elektromagnetyczne

□ - przepływomierze ultradźwiękowe

linia ciągła - aktualne dane produkcji krajowej /montaż 120%/

linia przerywana - wg cen USA 1 \$ = 40 zł /montaż 60%/ - analiza 1975 r. [1].



Rys. 5. Koszty eksploatacyjne roczne przepływomierzy.

Rozbieżności na rys. 4 między szacunkiem z 1975 r. a obecnym wynikają z następujących okoliczności. Wodomierze krajowe mają dokładność 2%, natomiast dane z 1975 r. dotyczą przepływomierzy turbinowych o dokładności 0,5%. Dwukrotna różnica cen jest w pełni uzasadniona. W przypadku zwężek o kosztach decyduje zwiększony koszt manometru różnicowego.

Zestawione koszty na rys. 4 jednoznacznie wskazują, że najtańszym rozwiązaniem jest stosowanie wodomierzy dla średnic rurociągów do 500 mm. Powyżej 500 mm najtańszy jest przepływomierz ultradźwiękowy [1]. W tym sensie wybór jest jednoznaczny.

6.2. Ustalenie racjonalnej dokładności

Stosowanie aktualnie produkowanej aparatury krajowej ze względu na ubogi asortyment nie daje możliwości doboru dokładności.

Niedokładność wynosi:

- wodomierze - 2%,
- przepływomierze zwężkowe - 1,5 - 2,0%,
- przepływomierze elektromagnetyczne - 2,5 %.

W pracy [1] za opłacalną dokładność uznano taką dokładność, dla

której straty technologiczne S_1 przewyższają koszty inwestycji i eksploatacji.

Oznacza to, że jeżeli zastosowanie przepływomierza spowoduje zmniejszenie zużycia wody, nieszczelności itp. o wartość większą od $\delta \cdot V$, wyznaczoną z warunku $S = K$, to stosowanie przepływomierza jest opłacalne.

W chwili obecnej, wskutek ok. 10-krotnie wyższej ceny wody, potrzeba stosowania przepływomierzy przestaje być dyskusyjna.

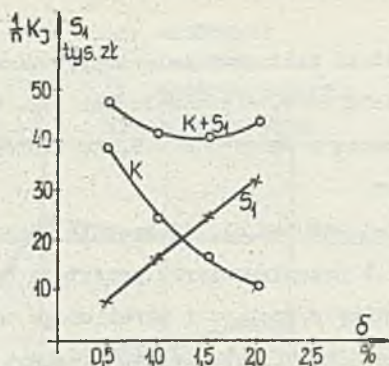
Dla danej średnicy rurociągu i określonego natężenia przepływu wody niektóre składniki bilansu kosztów i strat zależą do błędów przepływomierza. Np. cena manometru różnicowego [28] zależy od błędów wg wzoru:

$$K = K_0 \cdot \delta^{-a}, \quad \text{gdzie } K_0, a = \text{const.} \quad /8/$$

Zwiększenie dokładności rotametry przez staranniejsze wzorcowanie powoduje zwiększenie kosztów [19] zgodnie z powyższym wzorem. Występuje także zwiększenie kosztów wzorcowania okresowego jako składnika kosztów eksploatacyjnych. Z kolei straty technologiczne zależą od dokładności jak na rys. 2a.

Suma kosztów i strat technologicznych jest ekstremalną funkcją dokładności pomiaru, co pozwala ustalić racjonalną /optymalną/ dokładność pomiaru [20].

Dla wodomierza i zależności kosztów od dokładności: koszty zakupu jak dla rotametry [19], a strat S_1 jak na rys. 2a wyznaczono racjonalną dokładność. Dla δ 100 wynosi ona 1 - 1,5%. Zależności pokazane na rys. 6 można powtórzyć dla innych średnic, pozostałych przyrządów i różnych zastosowań. Brak danych nie pozwala takich obliczeń wykonać, a rys. 6 należy traktować jako przykład. /W obliczeniach uwzględniono tylko składniki K_T oraz S_1 , gdyż udział pozostałych jest pomijalny/.



Rys. 6. Zależność kosztów wodomierza od dokładności.

Można tutaj wskazać pewne prawidłowości. Mianowicie, gdy uwzględnić tylko koszt zakupu i straty technologiczne S_1 , to będzie

$$K + S = K_0 \cdot \delta^{-a} + A \cdot \delta \cdot \dot{V} = K_0 \delta^{-a} + B \delta \cdot D^2 \quad /9/$$

gdzie: a, B - stałe, $K_0 = f/D = K_0 D^b$, D - średnica rurociągu,

δ - błąd względny, \dot{V} - natężenie przepływu.

Optymalna wartość błędu obliczona z warunku $\text{Min } /K + S/$ wynosi:

$$\delta = \frac{aK_0}{BD^2} \cdot 10^{\frac{1}{a+1}} = \frac{a}{B} K_0' \frac{D^b}{D^2} \cdot 10^{\frac{1}{a+1}} = Q \cdot D^{b-2} \quad /10/$$

gdzie: $Q = \frac{a}{B} K_0 \cdot 10^{\frac{1}{a+1}} = \text{const.}$

Z obliczenia wynika, że racjonalna wartość błędu δ maleje ze zwiększeniem średnicy rurociągu. Dla przepływomierzy ultradźwiękowych $b = 0$, tzn. błąd maleje z kwadratem średnicy, dla imych przepływomierzy jest $b < 1$. /Dla przepływomierzy zwężkowych $b > 1/$.

Tak więc, im większa jest średnica rurociągu /większe natężenie przepływu/, tym większa winna być dokładność stosowanego przepływomierza. Racjonalną dokładność należy ustalać indywidualnie dla każdego zastosowania i dla aktualnego poziomu cen i kosztów.

6.3. Ocena innych przedsięwzięć wg wskaźników ekonomicznych

Z bilansu kosztów można ocenić opłacalność takiej czynności konserwacyjnej jak sprawdzenie i korekcja wskazań przepływomierza. Nadmierny błąd zwiększa straty technologiczne. Okresowe sprawdzenie i korekcja wskazań mają błąd zmniejszyć, co powoduje zmniejszenie

nie strat technologicznych. Gdy koszt tych czynności jest mniejszy od strat technologicznych, to wykonanie tych czynności jest opłacalne. Z rys. 6 wynika, że efektywność czynności sprawdzania wskazań i korekcji jest większa dla przepływomierzy o dużych średnicach. Rachunek ekonomiczny powinien być uzasadnieniem odpowiedniego wyposażenia służb konserwacji i napraw w narzędzia i sprzęt pomocniczy, np. w samochody.

Dobre wyposażenie wymagające nakładów finansowych powoduje skrócenie czasu napraw i pracochłonności czynności konserwacyjnych oraz strat technologicznych wskutek przerw w pracy obiektów produkcyjnych.

Istotną właściwością metrologiczną, która może być wartościowana wskaźnikami ekonomicznymi, jest niezawodność przepływomierza [29]. Udoskonalenie konstrukcji, zwiększanie ceny lub kosztów instalacji winny być uzasadnione zwiększeniem niezawodności, tzn. odpowiednim zmniejszeniem czasu naprawy, wydłużeniem czasu sprawnej pracy i okresu między kolejnymi sprawdzaniami wskazań, skróceniem przerw na wymontowanie.

Z tego punktu widzenia bardzo dobre własności eksploatacyjne mają przepływomierze ultradźwiękowe. Są łatwe w montażu, sprawdzanie nie wymaga przerwy w pracy rurociągu, do sprawdzania wskazań nie jest potrzebna stacja wzorcowania [30].

Zwiększenie niezawodności pracy rurociągu zapewniają rozwiązania wg rys. 1b lub 1c. Są one droższe odpowiednio o 50 i 80% w porównaniu z rozwiązaniem 1a. Są to jednak rozwiązania tańsze niż przepływomierz ultradźwiękowy, co wynika z rys. 4.

7. W n i o s k i

Na podstawie przeprowadzonej analizy można zalecić wybór najlepszych rozwiązań instalowania przepływomierzy, wybór dostosowany do aktualnych proporcji cen i kosztów.

W zakresie małych średnic rurociągów do \varnothing 500 mm najtańszym rodzajem przepływomierza ze względu na koszt inwestycyjny jest wodomierz wyposażony w nadajnik i przetwornik telemetryczny,

niezbędne do uzyskania sygnału elektrycznego do systemu CRPD.

Wybór taki nie ma charakteru bezwzględnego, lecz uwarunkowany jest stanem produkcji i cen innych rodzajów przepływomierzy.

Jeżeli weźmie się pod uwagę stosunkowo wysokie koszty eksploatacyjne wodomierzy, straty spowodowane przerwą w pracy rurociągu wskutek wymontowania wodomierza do okresowego sprawdzania oraz dwukrotnie mniejszą dokładność, to inne rodzaje przepływomierzy mogą być konkurencyjne. W szczególności mogą to być przepływomierze turbinowe, zwężkowe lub ultradźwiękowe. Wniosek taki potwierdza wynik analizy opartej na cenach wyrobów amerykańskich [1]. Ze względu na jednostkową produkcję krajowe ceny niektórych przepływomierzy nie odzwierciedlają ich wartości użytkowych.

Ze względu na większą zawadność wodomierzy niż rurociągów w przypadkach wymaganej dużej niezawodności należy stosować instalację wg rys. 1b, jako tańszą, gdy wchodzi w grę płacenie kar za przerwy w dostawie wody. Wg aktualnych cen wody dokładność produkowanych wodomierzy jest za mała. W szczególności wodomierze typu MW winny mieć dokładność w granicach 0,5 - 1%.

Dla rurociągów o dużych średnicach najlepszym i najtańszym jest przepływomierz ultradźwiękowy [1].

Wybór racjonalnej dokładności pomiaru zależy od zastosowania przepływomierza. Są zastosowania, w których względami ekonomicznymi można uzasadnić wybór optymalny. W niektórych zastosowaniach nie ma istotnych wymagań odnośnie do dokładności pomiaru.

Zastosowanie kryterium ekonomicznego do wyboru rozwiązań projektowych napotyka na trudności braku danych o wskaźnikach techniczno-ekonomicznych. Zbieranie danych o niezawodności, kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych nie jest prowadzone ani przez użytkownika aparatury, ani przez placówki projektowe.

LITERATURA

- [1] Studia nad systemem optymalnego kompleksowego sterowania rozrzędem wód w obszarze wodno-gospodarszym GOP, NB-306/208, Gliwice, 1975, Instytut Automatyki Przemysłowej i Pomiarów Politechniki Śląskiej /niepublikowane/,
część III J. PIOTROWSKI - Studia nad systemem pomiarowym systemu kompleksowego sterowania rozrzędem wód w obszarze wodno-gospodarszym GOP.
- [2] Opracowanie koncepcji kompleksowego sterowania w systemie wodno-gospodarszym na obszarze Śląska.
Praca zbiorowa, Instytut Automatyki Polit. Śląskiej, 1976, /niepublikowane/.
- [3] J. BOEHLER, H. RATHKE: Handbuch der Wassermessung.
VEB Verlag Technik, Berlin 1965.
- [4] K. LUTZ: Nowe metody częstotliwościowo-analogowe do pomiarów przepływów, firma Rota Apparate und Maschinenbau Dr Hennig KG, Ośrodek Postępu Technicznego NOT, PKiN,
Tydzień techniki RFN w Polsce, 21-26.10.1974. Warszawa.
- [5] S. J. BAILEY: Flow Measurement 74, Control Engineering
May /1974.
- [6] E. ROMER: Miernictwo przemysłowe, Warszawa PWN, 1978
- [7] Z. KRAKOWSKI - Przegląd nowoczesnych typów przepływomierzy.
NOT PKPiA Warszawa, 19.1.1968. Narada Nauk.-Techn. "Przepływomierze i zagadnienia ich rozwoju w Polsce".
- [8] K. OSIŃSKI: Polski przemysł wodomierzy, jego stan i perspektywy rozwoju, NOT, PKPiA, Warszawa, 19.1.1968.
- [9] T. KOŁODZIEJ: Pomiary zwężkowe w energetyce NOT, PKPiA, Warszawa, 19.1.1968.

- [10] E.A.SPENCER: Current practice in fluid flow measurement. Proceedings of the intern. conference held at Harwell, 21-23 Sept. 1971.
Modern developments in flow measurements edited by C.G.Clayton Peter Peregrinus Ltd., London 1972.
- [11] C.G.CLAYTON, G.V.EVANS: Industrial demands for flow measurement. idem 10
- [12] N.SUZUKI, H.NAKABORI, M.YAMAMOTO: Ultrasonic method of flow measurement in large conduits and open channels, idem 10
- [13] S.G.FISHER, P.G.SFINK: Ultrasonic as a standard for volumetric flow measurement, idem 10
- [14] PN-65/N-53950. Pomiar natężenia przepływu płynów za pomocą zwężek. Wyd. Normalizacyjne, Warszawa.
- [15] KENT Instruments - Dall tubes, P5-03-00, June 1974 /Katalog/
- [16] P.P. KREMLEWSKIJ: Raschodomiery. Maszgiz, Moskwa-Leningrad 1963
- [17] A.T. TROSKOJAŃSKI - Hydromechanika, PWN 1967
- [18] A.F.ORLICEK, F.R. REUTHER: Zur Technik der Mengen - und Durchflusssmessung von Flüssigkeiten. Oldenburg Verlag, Muchen-Wiem 1971
- [19] B.G.LIPTAK: Costs of process instruments.
Chemical Engineering 77 /1970/ - cz. I - 7.09.70.
II - 21.09.70.
III - 5.10.70.
IV - 2.11.70.
- [20] U.POCIASK: Wykorzystanie funkcji strat do interpretacji niektórych właściwości metrologicznych przetwornika pomiarowego. Rozprawa doktorska, Inst.Automatyki Przemysłowej i Pomiarów Politechniki Śląskiej, Gliwice 1975.
- [21] Katalog firmy Turbo

- [22] T.MROZEK - Wpływ okresu powtarzania kontroli na współczynnik gotowości wybranych urządzeń w systemie sterowania rozrzędem wód GOP.
Inst. Automatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1978 /Praca dypl./
- [23] J.DWORACZEK - Gospodarka wodomierzami w systemie zaopatrzenia w wodę, Instytut Automatyki, 1977 /praca dyplomowa/.
- [24] H.SŁOTA, E.ZEMŁA - Metoda i algorytmy rozwiązania modelu matematycznego rozrzędu wody systemu rzek Soły i M. WISŁY, IMiGW O/Kraków, 1973 /niepublikowane/.
- [25] Zbieranie danych do identyfikacji procesów technologicznych. SUW dla potrzeb kompleksowego sterowania.
Sprawozdanie z obozu naukowego, Inst. Automatyki Politechniki Śląskiej, 1978 r.
- [26] J.KRZYWIECKI - Koncepcja przetworników telemetrycznych do wodomierzy.
Instytut Automatyki, 1978 /niepublikowane/.
- [27] M.FRĄCZEK - Zalecenia projektowe obudowy zwęzek pomiarowych w gospodarce komunalnej.
Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1978, /praca dyplomowa/.
- [28] Katalog firmy Robinson - Holpern, Plymouth Meeting, Pa, USA 1973.
- [29] J.FRĄCZEK - Analiza charakterystyk eksploatacyjnych systemów pomiarowych układu sterowania rozrzędem wody.
Instytut Automatyki, 1977 /niepublikowane/.
- [30] S.WALUŚ - Wytyczne montażu i wzorcowania przepływomierzy ultradźwiękowych w normalnych warunkach zabudowy.
Instytut Automatyki Politechniki Śl. 1977, /niepublikowane/
- [31] S.KOPACZ, S.WALUŚ - Założenia techniczne przepływomierzy i poziomomierzy ultradźwiękowych, Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, 1977 /niepublikowane/.

- [32] J.PIOTROWSKI: Elementy gospodarki aparaturą pomiarową w zakładzie przemysłowym.
Rozdział w skrypcie Nr 573 Politechniki Śl. Gliwice 1974
- [33] J.PIOTROWSKI: Wartungsorganisation bei BMSR-Einrichtungen
msr 1975, Heft 5.
- [34] H.WIEDNER: Technische Informationen. Messen Steuern Regeln
Verlag Technik, Berlin, V Auflage.
- [35] J.PIOTROWSKI - Wybór rodzaju przepływomierza wg kryterium
ekonomicznego dla potrzeb zaopatrzenia w wodę.
Inst. Automatyki Pol. Śl. 1978. /niepublikowane/.

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ В ТРУБОПРОВОДАХ В ВОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ

Представлено компоненты накладных и эксплуатационных расходов водомеров и расходомеров со суффажными устройствами. Проведено анализ технологических потерь при применении расходомеров для расчётов потребления воды и контроля некоторых технологических процессов. На основании баланса стоимости и потерь сформулированы рекомендации по выбору расходомеров и обоснованной точности. Статья является сокращением работы [35] .

THE MEASUREMENTS OF WATER FLOW IN THE PIPELINES IN THE WATER - ECONOMIC SYSTEM

The components of the investment and exploit costs of the water meter and constriction flow meter are shown in this paper. The technological losses while applying flow meters for water consumption accountability and for checking some of the technological processes are analysed. There are given recommendations for flow meter type choosing and its rational accuracy. Using costs and losses balance. The article is an abbreviation of work [35] .