

Marek HAGEL  
Instytut Automatyki  
Politechnika Śląska

ZALECENIA ZASAD EKSPLOATACJI WODOMIERZY  
NA PODSTAWIE BADAŃ NIEZAWODNOŚCI

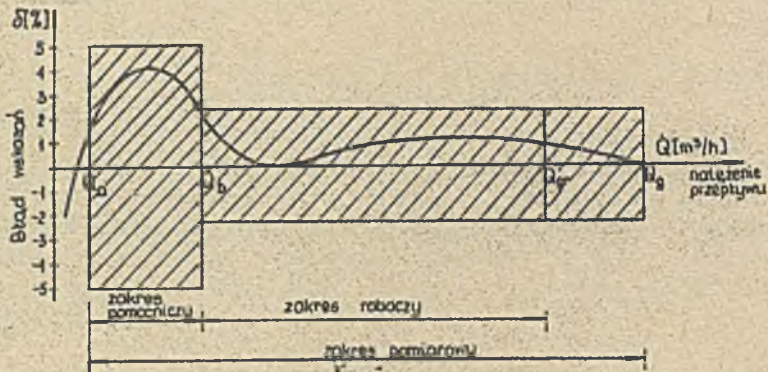
Streszczenie. W artykule przeprowadzono analizę wyników badań wodomierzy. Na tej podstawie wyznaczono optymalny czas powtarzania sprawdzania wskazań eksploatowanych wodomierzy. Badania były prowadzone na terenie GOP-u w ciągu 2 lat na wodomierzach typu MZ 200.

1. Wstęp

Dla aparatury występującej w dużych ilościach w jednym zakładzie, jak wodomierze w Przedsiębiorstwach Wodociągów i Kanalizacji, opracowanie racjonalnych zasad eksploatacji przynosi znaczne oszczędności. Zalecane poniżej zasady eksploatacji wynikają z przeprowadzonych badań niezawodności w warunkach eksploatacji. Zbadano czas sprawnej pracy, zmianę błędów w czasie eksploatacji i na tej podstawie wyznaczono optymalny czas  $\tau_{opt}$  powtarzania sprawdzania wskazań.

## 2. Uwagi o wzorcowaniu wodomierzy

Wzorcowanie polega na przepuszczeniu przez przyrząd pewnej objętości wody, zmierzeniu jej i porównaniu ze wskazaniem wodomierza. Zgodnie z danymi producenta błąd dopuszczalny wodomierza nie może przekraczać 5% dla zakresu pomocniczego i 2% dla zakresu roboczego, jak pokazuje rys. 1 [7]



Rys. 1. Krzywa błędów wskazań

Błąd dopuszczalny określony jest w stosunku do objętości wyznaczonej podczas wzorcowania w zbiorniku pomiarowym.

## 3. Okresowe sprawdzanie wskazań

3.1 Okresowe sprawdzanie wskazań wodomierzy ma za cel sprawdzenie, czy błąd mieści się w wymaganym przedziale. Zmniejszenie dokładności wskazań ma istotne znaczenie dla gospodarki wodą w sieci wodociągowej. Wskazywanie wartości różnych od rzeczywistych powoduje określone straty ekonomiczne ponoszone przez producenta lub odbiorcę wody.

Drugim ważnym czynnikiem mającym wpływ na przebieg okresowej kontroli wodomierzy jest koszt samego sprawdzenia oraz wysiłek ograniczający przedsiębiorstwa.

Obs te czynniki powodują konieczność określenia optymalnej metody i czasu powtarzenia kontroli.

### 3.2. Metodyka kontroli

Kontrola eksploatowanych wodomierzy odbywa się na stanowisku wzorcowania w Bazie Napraw Wodomierzy, co powoduje konieczność wymontowania wodomierza z rurociągu i przetransportowania go do Bazy. Sposób kontroli nie odbiega od sposobu wzorcowania.

### 3.3. Dobór optymalnego czasu powtarzenia kontroli eksploatowanych wodomierzy.

Z punktu widzenia ekonomicznej oceny celowości przeprowadzenia okresowych kontroli wodomierzy istotne znaczenie ma wielkość czasu  $t_{opt}$  między kolejnymi sprawdzeniami. Dłuższy czas powoduje większe straty technologiczne, ale zmniejsza koszt sprawdzeń, krótszy na odwrót.

Określenia optymalnej wartości czasu  $t_{opt}$  należy dokonać na podstawie zależności

$$\delta = f(t_e), \quad //1//$$

gdzie:  $\delta$  - względny błąd wskazań wodomierza,

$t_e$  - czas eksploatacji.

## 4. Założenia dotyczące przebiegu badań

Idea badań polega na pobraniu pewnej próbki spośród aktualnie eksploatowanych wodomierzy i okresowym sprawdzeniu wskazań.

Na podstawie wyników sprawdzenia można sporządzić wykres czasowego przebiegu względnego błędu wskazań oraz czasowego przebiegu prawdopodobieństwa sprawnej pracy.

Przez sprawną pracę rozumie się zachowanie dopuszczalnego błędu

wskazań.

Celem przeprowadzenia badań przyjęto następujące założenia

[2] : [4] :

- czasokres powtarzania kontroli własności metrologicznych wodomierzy:  $\Delta t \approx 3$  miesiące,
- liczebność próbki:  $N_p = 20$  wodomierzy,
- typ wodomierzy: MZ 200,
- reprezentatywność próbki: wodomierze zostały pobrane z różnych Oddziałów Sieci proporcjonalnie do ilości sztuk pracujących w danym Oddziale,
- czas trwania badań:  $T_B = 2$  lata.

#### 5. Wyniki badań

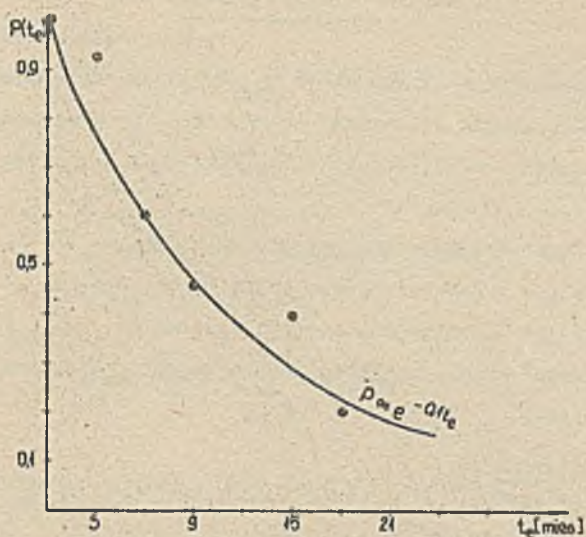
Wyniki sprawdzeń dokładności wodomierzy  $\delta = f(t_e)$  w czasie eksploatacji  $t_e$  zostały opracowane w postaci wykresów zamieszczonych w [4], przy czym aproksymowano je prostą

$$\delta(t_e) = at_e + b \quad /2/$$

Rozkład prawdopodobieństwa sprawnej pracy przedstawia rys. 2, przy czym:

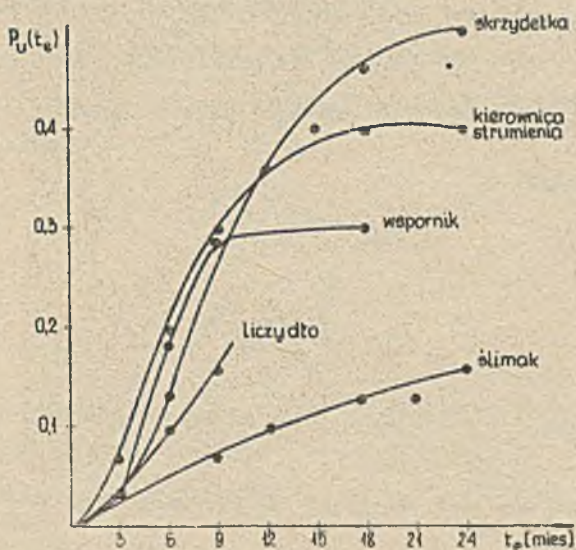
$$P(t_e) = \frac{N_x(t_e)}{N} \approx e^{-\lambda t_e}, \quad /3/$$

gdzie:  $N_x(t_e)$  - liczba wodomierzy sprawnych po czasie  $t_e$ ,  
 $N$  - liczba wodomierzy biorących udział w badaniach,  
 $\lambda$  - intensywność uszkodzeń  $\approx 0,1 \left[ \frac{1}{\text{mies}} \right]$ .



Rys. 2. Rozkład prawdopodobieństwa sprawnej pracy.

Na rys. 3 przedstawiono rozkład prawdopodobieństw  $P_U(t_e)$  wystąpienia najczęściej spotykanych uszkodzeń.



Rys. 3. Rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia wybranego podzespołu wodociągów w czasie eksploatacji

### 6. Analiza wyników badań

W celu określenia optymalnego czasu  $t_{opt}$  powtarzenia kontroli własności metrologicznych wodomierzy należy określić wielkość strat  $S(t_0)$  wynikających z niedokładności ich wskazań w zależności od czasu eksploatacji.

Straty te są spowodowane następującymi przyczynami:

- a/ straty wynikające z dopuszczalnego błędu wzorcowania  $S_1$ ,
- b/ straty wynikające ze zmian dokładności wskazań  $S_2$ ,
- c/ straty wynikające ze zmian dokładności wskazań po uszkodzeniu katastroficznym  $S_3$ .

#### 6.1. Określenie strat $S_1$

Średnie miesięczne straty  $S_1$  możemy obliczyć w następujący sposób:

$$S_1 = \frac{c}{Nt_e} \sum_{i=1}^N \int_0^{t_e} \delta_1(t) Q_i dt, \quad /4/$$

gdzie:  $Q_i$  - chwilowe natężenie przepływu w  $i$ -tym wodomierzu,  
 $c$  - cena jednego  $m^3$  wody  $\approx 3 \left[ \frac{zł}{m^3} \right]$ ,

$\delta_1(t)$  - względny błąd wskazań  $i$ -tego wodomierza.

W naszym przypadku

$$\delta_1(t) = b = 0,02, \quad /5/$$

Wobec tego

$$S_1 = \frac{c}{N} b \sum_{i=1}^N Q_{\text{sr}i}, \quad /6/$$

gdzie:  $Q_{\text{sr}i}$  - średnie miesięczne natężenie przepływu w  $i$ -tym wodomierzu.

Po wykonaniu obliczeń otrzymano, że  $S_1$  wynosi  $5500 \left[ \frac{zł}{\text{mies} \cdot \text{wod}} \right]$ .

Zmniejszenie tych strat może się odbyć tylko na drodze ulepszenia konstrukcji i zmiany przepisów dotyczących maksymalnego błędu wzor-

owania, który obecnie wynosi 2%.

### 6.2. Określenie strat $S_2$

Średnie miesięczne straty  $S_2$  możemy określić przy pomocy wzoru (4), przy czym

$$\delta_1(t_e) = a_1 t_e \quad /7/$$

gdzie  $a_1$  - tangens kąta nachylenia prostej aproksymującej wyniki badań zmian względnego błędu wskazań 1-tego wodomierza [4].

Wobec tego

$$S_2 = \frac{\sigma}{2N} t_e \sum_{i=1}^N a_i Q_{\delta i} = A t_e \quad /8/$$

Na podstawie wyników badań obliczono  $A = 40 \left[ \frac{\text{mł}}{\text{wod. mies}^2} \right]$ .

W celu znalezienia optymalnego czasu powtarzania kontroli, trzeba znaleźć także wskaźnik określający średnie miesięczne całkowite koszty sprawdzenia wodomierza K

$$K = \frac{B}{t_e} \quad ; \quad /9/$$

gdzie: B - średni całkowity koszt kontroli wodomierza.

Optymalny czas powtarzania kontroli  $t_{\text{opt } 2}$  można określić w warunkach minimum funkcji  $Y_2$

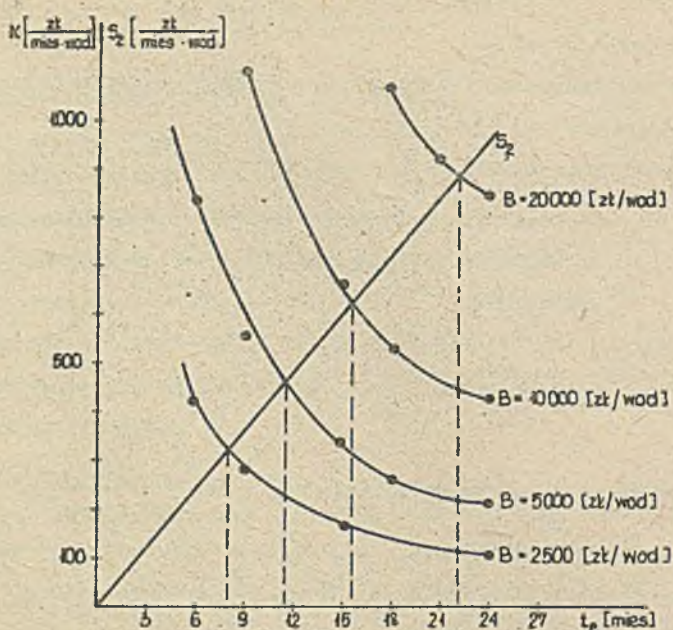
$$Y_2 = S_2 + K = A t_e + \frac{B}{t_e} \quad /10/$$

Stąd

$$t_{\text{opt } 2} = \sqrt{\frac{B}{A}} \quad /11/$$

Powyższe określenie  $t_{\text{opt } 2}$  jest równoważne ze znalezieniem współrzędnych punktu przecięcia się krzywych  $S_2(t_e)$  i  $K(t_e)$ .

Wyniki obliczeń ilustruje rys.4 dla kilku wartości B.

Rys. 4. Graficzne określenie czasu  $t_{opt 2}$ 6.3. Określenie strat  $S_3$ 

Zakładając, że wodomierz po uszkodzeniu katastroficznym przestaje pracować i uwzględniając wzór (3) otrzymujemy

$$\begin{aligned}
 S_3 &= \frac{c \cdot Q_{\text{śr}}}{t_e} \int_0^{t_e} [1 - P(t)] dt = \\
 &= c \cdot Q_{\text{śr}} \left[ 1 - \frac{1}{\lambda t_e} (1 - e^{-\lambda t_e}) \right], \quad /12/
 \end{aligned}$$

gdzie:

$$Q_{\text{śr}} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{\text{śr}i}}{N}$$

Optymalny czas powtórzenia kontroli  $t_{opt 3}$ , ze względu na średnie miesięczne straty  $S_3$ , można określić z warunku na minimum funkcji

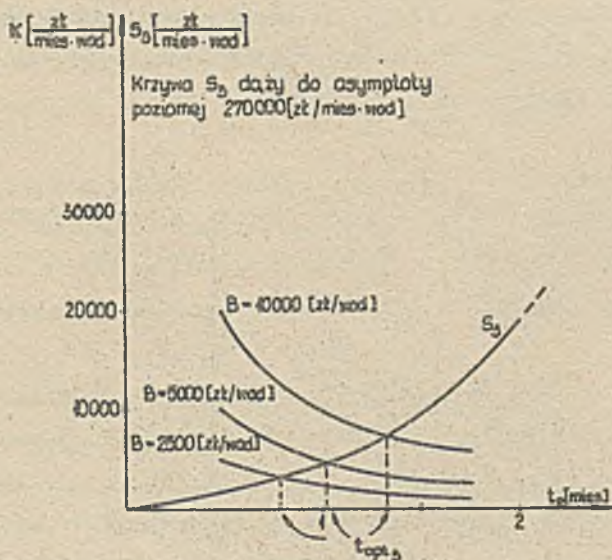
$$Y_3 = S_3 + K.$$



Ostatecznie otrzymamy przybliżony wzór

$$t_{\text{opt } 3} \cong 1,7 \sqrt{\frac{B}{\lambda c Q_{\text{gr}}}} \quad /13/$$

Wyniki obliczeń ilustruje rys. 5



Rys. 5. Graficzne określenie czasu  $t_{\text{opt } 3}$

### 7. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wynika, że chcąc zminimalizować straty  $S_2$ , spowodowane zmianą dokładności wskazań wodomierzy w trakcie eksploatacji, wystarczy wykonywać kontrole co rok, a nawet można wydłużyć ten czas do ok. 1,5 roku, gdyż obliczenia były wykonywane metodą najgorszego przypadku, tzn. założono, że błąd wodomierza montowanego wynosi 2% i w trakcie eksploatacji pogarsza się jego dokład-

ność (zob. rys. 4) .

Większy problem stanowią straty  $S_1$  wynikające z dopuszczalnych granic błędów wzorcowania. Zostały one również obliczone metodą najgorszego przypadku i należy się spodziewać, że w praktyce są one mniejsze wskutek uśrednienia.

Osobne zagrożenie stanowią straty  $S_3$  spowodowane wielką ilością uszkodzeń katastroficznych i główny nacisk musi być położony na ich zmniejszenie. Można to zrealizować dwoma sposobami:

- A. Zwiększenie niezawodności wodomierzy poprzez zmniejszenie ich obciążenia lub wymianę na inne przystosowane do większych obciążeń. Zależność liczby uszkodzeń od średniego obciążenia wod. le-  
rze ilustruje tablica 1.

Tablica 1

$q_{sri} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$	0 + 100	100 + 200	ponad 200
Liczba wodomierzy W	9	7	4
Liczba uszkodzeń elementów E	20	24	19
E/W	2,2	3,4	4,7

- B. Wykonywanie kontroli z powtarzalnością określoną na rys. 5, tzn. co ok. 1 miesiąc. Praktycznie jest to nierealne i niecelowe przy istniejącej metodzie A. Można najwyżej starać się wykryć uszkodzenie wodomierza podczas co miesięcznego odczytu jego wskazań, ale nie zawsze jest to możliwe.

Należy zatem podkreślić, że duża liczba uszkodzeń katastroficznych powoduje znaczne straty dla WFWiK.

Na zakończenie trzeba zaznaczyć, że czasy  $t_{opt}$  zostały określone przy podanych uprzednio założeniach. Możliwe jest zatem przyjęcie

innych, bardziej złożonych kryteriów dla oceny niezawodności wodomierzy, jak to zostało zrobione w pracach [1], [3], [5], [6].

#### 7. Literatura

- [1] Boehler J., Rathke H.: Handbuch der Wassermessung. VEB Verlag Technik, Berlin 1965.
- [2] Dworaczek J.: Gospodarka wodomierzami w systemie zaopatrzenia w wodę. Praca dyplomowa Pol. Śl., Gliwice 1977.
- [3] Frączek J.: Zbieranie materiału statystycznego dla oceny niezawodności wodomierzy, oraz ocena niektórych wskaźników niezawodności wodomierzy. Sprawozdanie z obozu naukowego w WPWIK, Katowice 1978.
- [4] Hageł M.: Badania niezawodnościowe wodomierzy. Sprawozdanie z wyników badań. Instytut Automatyki Pol. Śl., Gliwice 1980.
- [5] Mrozek T.: Wpływ okresu powtarzania kontroli na współczynnik gotowości wybranych urządzeń w systemie sterowania wód GOP. Praca dyplomowa Pol. Śl., Gliwice 1978.
- [6] Piotrowski J.: Pomiar przepływu wody w rurociągach w systemie wodno-gospodarczym. Zeszyt Naukowy Pol. Śl., Seria Automatyka 48, Gliwice 1979.
- [7] Katalog. Wodomierze śrubowe typu MZ. Fabryka Aparatury i Urządzeń Komunalnych, Poznań.

#### УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОМЕРОВ НА ОСНОВАНИИ ИСПЫТАНИЙ НА ДЕЗНОСТИ Резюме :

В статье проведено анализ результатов испытаний водомеров. На основе испытаний определено оптимальное время между очередными проверками показаний эксплуатируемых водомеров. Испытания водомеров типа ИЗ 200 велись на территории Горносилезского промышленного округа в течение двух лет.

RECOMMENDATIONS OF WATERMETERS EXPLOITATION RULES BASING ON RELIABILITY TESTING

Abstract

An analysis of the watermeter investigations is being presented in the paper. There is determined an optimum time for checking the watermeters. This researches were carried out in the GOP area during the last two years for the MZ 200 watermeters.