

METROLOGICZNE ASPEKTY DIAGNOZOWANIA

Wiktor OLCHOWIK

Instytut Systemów Elektronicznych, Wydział Elektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, fax (22) 68 39 125
e-mail: wolchowik@wel.wat.edu.pl

Streszczenie

W niniejszym artykule dokonano analizy wpływu niepewności pomiaru na wiarygodność diagnozy przy założeniach, że przedział dopuszczalnych wartości badanego sygnału jest ściśle określony a wszystkie relacje pomiędzy wynikiem badania a diagnozą eksploatacyjną są jednoznaczne.

Słowa kluczowe: pomiar, diagnostyka obiektów technicznych.

METROLOGICAL ASPECTS OF DIAGNOSING

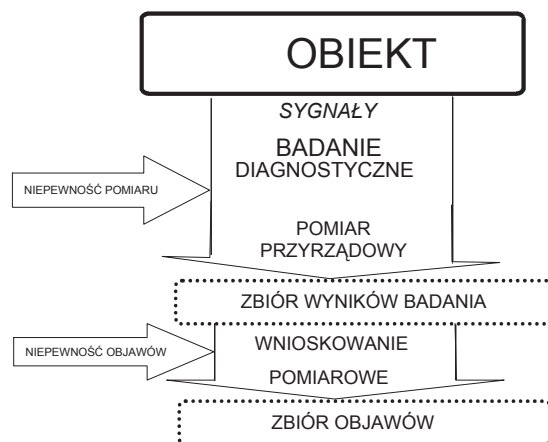
Summary

This article contains analyses of the influence the measurement's uncertainty on the reliability diagnoses assuming that: the range of allowed values measured signal is determined, all relations between the result of measurements and diagnosis are unequivocal.

Keywords: measure, technical system diagnostics.

1. WPROWADZENIE

Diagnozowanie jest złożonym, kilkuetapowym procesem przetwarzania pierwotnej informacji o wielkościach opisujących obiekt na informację o stanie obiektu, czyli na diagnozę. Na każdym etapie mogą występować czynniki powodujące niejednoznaczność tego przetwarzania. W efekcie końcowym powoduje to, że diagnoza jest obciążona niepewnością lub inaczej mówiąc charakteryzuje się obniżoną wiarygodnością. Szczególnie istotny wpływ na wiarygodność diagnozy mają początkowe etapy procesu diagnostycznego: badanie diagnostyczne i wnioskowanie pomiarowe (rys. 1).

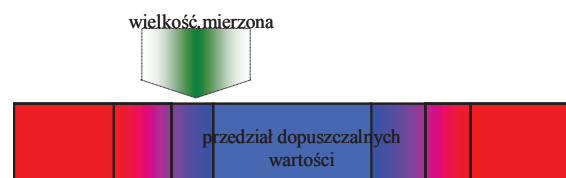


Rys. 1. Początkowe dwa etapy łańcucha działań w procesie diagnozowania

Badanie diagnostyczne realizowane jest najczęściej jako pomiar przyrządowy i obciążone jest niepewnością pomiaru. Rzeczywista wartość

sygnału diagnostycznego może więc być inna niż wartość zmierzona.

Wnioskowanie pomiarowe w najprostszym przypadku polega na porównaniu wyników badania diagnostycznego (czyli zmierzonych wartości sygnału diagnostycznego) z odpowiednimi przedziałami wartości dopuszczalnych dla wyróżnionych stanów obiektu. Przedziały te często nie są jednoznacznie określone – są przedziałami o wartościach brzegowych rozmytych (rys. 2). Stwierdzenie, że zmierzona wartość sygnału (czyli wynik badania) zawiera się w określonym przedziale wartości stanowi stwierdzenie istnienia określonego objawu stanu. Tym samym niepewność zaliczenia wyniku pomiaru do określonego przedziału przekłada się na niepewność stwierdzenia określonego objawu stanu.



Rys. 2. Ilustracja niepewności pomiaru w aspekcie niepewności objawu

Z wymienionego powodu cały proces wnioskowania diagnostycznego jest realizowany w warunkach informacji niepewnej, co wpływa na zmniejszenie wiarygodności diagnozy.

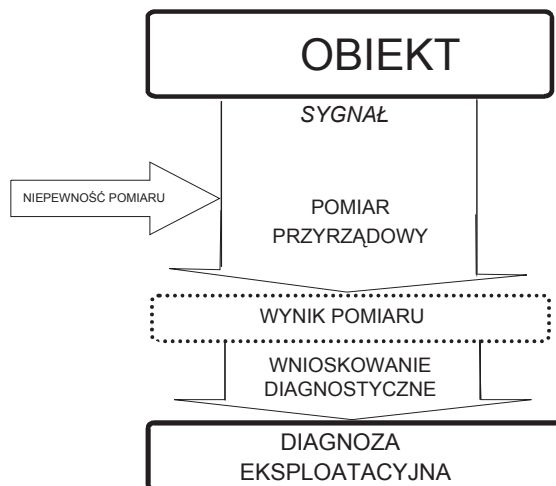
2. ZAŁOŻENIA

Teoretyczna analiza wiarygodności diagnozy nawet w aspekcie nałożenia się dwóch czynników niepewności jest stosunkowo skomplikowana. Można natomiast przeprowadzić analizę wpływu każdego z czynników osobno.

W celu przeprowadzenia obserwacji wpływu niepewności pomiaru na wiarygodność diagnozy przyjęto następujące założenia upraszczające:

1. Badanie diagnostyczne polega na pomiarze tylko jednej wielkości fizycznej.
2. Relacja **sygnał – wynik pomiaru** jest obciążona niepewnością pomiaru.
3. Niepewność pomiaru jest znana.
4. Przedział dopuszczalnych wartości badanego sygnału jest ściśle określony.
5. Wszystkie relacje pomiędzy wynikiem badania a diagnozą eksploatacyjną są jednoznaczne.

W takim przypadku schemat łańcucha działań diagnostycznych można przedstawić jak na rys. 3.



Rys. 3. Schemat uproszczonego łańcucha działań w procesie diagnozowania

Przy tak sformułowanych założeniach można przyjąć, że:

1. Przedział dopuszczalnych wartości jest przedziałem zdatności obiektu.
2. Jeżeli wartość rzeczywista wielkości mierzonej mieści się w przedziale dopuszczalnych wartości, to obiekt jest zdatny.
3. Zdatność obiektu jest określona z prawdopodobieństwem zależnym od warunków pomiaru.

3. ANALIZA PRAWDOPODOBIEŃSTWA ZDATNOŚCI

Przy przyjętych powyżej założeniach gęstość prawdopodobieństwa wystąpienia rzeczywistej

wartości sygnału badanego dla pojedynczego pomiaru wyraża się wzorem:

$$p(x, x_o, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left(\frac{(x-x_o)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

gdzie:

x – wartość rzeczywista sygnału badanego;

x_o – wartość zmierzona sygnału badanego;

σ - niepewność standardowa pomiaru;

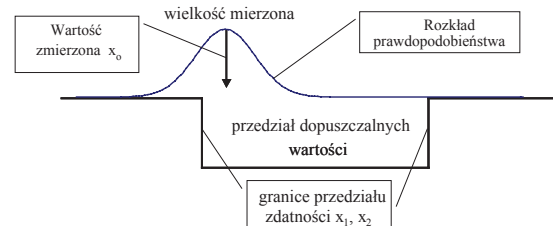
Prawdopodobieństwo zdatności będzie natomiast zależne od dopuszczalnych wartości wielkości mierzonej, czyli od charakteru przedziału zdatności. Dla przedziału zdatności ograniczonego dwustronnie prawdopodobieństwo zdatności wyraża się wzorem:

$$P(x, x_o, \sigma) = \int_{x_1}^{x_2} p(x, x_o, \sigma) dx$$

gdzie:

x_1, x_2 – wartości graniczne przedziału dopuszczalnych wartości sygnału badanego (przedziału zdatności);

Powyższy przypadek można zilustrować graficznie jak na rys. 4.

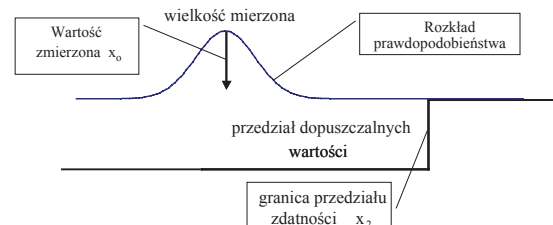


Rys. 4. Ilustracja wpływu niepewności pomiaru na prawdopodobieństwo zdatności dla przedziału zdatności ograniczonego dwustronnie

Dla przedziału zdatności ograniczonego jednostronnie od góry prawdopodobieństwo zdatności wyraża się wzorem:

$$P(x, x_o, \sigma) = \int_{-\infty}^{x_2} p(x, x_o, \sigma) dx$$

Powyższy przypadek można zilustrować graficznie jak na rys. 5.

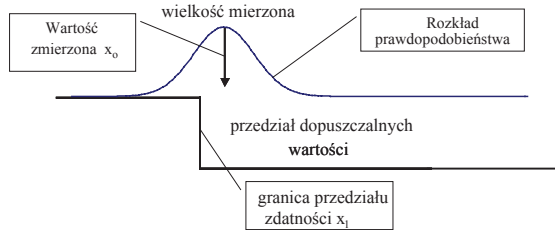


Rys. 5. Ilustracja wpływu niepewności pomiaru na prawdopodobieństwo zdatności dla przedziału zdatności ograniczonego od góry

Dla przedziału zdatności ograniczonego jednostronnie od dołu prawdopodobieństwo zdatności wyraża się wzorem:

$$P(x, x_0, \sigma) = \int_{x_1}^{\infty} p(x, x_0, \sigma) dx$$

Powyższy przypadek można zilustrować graficznie jak na rys. 6.



Rys. 6. Ilustracja wpływu niepewności pomiaru na prawdopodobieństwo zdatności dla przedziału zdatności ograniczonego od dołu

4. PRAWDOPODOBIENSTWO ZDATNOŚCI DLA PRZEDZIAŁU ZDATNOŚCI OGRANICZONEGO DWUSTRONNIE

Dla przedziału zdatności o wartościach granicznych x_1 i x_2 możemy określić następujące wielkości:

- wartość środkową przedziału zdatności

$$x_s = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

- względne odchylenie od wartości środkowej przedziału zdatności zdefiniowane jako stosunek wartości bezwzględnej odchylenia do połowy długości przedziału zdatności

$$d_x = 2 \frac{x_0 - x_s}{x_2 - x_1}$$

- względną niepewność pomiaru jako stosunek bezwzględnej niepewności pomiaru do połowy długości przedziału zdatności

$$\sigma_r = 2 \frac{\sigma}{x_2 - x_1}$$

Wówczas gęstość prawdopodobieństwa zdatności wyraża się wzorem:

$$p(d_x, \sigma_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_r} e^{-\left(\frac{d_x^2}{2\sigma_r^2}\right)}$$

a prawdopodobieństwo zdatności wyraża się wzorem:

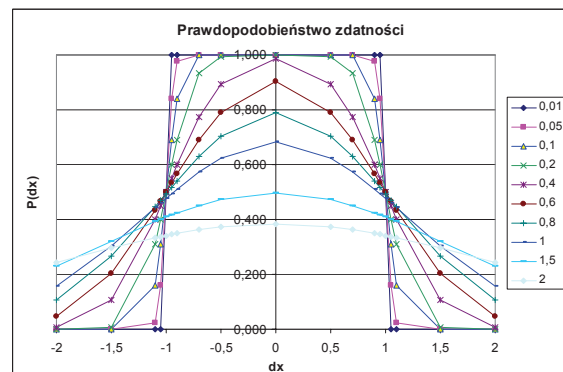
$$P(d_x, \sigma_r) = \int_{x_1}^{x_2} p(d_x, \sigma_r) dd_x$$

Korzystając z przedstawionych wzorów można obliczyć prawdopodobieństwo zdatności dla poszczególnych przypadków względnego odchylenia pomierzonej wartości od środka przedziału zdatności i względnej niepewności pomiaru. Wyniki symulacji cyfrowej przedstawiono w poniższej tabeli.

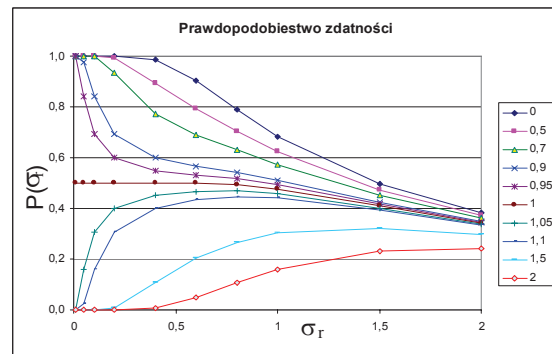
Tabela 1. Prawdopodobieństwo zdatności

	względna niepewność pomiaru - σ_r						
	0,01	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,048	0,106
-1,5	0,000	0,000	0,000	0,006	0,106	0,202	0,265
-1,1	0,000	0,023	0,159	0,309	0,401	0,434	0,446
-1,05	0,000	0,159	0,309	0,401	0,450	0,466	0,470
-1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
-0,95	0,000	0,159	0,309	0,401	0,450	0,467	0,482
-0,9	0,000	0,023	0,159	0,309	0,401	0,435	0,459
-0,7	0,000	0,000	0,001	0,067	0,227	0,311	0,371
-0,5	0,000	0,000	0,000	0,006	0,106	0,209	0,296
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,096	0,211
0,5	0,000	0,000	0,000	0,006	0,106	0,209	0,296
0,7	0,000	0,000	0,001	0,067	0,227	0,311	0,371
0,9	0,000	0,023	0,159	0,309	0,401	0,435	0,459
0,95	0,000	0,159	0,309	0,401	0,450	0,467	0,482
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
1,05	0,000	0,159	0,309	0,401	0,450	0,466	0,470
1,1	0,000	0,023	0,159	0,309	0,401	0,434	0,446
1,5	0,000	0,000	0,000	0,006	0,106	0,202	0,265
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,048	0,106

Natomiast wykresy prawdopodobieństwa zdatności jako funkcji względnego odchylenia od środka przedziału zdatności oraz względnej niepewności pomiaru przedstawiają odpowiednio wykresy na rys. 7 i 8.



Rys. 7. Wykres prawdopodobieństwa zdatności w funkcji względnego odchylenia od środka przedziału zdatności dla różnych wartości względnej niepewności pomiaru



Rys. 8. Wykres prawdopodobieństwa zdatności w funkcji względnej niepewności pomiaru dla różnych wartości względnego odchylenia od środka przedziału zdatności

Można założyć, że obiekt diagnozowany jest zdalny, gdy wartość wielkości badanej znajduje się wewnątrz przedziału zdalności oraz niezdalny, gdy na zewnątrz przedziału. Natomiast w przypadku, gdy wartość wielkości badanej przyjmuje dokładnie wartość graniczną przedziału zdalności można przyjąć, że prawdopodobieństwo zdalności obiektu diagnozowanego wynosi $\frac{1}{2}$. Czyli oczekiwane prawdopodobieństwo zdalności P_0 bez uwzględnienia wpływu niepewności pomiaru, można przedstawić w postaci wzoru:

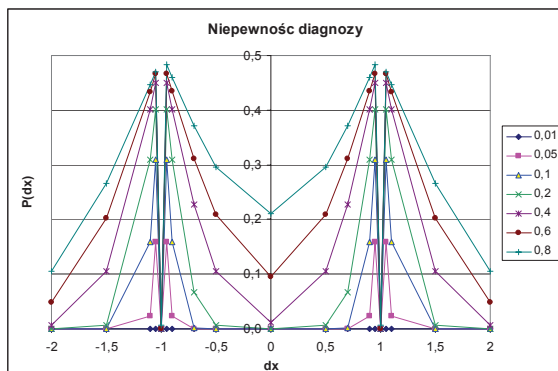
$$P_0(x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x_1 < x < x_2 \\ \frac{1}{2} & \text{dla } x = x_1 \text{ lub } x = x_2 \\ 0 & \text{dla } x < x_1 \text{ lub } x > x_2 \end{cases} \quad \text{lub}$$

$$P_0(d_x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } -1 < d_x < 1 \\ \frac{1}{2} & \text{dla } d_x = -1 \text{ lub } d_x = 1 \\ 0 & \text{dla } d_x < -1 \text{ lub } d_x > 1 \end{cases}$$

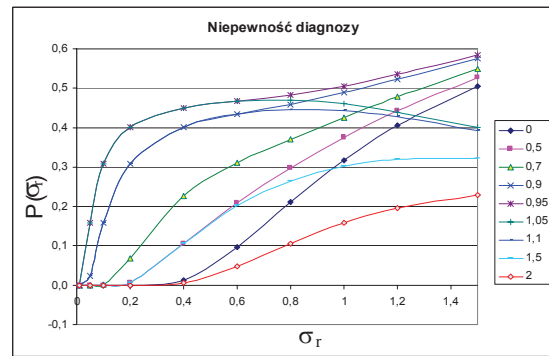
Natomiast niepewność diagnozy P_σ , rozumiana jako prawdopodobieństwo niewłaściwej diagnozy, może być reprezentowana przez wartość bezwzględną różnicy prawdopodobieństwa zdalności bez uwzględnienia niepewności pomiaru i prawdopodobieństwa zdalności obiektu z uwzględnieniem niepewności pomiaru

$$P_\sigma = |P_0(d_x) - P(d_x, \sigma_r)|$$

Stąd prawdopodobieństwo niepewności diagnozy w funkcji niepewności pomiaru i względnej wartości wielkości mierzonej przedstawiono na wykresach rys. 9. i rys. 10.



Rys. 9. Wykres prawdopodobieństwa niepewności diagnozy P_σ w funkcji względnego odchylenia od środka przedziału zdalności



Rys. 10. Wykres prawdopodobieństwa niepewności diagnozy P_σ w funkcji względnej niepewności pomiaru

Analogicznie można dokonać analizy niepewności diagnozy dla przypadków, gdy przedział zdalności jest tylko jednostronnie ograniczony.

5. WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych wykresów można zauważyć, że:

- największa niepewność diagnozy występuje w przypadku, gdy wartość pomierzona sygnału diagnostycznego jest bliska wartości granicznej przedziału zdalności;
- dla niepewności pomiaru przekraczającej 10% przedziału zdalności niepewność diagnozy jest zbyt duża, by mogła stanowić podstawę do oceny zdalności procesów krytycznych.

LITERATURA

- [1] Dąbrowski T.: *Metrologiczno-informacyjne aspekty badań diagnostycznych*. Diagnostyka, PTDT, Vol. 26, 2002, ss. 101-106.
- [2] Będkowski L., Dąbrowski T.: *Diagnozowanie na podstawie niepewnych syndromów stanu obiektu*. Diagnostyka, PTDT, Vol. 37, 2006. ss. 55÷60.



Wiktor OLCHOWIK ukończył studia na Wydziale Elektroniki WAT w 1985 r. Od tego czasu jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym w Instytucie Systemów Elektronicznych WAT. W 1999 r. uzyskał tytuł doktora nauk technicznych. Jego zainteresowania zawodowe

objęmują obszary: automatyka, diagnostyka techniczna, komputerowe systemy pomiarowe i diagnostyczne, cyfrowe przetwarzanie sygnałów.