

Metrologia: powtarzalność i odtwarzalność pomiarów



dr inż. Paweł Zalewski
Akademia Morska w Szczecinie

Definicje:

Pojęciami związanymi z metodami diagnozowania procesów i oceny ich bezpieczeństwa oraz z analizą systemu pomiarowego (MSA) są powtarzalność i odtwarzalność pomiaru.

Powtarzalność (ang. **repeatability**) to według VIM stopień zgodności kolejnych wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonywanych w tych samych warunkach pomiarowych.

Warunki powtarzalności obejmują:

- tę samą procedurę pomiarową,
- tego samego obserwatora,
- ten sam przyrząd pomiarowy stosowany w tych samych warunkach,
- to samo miejsce,
- powtarzanie w krótkich odstępach czasu.

Definicje:

Odtwarzalność (ang. **reproducibility**) to według VIM stopień zgodności wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonywanych w zmienionych warunkach pomiarowych.

Warunki, które mogą podlegać zmianom to m.in.: **metoda pomiarowa, osoba wykonująca pomiar, przyrząd pomiarowy, wzorce, warunki otoczenia, czas.**

Zmienność wynikającą z błędu metody pomiarowej σ_m można przypisać właśnie tym dwóm czynnikom: odtwarzalności σ_o (**AV** - *Appraiser Variation*) i powtarzalności σ_p (**EV** - *Equipment Variation*).

Wartość błędu metody pomiarowej lub postępowania pomiarowego (ang. **precision**) można wyznaczyć przy pomocy wzoru:

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_o^2 + \sigma_p^2}$$

Definicje:

Rozrzut σ (odchylenie standardowe) charakteryzujący niepewność wyników pomiaru (**ang. uncertainty**) będzie równy:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_m^2}$$

gdzie:

σ_r - rzeczywisty rozrzut parametru w procesie,

σ_m - rozrzut wynikający z błędu postępowania pomiarowego.

Gdy σ_m stanowi mniej niż 10 % σ_r , to wpływ jego na σ będzie mniejszy niż 1%. W przypadku, gdy ogólny wpływ σ_m na oceniane rozproszenie wyników jest duży (najczęściej powyżej wspomnianego 1%), należy zbadać przyczyny tego zjawiska i starać się je wyeliminować (regulacja, wymiana przyrządów, zmiana metody pomiarowej).

Procedura określenia powtarzalności i odtwarzalności:

Aby określić σ_o i σ_p należy:

- powierzyć kilku (co najmniej dwóm) operatorom powtarzany kilkakrotnie pomiar pewnej wielkości w odpowiednio licznej n -elementowej próbie pobranej z populacji wyników,
- obliczyć wartości średnie $\bar{x}_{av}$ i rozstępy R_i poszczególnych wyników pomiaru każdego z mierzonych i -tych elementów n -elementowej próby przez każdego z operatorów (wynikające z kilkakrotnego pomiaru przez operatora danej wielkości),
- obliczyć wartości $\overline{\bar{x}_{av}}$ (średnią średnich) i $\overline{R_{av}}$ (średni rozstęp) dla każdego z operatorów, wartość średnią średnich rozstępów wynikającą z liczby operatorów $\overline{R_{av}}$, określić największą $\overline{x_{av\max}}$ i najmniejszą $\overline{x_{av\min}}$ wartość średniej średnich wśród obliczonych dla poszczególnych operatorów,

Procedura określenia powtarzalności i odtwarzalności:

- oszacować odtwarzalność σ_o , jako:

$$\sigma_o = \frac{\overline{X_{avmax}} - \overline{X_{avmin}}}{d_2}$$

(wartość współczynnika d_2 można znaleźć w tabelach statystycznych oraz w środowiskach typu STATISTICA™, zależy ona w przypadku odtwarzalności od ilości operatorów (m) dla $g=1$: np. dla dwóch operatorów $d_2 = 1,41$),

- oszacować powtarzalność σ_p , jako:

$$\sigma_p = \frac{\overline{R_{av}}}{d_2}$$

(uwaga: w tym przypadku wartość współczynnika d_2 będzie od liczby powtórzeń pomiaru w serii (m) i ilości operatorów przemnożonej przez ilość serii (g): np. dla dwóch operatorów wykonujących 10 pomiarów w trzech seriach: $d_2 = 3,1$).

Procedura określenia powtarzalności i odtwarzalności:

d_2		m										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
g	1	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18	3.27	3.35
	2	1.28	1.81	2.15	2.40	2.60	2.77	2.91	3.02	3.13	3.22	3.30
	3	1.23	1.77	2.12	2.38	2.58	2.75	2.89	3.01	3.11	3.21	3.29
	4	1.21	1.75	2.11	2.37	2.57	2.74	2.88	3.00	3.10	3.20	3.28
	5	1.19	1.74	2.10	2.36	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.28
	6	1.18	1.73	2.09	2.35	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27
	7	1.17	1.73	2.09	2.35	2.55	2.72	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27
	8	1.17	1.72	2.08	2.35	2.55	2.72	2.87	2.98	3.09	3.19	3.27
	9	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27
	10	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27
	11	1.16	1.71	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27
	12	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.72	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27
	13	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.72	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27
	14	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.27
	15	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.26
	>15	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078	3.173	3.258

Źródło: Chrysler, Ford, General Motors, "Measurement System Analysis", (2d ed.), Southfield, MI, Automotive Industry Action Group, 1998 oraz Statsoft®, 2002.

Procedura określenia powtarzalności i odtwarzalności:

Na podstawie powyższych wyników oraz uwzględniając warunek stanowiący, że wartość $5,15\sigma_m$ nie powinna przekraczać 10% wielkości tolerancji (TV) nałożonej na parametr będący przedmiotem pomiaru, można określić, czy i ewentualnie na jaki czynnik zmienności w systemie pomiarowym należy wpłynąć.

Jeśli wpływ odtwarzalności σ_o na wartość σ_m jest dominujący, należy podjąć decyzje odnośnie do warunków, w jakich odbywają się pomiary (np. szkolenie operatorów, utrzymanie właściwych warunków otoczenia).

Jeżeli natomiast dominuje wpływ czynnika powtarzalności σ_p – trzeba rozważyć zmianę/naprawę/kalibrację przyrządu pomiarowego.

Procedura określenia powtarzalności i odtwarzalności:

Prostą oceną systemu pomiarowego jest sprawdzenie wartości %R&R.

$$\%R \& R = \frac{\sigma_m}{\sigma_p} \times 100 = \frac{R \& R}{EV} \times 100$$

Gdy jest ona:

- mniejsza niż 10% - system jest do zaakceptowania,
- 10%-30% - system może być zaakceptowany warunkowo,
- powyżej 30% - system pomiarowy nie do zaakceptowania, konieczne jest udoskonalenie.