

WPLYW AUTOMATYZACJI PROCESU POMIAROWEGO NA NIEPEWNOŚĆ WZORCOWANIA WZORCÓW MASY I ODWAŻNIKÓW.

Artykuł przedstawia wpływ automatyzacji procesu komparacji wzorców masy na niepewność pomiaru przy wyznaczaniu masy wzorców masy lub odważników.

Na podstawie badań wybranych typów komparatorów manualnych i automatycznych o tych samych charakterystykach metrologicznych w zakresie obciążenia i działki elementarnej wyznaczone zostały parametry powtarzalności komparatorów które mają znaczący udział w budżecie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu wzorców masy i odważników.

Pomiary zostały przeprowadzone w takich samych warunkach środowiskowych, charakterystycznych dla wzorcowania wzorców masy i odważników najwyższych klas dokładności (E_1 i E_2).

WPROWADZENIE

... „w przyrodzie nie ma pomiarów dokładnych”... z tak postawioną tezą zgodzą się chyba wszyscy, którzy mają do czynienia z jakimikolwiek pomiarami – zaczynając od pomiarów wykonywanych przez dzieci w szkołach podstawowych, poprzez wszelkie pomiary „domowe” i przemysłowe, a kończąc na zaawansowanych pomiarach w ośrodkach naukowych i badawczych. W obecnych czasach mamy do dyspozycji coraz dokładniejsze przyrządy pomiarowe, w większości wykorzystujące technologie cyfrowe.

Dynamiczny rozwój elektroniki spowodował rewolucyjne zmiany w budowie i zasadzie działania wielu przyrządów pomiarowych, w tym również i wag. Obecnie powszechnie stosowanymi przyrządami do pomiaru masy są szeroko rozumiane wagi elektroniczne. Nerozerwalnie z wagą był odważnik. Nie inaczej jest i teraz, jednak jego rola znacząco się zmieniła. Dzisiaj wzorce masy i odważniki są używane prawie wyłącznie do adiustacji oraz sprawdzania i/lub wzorcowania wag elektronicznych. Ich pierwotne przeznaczenie do równoważenia popularnych wag szalkowych w dzisiejszych czasach praktycznie zanikło.

Podstawowym urządzeniem niezbędnym w procesie wzorcowania odważników, obok wzorców odniesienia, jest komparator masy, pozwalający na porównywanie mas (wzorca odniesienia i odważnika badanego) z bardzo dużą rozdzielczością.

1. Parametry metrologiczne komparatorów masy

Komparatory masy są urządzeniami przeznaczonymi do wyznaczania różnicy pomiędzy masą wzorca badanego (B), a znaną masą wzorca odniesienia (A). Komparatory są najczęściej stosowane w laboratoriach pomiarowych do wzorcowania wzorców masy, odważników i różnego rodzaju obciążników technologicznych.

Na dokładność pomiarową komparatora mają szczególny wpływ warunki środowiskowe takie jak temperatura powietrza i wilgotność względna powietrza oraz ich zmiany w czasie, wszelkiego rodzaju podmuchy i zawirowania powietrza oraz wibracje pochodzące ze źródeł zewnętrznych).

Mimo, że komparatory nie podlegają prawnej kontroli metrologicznej i nie ma w stosunku do nich bezpośredniego zastosowania norma EN 45501, podstawowe charakterystyki metrologiczne możemy definiować na podstawie przytoczonej wyżej normy.

Działka elementarna d , której definicję znajdziemy w punkcie T.3.2.2 normy PN-EN 45501 jest to wyrażona w jednostkach masy wartość różnicy między wartościami odpowiadającymi dwóm sąsiednim wskazaniom podziałki, przy wskazaniu analogowym, lub różnicy między wartościami dwóch kolejnych wskazań, przy wskazaniu cyfrowym.

Obciążenie maksymalne Max (p. T.3.1.1) jest to maksymalna zdolność ważenia bez uwzględnienia granicy zakresu dodającego urządzenia tarującego. W przypadku komparatora będzie to maksymalna masa jaka może być wzorcowana na danym komparatorze.

Powtarzalność według Międzynarodowego Słownika Metrologii (VIM) jest to precyzja pomiaru w warunkach powtarzalności pomiaru. Według definicji T.4.3 opisanej w Normie EN 45501 powtarzalność jest to zdolność do skazywania zgodnych ze sobą wyników, gdy ten sam ładunek jest umieszczany kilka razy ma nośni ładunku, niemal w jednakowy sposób i w możliwie stałych warunkach badań.

Powtarzalność, wyrażana ilościowo za pomocą odchylenia standardowego jest najważniejszym parametrem metrologicznym komparatora.

Odchylenie standardowe komparatora wyznaczone jest dla różnic wskazań (r) pomiędzy odważnikiem badanym (B) a wzorcem odniesienia (A) dla określonej ilości n serii ABBA lub ABA .

Odchylenie standardowe komparatora wyznaczymy stosując równanie przedstawione poniżej::

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}{n-1}} \quad (1)$$

gdzie - r_i – różnica średnich B - A i -tego pomiaru

\bar{r} - średnia arytmetyczna różnic dla n wyników pomiarów

Różnicę wskazań r_i dla metody ABBA dla każdej i -tej serii pomiarów wyznaczono z zależności:

$$r_i = \bar{B} - \bar{A} \quad (2)$$

gdzie: \bar{B} jest to średnie wskazanie dla odważnika badanego dla danej i -tej serii ABBA

\bar{A} jest to średnie wskazanie dla wzorca odniesienia dla danej i -tej serii ABBA

Wartość średnią różnic r_i obliczono wg zależności:

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n r_i \quad (3)$$

gdzie: n – liczba pomiarów (serii ABBA lub ABA)

Odchylenie standardowe jest najczęściej stosowanym kryterium akceptacji komparatora podczas wzorcowania i/lub sprawdzania. Podawany jest również w kartach katalogowych producentów komparatorów.

Poniżej przedstawiono przykładowe obliczenia parametru powtarzalności komparatora WAY 5/KO o maksymalnym obciążeniu Max 5 kg oraz działce elementarnej $d = 0,1$ mg przystosowanego do wzorcowania wzorców masy i/lub odważników o nominałach 1 kg, 2 kg i 5 kg. Wykonano 6 serii pomiarów ABBA dla obciążenia 1 kg stosując dwa wzorce masy. Następnie obliczono różnice pomiędzy wzorcem badanym i kontrolnym dla poszczególnych serii dla średnich wskazań B i A wg równania (2) i otrzymano kolejne wyniki przedstawione w Tabeli 1

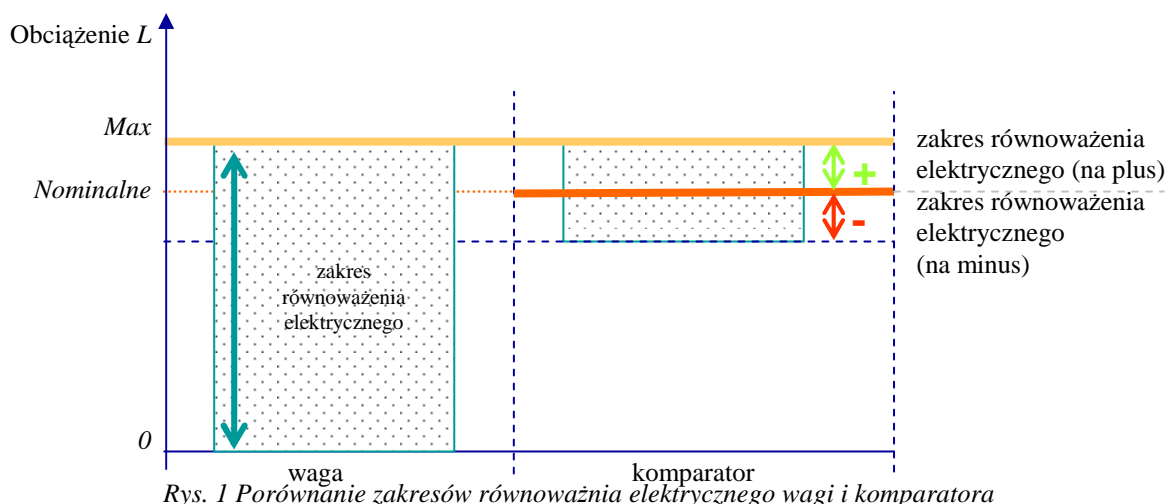
Lp.	A - kontrolny [g]	B - badany [g]	B - badany [g]	A - kontrolny [g]	r_i [g]
1	0,0000	1,0001	0,9998	-0,0003	1,00010
2	-0,0003	0,9999	0,9999	-0,0004	1,00025
3	-0,0006	0,9995	0,9996	-0,0005	1,00010
4	-0,0004	0,9998	0,9996	-0,0004	1,00010
5	-0,0002	1,0000	0,9999	-0,0002	1,00015
6	-0,0005	0,9997	0,9999	-0,0005	1,00030

Tabela 1 Wyniki przykładowych pomiarów dla obciążenia 1 kg

Na podstawie równania (3) obliczono wartość średnią r_i i otrzymano wynik 1,000167 g. Przy zastosowaniu równania (1) obliczono odchylenie standardowe dla 6-ciu różnic r_i i otrzymano wynik 0,09 mg, który jest miarą parametru powtarzalności komparatora.

Zakres równoważenia elektrycznego jest to zakres pracy urządzenia w jakim odbywa się proces pomiaru (zakres ważenia). Typowy zakres równoważenia elektrycznego komparatorów różni się zasadniczo od zakresu równoważenia elektrycznego wag. Różnicę tą przedstawiono na rysunku 1.

Jak można zauważyć, zakres równoważenia elektrycznego typowej wagi elektronicznej zawiera się od 0 do maksymalnego obciążenia – czyli w pełnym zakresie ważenia. Zakres równoważenia elektrycznego typowego komparatora w zależności od konstrukcji komparatora, jest ograniczony. Charakteryzuje się tym, że pomiar może odbywać się powyżej i poniżej wartości nominalnej badanego odważnika. Rozwiązanie to dodatkowo pozwala na pomiar dużych mas z bardzo dużą dokładnością odczytu i bardzo dobrymi parametrami powtarzalności.



3. Warunki środowiskowe w laboratorium wzorcującym

Utrzymanie warunków środowiskowych w laboratorium wzorcującym wzorce masy i odważniki na odpowiednim poziomie jest niezbędne do otrzymywania wiarygodnych wyników wzorcowania. Międzynarodowe zalecenia zawarte w dokumencie OIML R111 określają maksymalne dopuszczalne wartości temperatury i wilgotności w zależności od klasy wzorcowanych wzorców masy i/lub odważników.

Klasa odważnika	Zmiana temperatury podczas wzorcowania	
	w czasie 1 godziny	w czasie 12 godzin
E1	$\pm 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
E2	$\pm 0,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
F1	$\pm 1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
F2	$\pm 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 3,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
M1	$\pm 3,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 5,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabela 2-1 Wymagania dot. warunków środowiskowych w laboratorium – temperatura powietrza (wg Dokumentu OIML R 111)

Klasa odważnika	Zmiana wilgotności podczas wzorcowania	
	zakres wilgotności	max. na 4 godziny
E1	od 40 % do 60 %	$\pm 5 \%$
E2		$\pm 10 \%$
F1		$\pm 15 \%$

Tabela 2-2 Wymagania dot. warunków środowiskowych w laboratorium – wilgotność względna powietrza (wg Dokumentu OIML R 111)

Z powyższych wymagań dokumentu R 111 wynika, że stosowany komparator masy powinien pracować poprawnie w zakresie warunków podanych w tabeli stosownie do klasy badanego

wzorca. W pewnych przypadkach może jednak zaistnieć konieczność zawężenia tych warunków, gdy parametry metrologiczne komparatora pogarszają się przy zmianie temperatury lub wilgotności. Taki stan obiektywnie może wykazać tylko badanie w miejscu użytkowania.

3. Wyznaczenie parametru powtarzalności komparatorów w cyklu pracy manualnej i automatycznej

W Laboratorium RADWAG przeprowadzono badania parametru powtarzalności komparatorów poprzez wyznaczenie odchylenia standardowego dla określonej liczby n cykli ABBA i ABA. Badania przeprowadzono na tych samych obiektach w trybie manualnym i automatycznym. Badania zrealizowano wykorzystując nową linię komparatorów masy serii WAY/2Y oraz APP/2Y/KO firmy RADWAG. Każdy z komparatorów posiada 5,7" dotykowy panel, który jest połączony z częścią mechaniczną elastycznym przewodem. Panel posiada dedykowane oprogramowanie dla komparacji mas z bazą wzorców oraz procedur. Nadzór nad procesami komparacji jest możliwy przy współpracy z programem komputerowym Radcal. Układ mechaniczny komparatora zawiera magnetoelektryczny przetwornik pomiarowy o wysokiej rozdzielczości. Dla komparacji manualnej komparatory posiadają szklaną szafkę przeciwpodmuchową. Podczas komparacji automatycznej komparator jest zabudowany wewnątrz podajnika, który posiada szklaną osłonę przeciwpodmuchową. Wszystkie komparatory posiadają półautomatyczny system adjustacji zewnętrznym wzorcem masy.

3.1 Obiekty badań

Obiekty badań stanowiły komparatory masy produkcji RADWAG

Obiekt nr 1: Komparator WAY 500/2Y/KO

▪ obciążenie maksymalne	510 g
▪ działka elementarna	$d = 0,01$ mg
▪ zakres równoważenia elektrycznego	± 10 g
▪ powtarzalność (6 cykli ABBA)	0,02 mg
▪ zakres mas do wzorcowania	100 g, 200 g, 500 g
▪ odważniki balastowe	wewnętrzne

Obiekt nr 2: Komparator WAY 1/2Y/KO

▪ obciążenie maksymalne	1000 g
▪ działka elementarna	$d = 0,01$ mg
▪ zakres równoważenia elektrycznego	± 10 g
▪ powtarzalność dla 6 cykli ABBA	0,05 mg
▪ zakres mas do wzorcowania	200 g 500 g i 1000 g
▪ odważniki balastowe	wewnętrzne



Rys.2 Komparator WAY 500/2Y/KO

Podstawowe elementy komparatorów WAY 500/2Y/KO oraz WAY 1/2Y/KO

1 – czujnik warunków środowiskowych

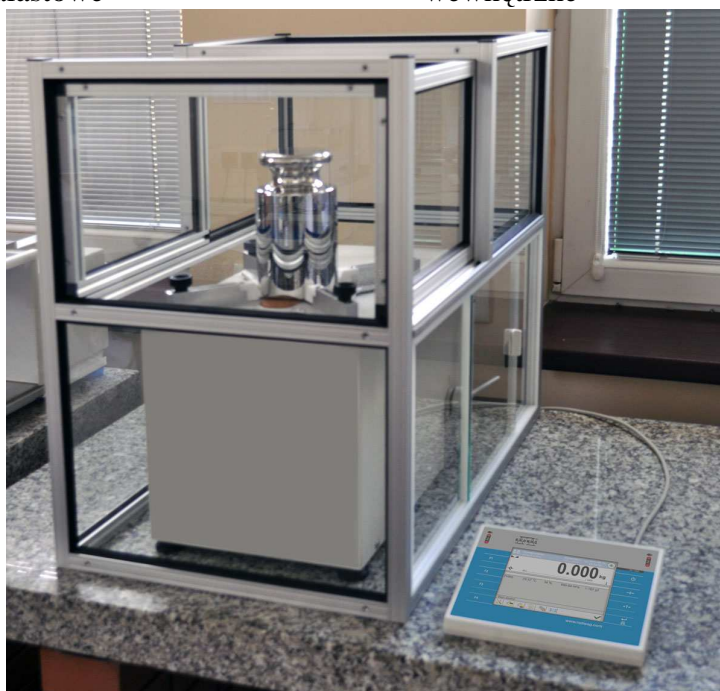
2 – układ mechaniczny z przetwornikiem magneto-elektrycznym

3 – pokrętko dla nakładania wewnętrznych odważników balastowych

4 – panel odczytowy

Obiekt nr 3: Komparator APP 20/2Y/KO

- obciążenie maksymalne 20 kg
- działka elementarna $d = 1 \text{ mg}$
- zakres równoważenia elektrycznego $\pm 500\text{g}$
- powtarzalność dla 6 cykli ABBA 2 mg
- zakres mas do wzorcowania 10 kg, 20 kg
- odważniki balastowe wewnętrzne



Rys. 3 Komparator APP 20/2Y/KO

Komparator posiada aluminiową szalkę z wykładziną korkową oraz uchwyty dla centrowania wzorca masy. Z boku części mechanicznej znajduje się przełącznik wewnętrznych mas

balastowych. Komora ważenie ma odsuwającą górną szybę przez którą nakłada się wzorcowane masy.

3.2 Procedura pomiarowa

Badanie manualne

Procedura polegała na wyznaczeniu parametru powtarzalności komparatorów dla różnych ilości cykli ABA i ABBA.

Różnicę wskazań r_i dla metody ABBA dla każdej i -tej serii pomiarów wyznaczono z zależności:

$$r_i = \bar{B} - \bar{A} \quad (4)$$

gdzie: \bar{B} jest to średnie wskazanie dla odważnika badanego dla danej i -tej serii ABBA
 \bar{A} jest to średnie wskazanie dla wzorca odniesienia dla danej i -tej serii ABBA

Na podstawie otrzymanych różnic obliczono odchylenie standardowe wg wzoru:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r}_i)^2 \quad (5)$$

$$\text{gdzie: } \bar{r}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i \quad (6)$$

Różnicę wskazań r_i dla metody ABA dla każdej i -tej serii pomiarów wyznaczono z zależności:

$$r_i = B - \bar{A} \quad (7)$$

Na podstawie otrzymanych różnic obliczono odchylenie standardowe wg wzoru (5)

W metodzie ABBA ustalono pomiary dla 2, 3, 4, 5, 6, 10 i 20 cykli, natomiast w metodzie ABA – 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 i 20 cykli

Badanie automatyczne

W cyklu automatycznym wyznaczono parametry powtarzalności komparatorów dla takich samych ilości cykli ABA i ABBA jak w przypadku badań manualnych.

3.3 Stanowiska badawcze:

3.3.1. Warunki środowiskowe

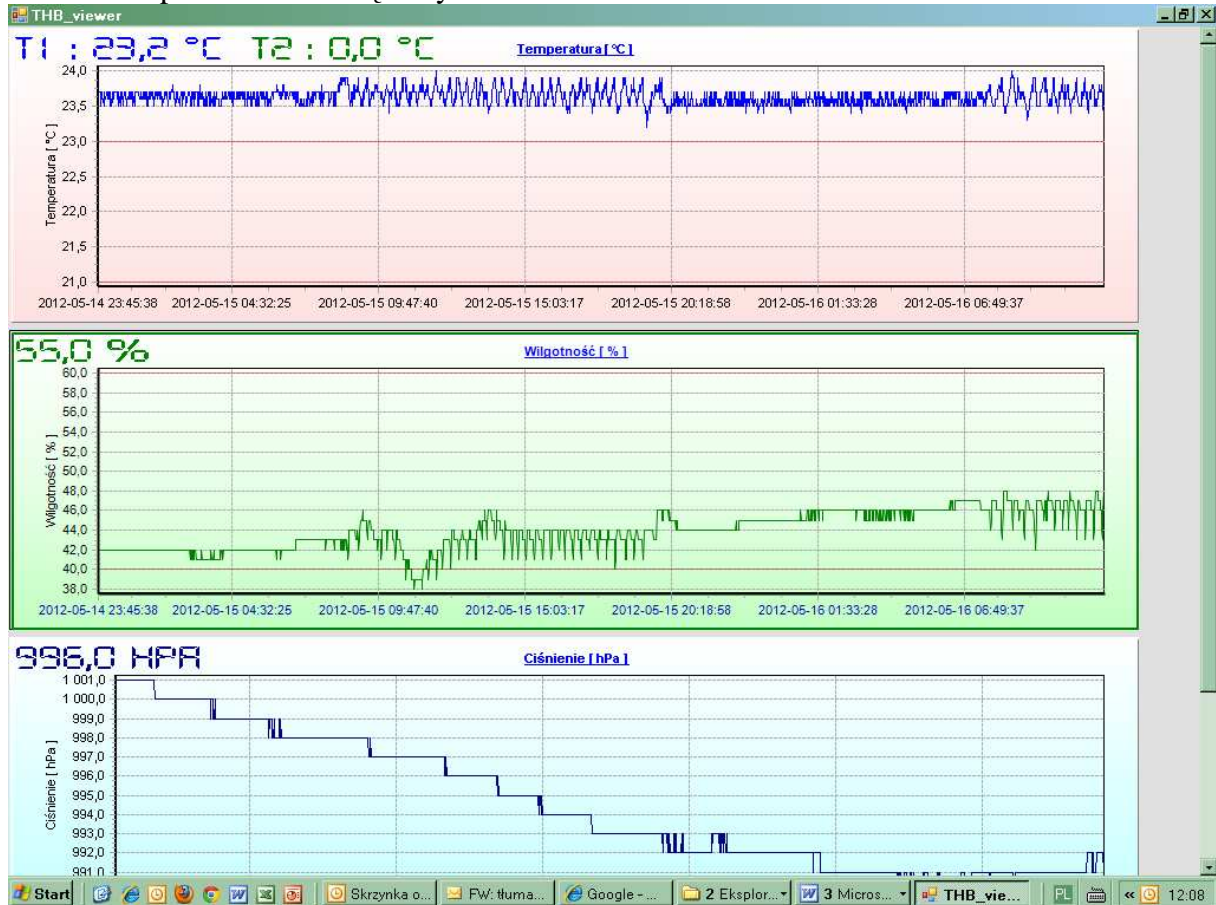
Podczas komparacji manualnej i automatycznej wykorzystano pomieszczenia Laboratorium Badawczego RADWAG. Warunki środowiskowe w trakcie wykonywania wszystkich pomiarów zawierały się w przedziałach:

- temperatura 22,8 °C ÷ 23,4 °C

- wilgotność 46% ÷ 54 %

Podczas badań nie stwierdzono, żeby dynamika tych wartości była większa niż ta zdefiniowana w dokumencie R-111 OIML dla klasy E₁ - patrz pkt. C2. Wymagania ogólne.

Wszystkie pomieszczenia w których wykonywano pomiary posiadają automatyczną regulację temperatury oraz wilgotności z rejestracją w trybie on-line. Przykładowe wyniki z monitoringu warunków środowiskowych przy zastosowaniu Rejestratora i czujników RWS produkcji RADWAG przedstawione są na rysunku 4.



Rys.4 Przykładowe wyniki monitoringu warunków środowiskowych z Rejestratora RWS

3.3.2. Stanowisko pomiarowe dla komparacji manualnej

Pomieszczenie Laboratorium w którym wykonano pomiary jest zlokalizowane na poziomie „0”. Fundament konsoli badawczych oddzielony jest od fundamentu budynku – eliminacja drgań podłoża. Na stanowisku znajdują się:

- układ regulacji warunków środowiskowych
- komparator APP 20/2Y/KO
- komparator WAY 1/2Y/KO
- komparator WAY 500/2Y/KO



Rys. 5 Stanowisko pomiarowe przy badaniu manualnym komparatorów

3.3.3. Zastosowanie wewnętrznych mas balastowych przy komparacji odważników.

Podczas komparacji każdy odważnik jest równoważony do stanu „0”. Praktycznie oznacza to konieczność używania mas balastowych celem zrównoważenia komparatora. Wszystkie obiekty badane posiadały półautomatyczny układ takiej regulacji. Był on realizowany poprzez zabudowane wewnątrz konstrukcji komparatora masy balastowe. Wybór komparowanej masy był jednoznacznie oznaczony.



WAY 500/2Y/KO



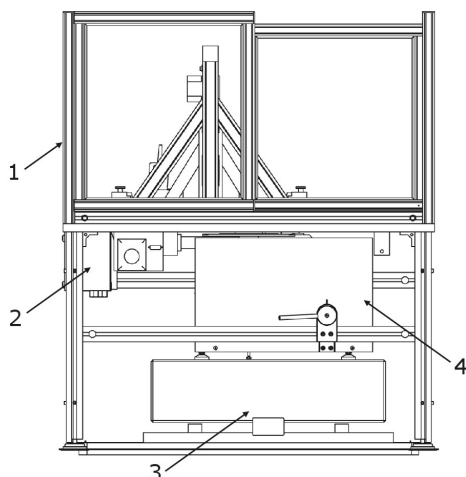
WAY 20/2Y/KO

Rys. 6 Oznaczenie komparowanych na komparatorach

3.3.4. Stanowisko pomiarowe dla komparacji automatycznej

Badanie parametru powtarzalności komparatorów w trybie pracy automatycznej wykonano w pomieszczeniach badawczo – kontrolnych wag wysokich rozdzielczości firmy RADWAG na poziomie „0”. Pomieszczenie te podobnie jak pomieszczenia Laboratorium wyposażone są w układ regulacji parametrów środowiskowych (temperatura oraz wilgotność względna powietrza) oraz rejestrator parametrów środowiskowych (temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, ciśnienie atmosferyczne). Warunki środowiskowe w obu pomieszczeniach są zadane na tych samych poziomach i również podlegają procesowi ciągłego monitorowania. Każdy komparator pracujący w trybie automatycznym osadzony jest na specjalnym podłożu antywibracyjnym w dolnej części konstrukcji.

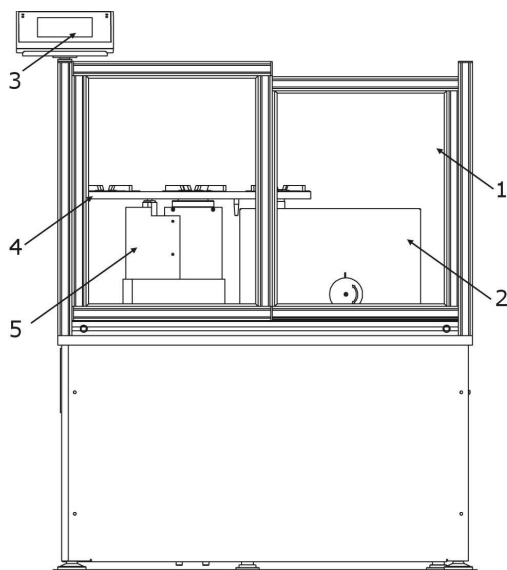
Schemat komparatora AKM -2/20



- 1 – osłona przeciwpodmuchowa komparatora (konstrukcja szklana z ręcznie odsuwanymi szybami)
- 2 – układ automatyki (sterowanie cyklicznym nakładaniem i zdejmowaniem odważników)
- 3 – podstawa antywibracyjna komparatora (izolacja od drgań podłoża)
- 4 – komparator WAY 20/2Y/KO

Rys. 7 Stanowisko do komparacji automatycznej AKM -2/20 – budowa ogólna

Schemat komparatora AKM - 4



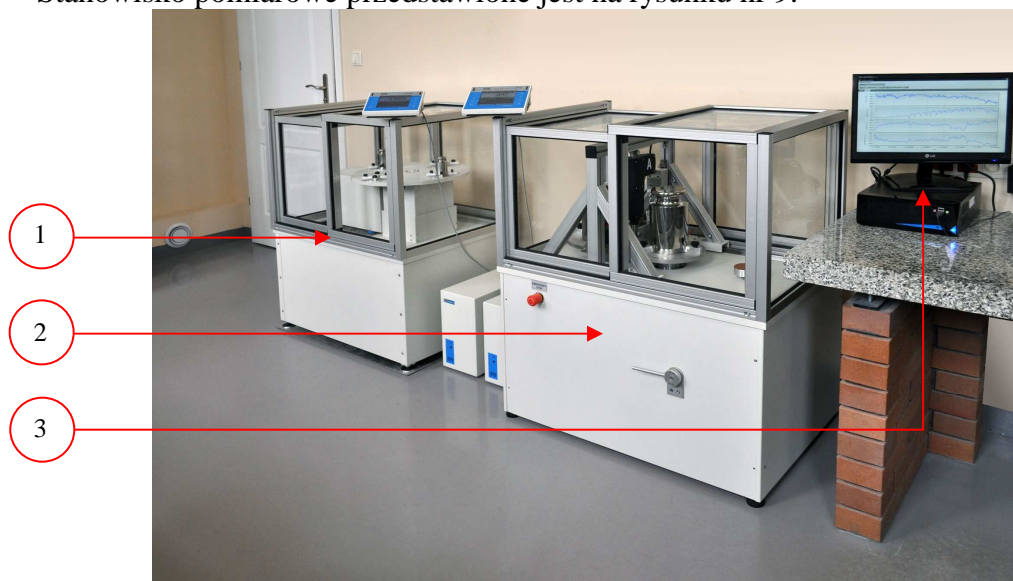
- 1 – osłona przeciwpodmuchowa komparatora (konstrukcja szklana z ręcznie odsuwanymi szybami)
- 2 – komparator WAY 500/2Y/KO
- 3 – panel odczytowy komparatora
- 4 – gniazda dla odważników
- 5 – układ automatyki (sterowanie cyklicznym nakładaniem i zdejmowaniem odważników)

Rys. 8 Stanowisko do komparacji automatycznej AKM -4/500 – budowa ogólna

Na stanowisku znajdują się:

1. podajnik automatyczny czteropozycyjny do komparatorów AKM-4 z zamontowanym komparatorem WAY 500/2Y/KO (oraz zamiennie WAY 1 /2Y/KO) oraz zainstalowanym modułem THB-2 do pomiaru warunków środowiskowych
2. podajnik automatyczny dwupozycyjny do komparatorów AKM-2 z zamontowanym komparatorem APP 20/2Y/KO oraz zainstalowanym modułem THB-2 do pomiaru warunków środowiskowych
3. komputer z rejestratorem warunków środowiskowych WAY 1/2Y/KO

Stanowisko pomiarowe przedstawione jest na rysunku nr 9.



Rys.9 Stanowisko pomiarowe przy badaniu automatycznym komparatorów

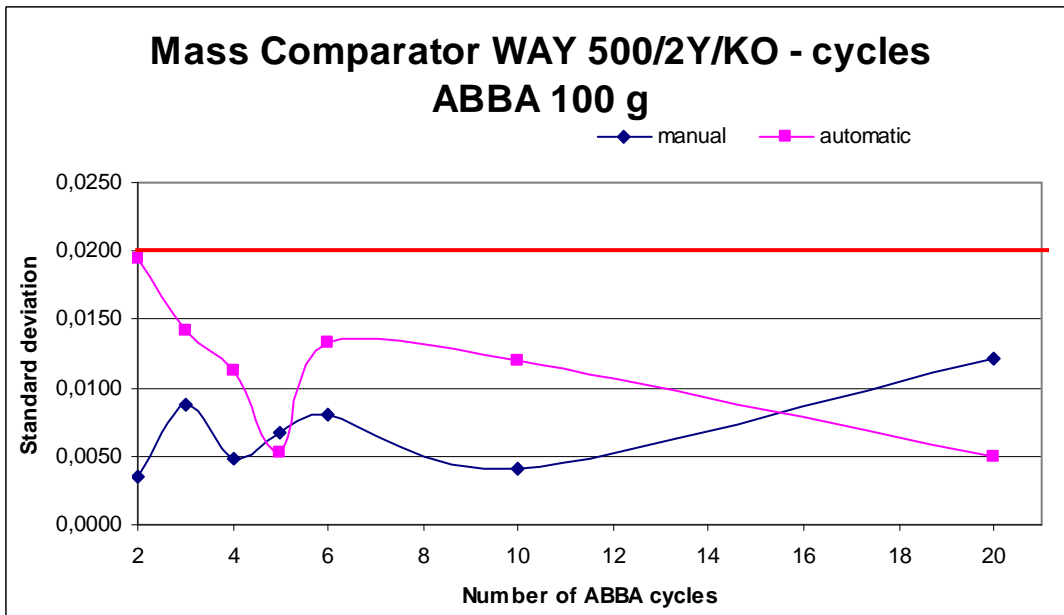
3.4 Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych pomiarów wg opisanej wcześniej procedury pomiarowej otrzymano parametry powtarzalności dla poszczególnych komparatorów metodą manualną i automatyczną dla różnych badanych obciążeń. Wyniki zostały przedstawione w tabelach oraz wykresach poniżej.

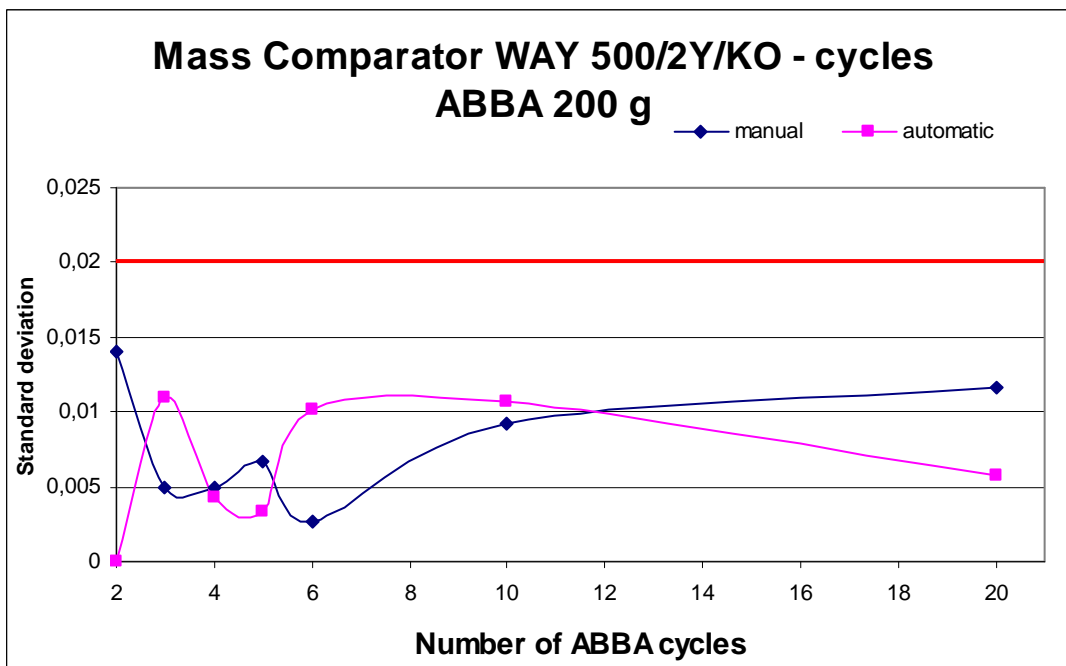
Komparator WAY 500/2Y/KO

METODA ABBA						
Ilość cykli	Obciążenie					
	100 g		200 g		500 g	
	manualnie [mg]	automatycznie [mg]	manualnie [mg]	automatycznie [mg]	manualnie [mg]	automatycznie [mg]
2	0,0035	0,0265	0,0141	0,0000	0,0000	0,0124
3	0,0087	0,0142	0,0050	0,0109	0,0076	0,0208
4	0,0048	0,0113	0,0050	0,0043	0,0119	0,0130
5	0,0067	0,0053	0,0067	0,0034	0,0084	0,0073
6	0,0080	0,0133	0,0027	0,0101	0,0061	0,0150
10	0,0041	0,0120	0,0092	0,0107	0,0125	0,0061
20	0,0122	0,0050	0,0116	0,0057	0,0106	0,0082
Średnia	0,00686	0,0125	0,00776	0,00644	0,00816	0,01183
Rozstęp	0,0087	0,0215	0,0114	0,0109	0,0125	0,0147

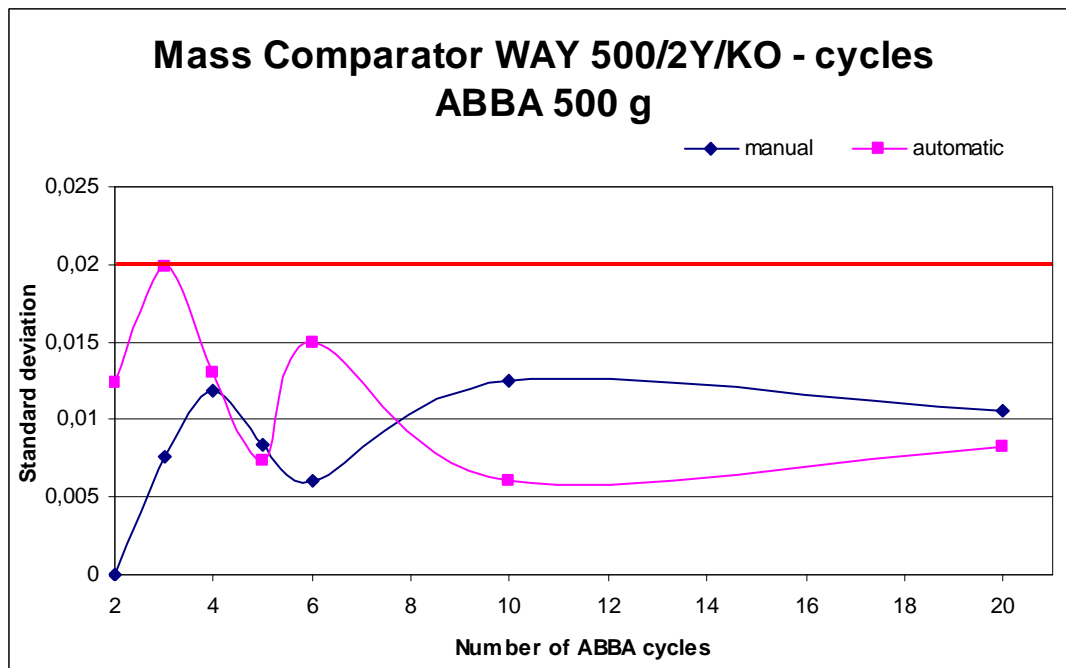
Tabela 3 Wyniki pomiarów komparatora WAY 500/2Y/KO metodą ABBA



Rys. 10 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABBA – dla masy 100 g



Rys. 11 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABBA – dla masy 200 g

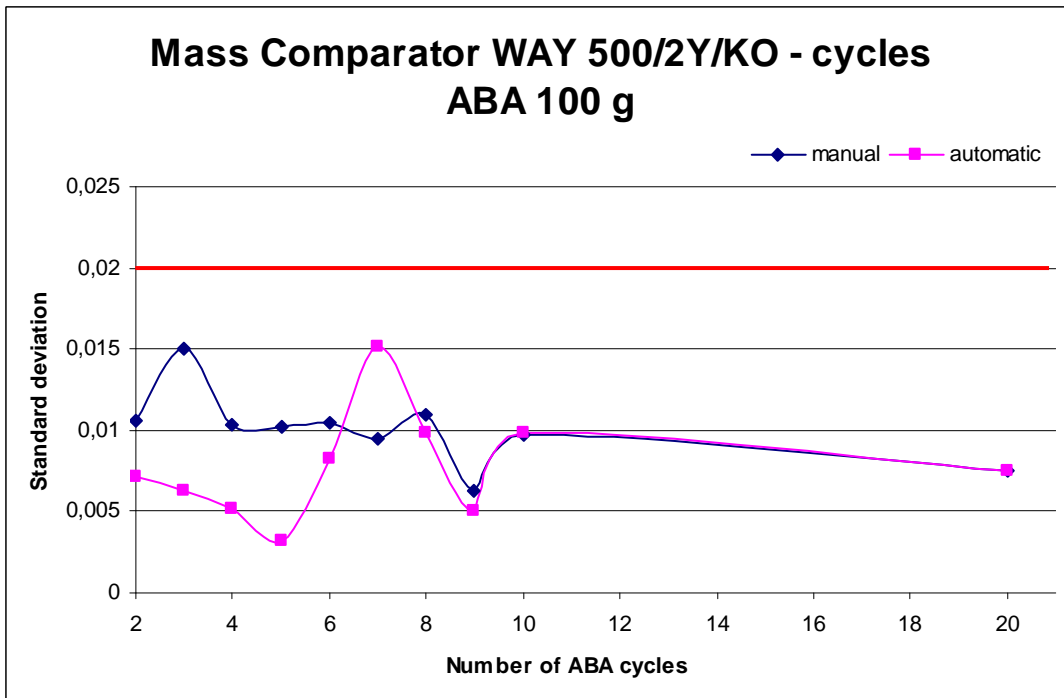


Rys.127 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABBA – dla masy 500 g

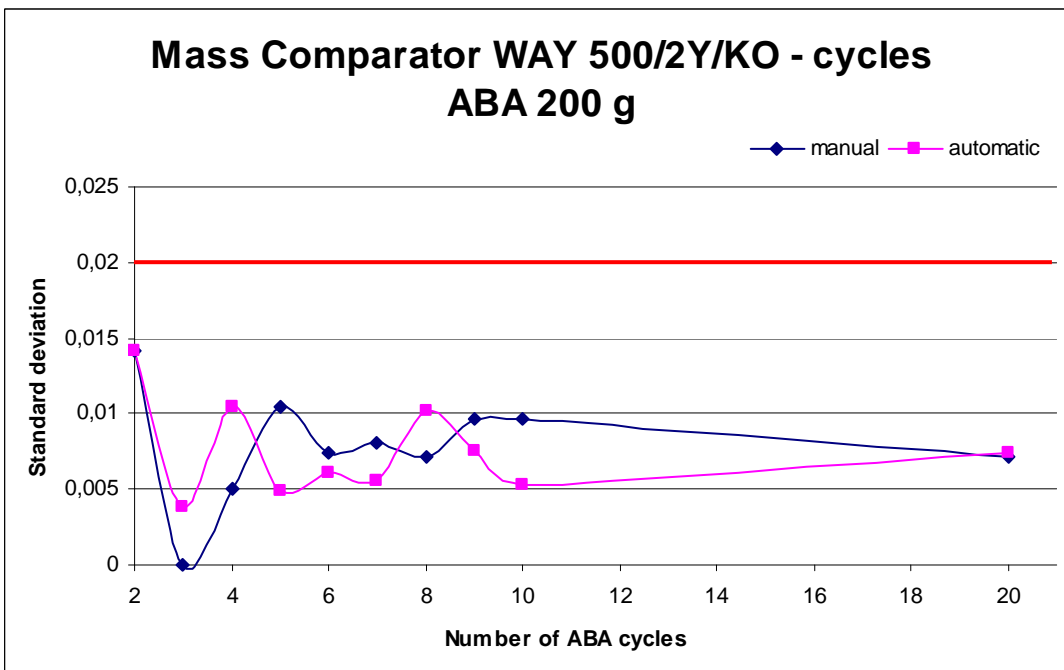
Analizując otrzymane wyniki możemy zauważyć, że odchylenie standardowe wyznaczone dla cykli ABBA komparatora WAY 500/2Y/KO zarówno dla pracy manualnej jak i automatycznej są na zbliżonym poziomie. Deklarowana wartość odchylenia standardowego przez producenta wynosi 0,02 mg. Możemy zatem zaobserwować, że dla obciążeń od 100 g do 500 g tryb pracy komparatora nie ma znaczącego wpływu na jego powtarzalność. Optymalne (najmniejsze) odchylenie standardowe uzyskano dla obciążenia 100 g w trybie manualnym dla 10 cykli, w trybie automatycznym dla 5 cykli. Dla obciążenia 200 g w trybie manualnym dla 6 cykli, w trybie automatycznym dla 5 cykli. Odmienne wnioski można odczytać z wyników dla obciążenia 500 g gdzie w trybie manualnym najmniejsze odchylenie standardowe otrzymano dla 6 cykli, a w trybie automatycznym dla 10 cykli.

METODA ABA						
Ilość cykli	Obciążenie					
	100 g		200 g		500 g	
	manualnie	automatycznie	manualnie	automatycznie	manualnie	automatycznie
	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
2	0,0106	0,0071	0,0141	0,0141	0,0141	0,0053
3	0,0150	0,0063	0,0000	0,0038	0,0050	0,0101
4	0,0103	0,0052	0,0050	0,0105	0,0103	0,0055
5	0,0102	0,0032	0,0104	0,0049	0,0089	0,0040
6	0,0105	0,0083	0,0074	0,0061	0,0133	0,0070
7	0,0095	0,0151	0,0081	0,0056	0,0157	0,0200
8	0,0110	0,0098	0,0071	0,0102	0,0143	0,0090
9	0,0063	0,0050	0,0097	0,0076	0,0109	0,0223
10	0,0097	0,0098	0,0097	0,0053	0,0105	0,0110
20	0,0075	0,0075	0,0071	0,0074	0,0095	0,0126
Średnia	0,01006	0,0077	0,0786	0,00755	0,01125	0,01068
Rozstęp	0,0087	0,0119	0,0141	0,0103	0,0107	0,0183

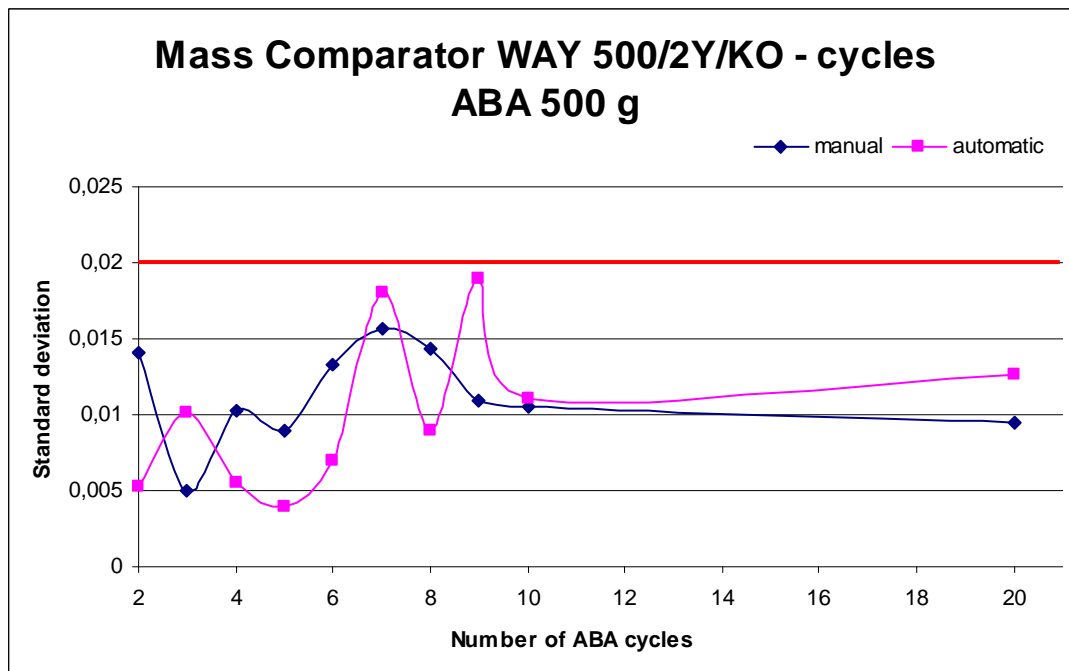
Tabela 4 Wyniki pomiarów komparatora WAY 500/2Y/KO metodą ABA



Rys. 13 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABA – dla masy 100 g



Rys. 14 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABA – dla masy 200 g



Rys. 15 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABA – dla masy 500 g

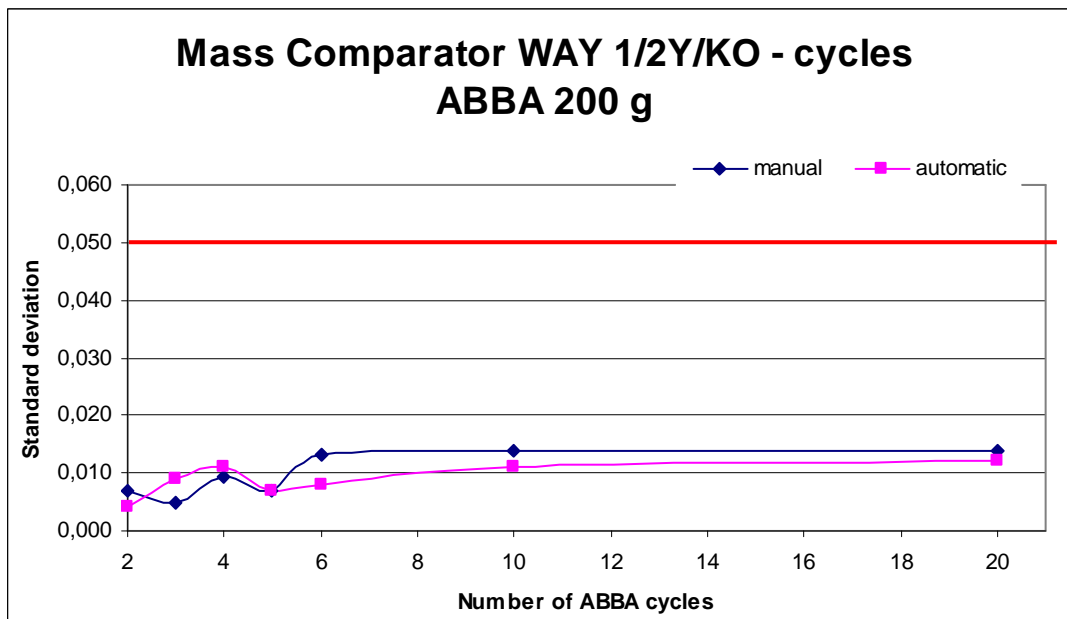
Analizując otrzymane wyniki możemy zauważyć, że dla metody ABA najmniejsze odchylenie standardowe w trybie manualnym dla obciążenia 100 g otrzymano dla 9 cykli, a w trybie automatycznym dla 5 cykli. Dla obciążenia 200 g najlepszą powtarzalność otrzymano dla tej samej ilości tj. 3 cykli. Najlepszą powtarzalność dla obciążenia 500 g przy pracy manualnej otrzymano dla 3 cykli, a dla pracy automatycznej dla 5 cykli ABA.

Podsumowując obie metody ABBA i ABA można zauważyć, że w przypadku badanego egzemplarza komparatora nie ma różnicy w wartości odchylenia standardowego dla pracy manualnej i automatycznej. Można jednak wnioskować, że w przypadku zmniejszenia działki elementarnej (zwiększenie dokładności odczytu) różnice mogą być widoczne na korzyść pracy automatycznej.

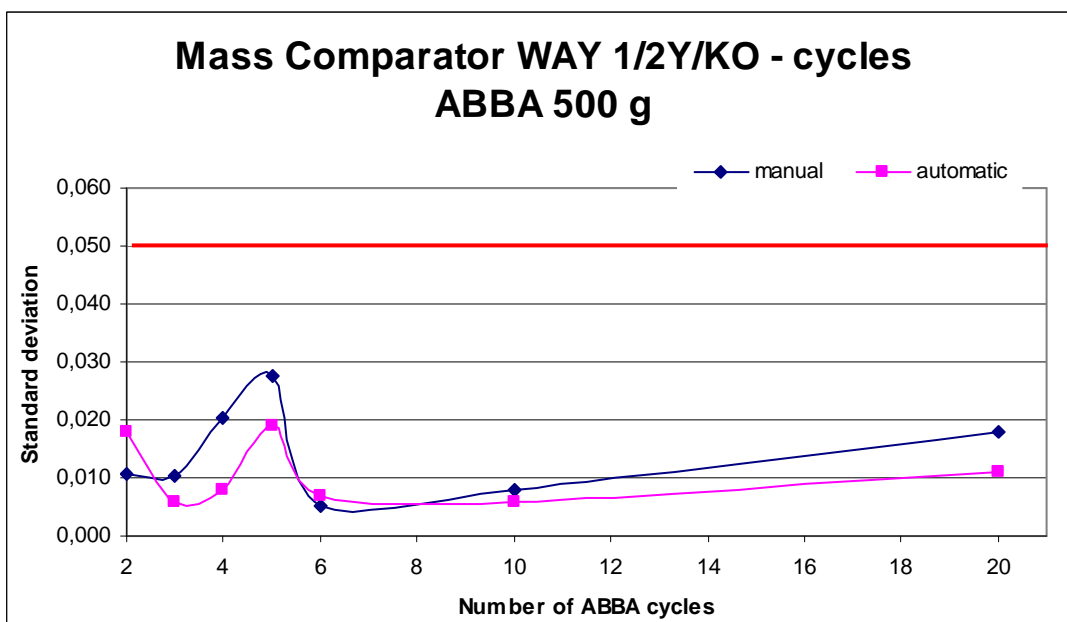
Komparator WAY 1/2Y/KO

METODA ABBA						
Ilość cykli	Obciążenie					
	200 g		500 g		1 kg	
	manualnie [mg]	automatycznie [mg]	manualnie [mg]	automatycznie [mg]	manualnie [mg]	automatycznie [mg]
2	0,007	0,004	0,011	0,018	0,007	0,018
3	0,005	0,009	0,010	0,006	0,040	0,018
4	0,010	0,011	0,020	0,008	0,043	0,021
5	0,007	0,007	0,028	0,019	0,030	0,029
6	0,013	0,008	0,005	0,007	0,026	0,017
10	0,014	0,011	0,008	0,006	0,033	0,028
20	0,014	0,012	0,018	0,011	0,025	0,024
Średnia	0,00994	0,00886	0,01426	0,01071	0,02906	0,02214
Rozstęp	0,009	0,008	0,023	0,013	0,036	0,012

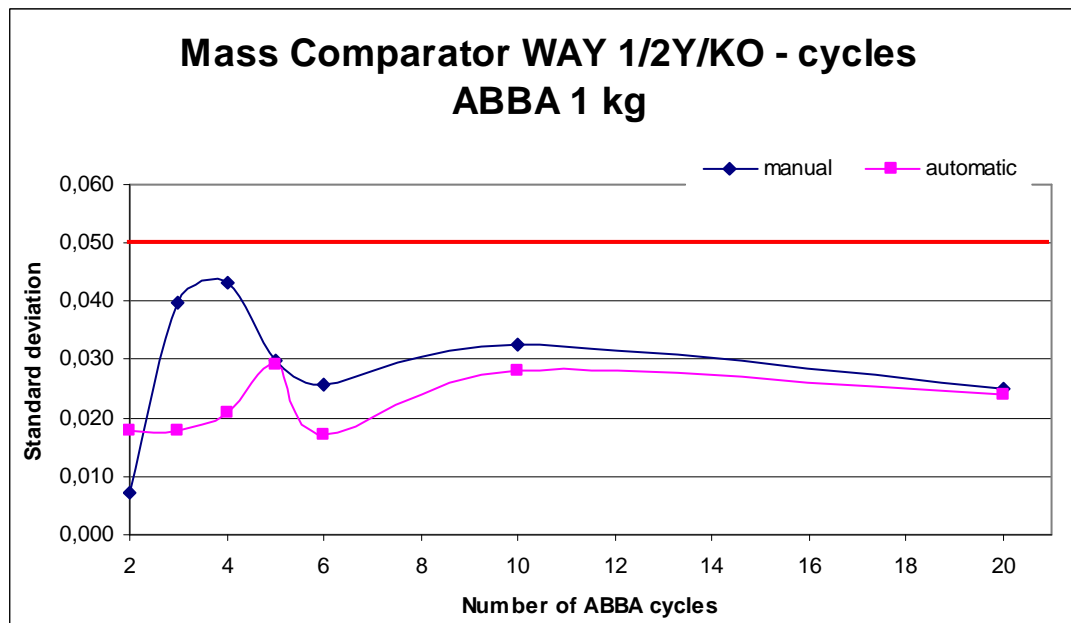
Tabela 5 Wyniki pomiarów komparatora WAY 1/2Y/KO metodą ABBA



Rys. 16 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABBA – dla masy 200 g



Rys. 17 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABBA – dla masy 500 g

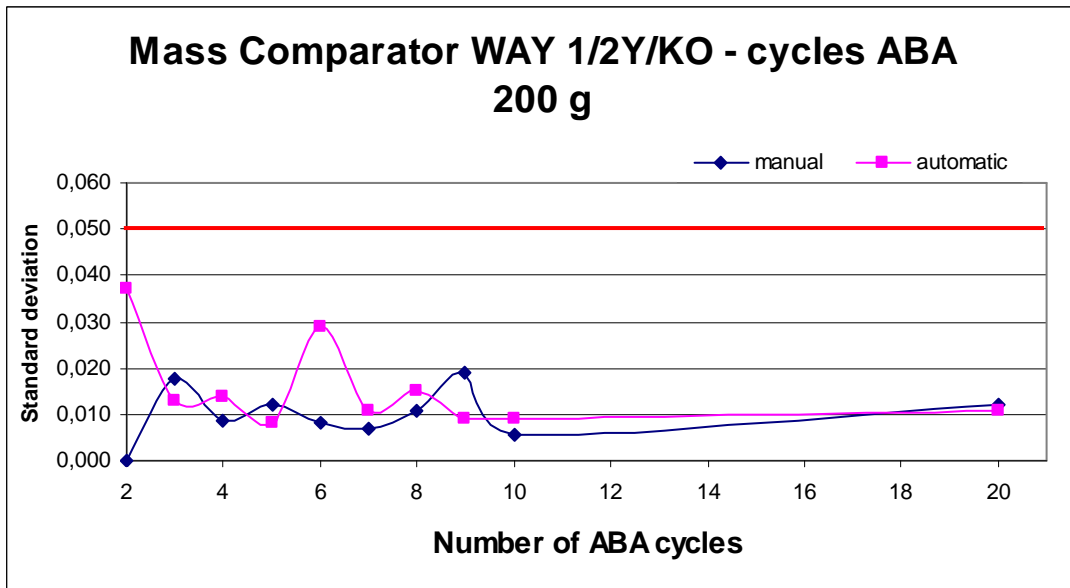


Rys. 18 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABBA – dla masy 1kg

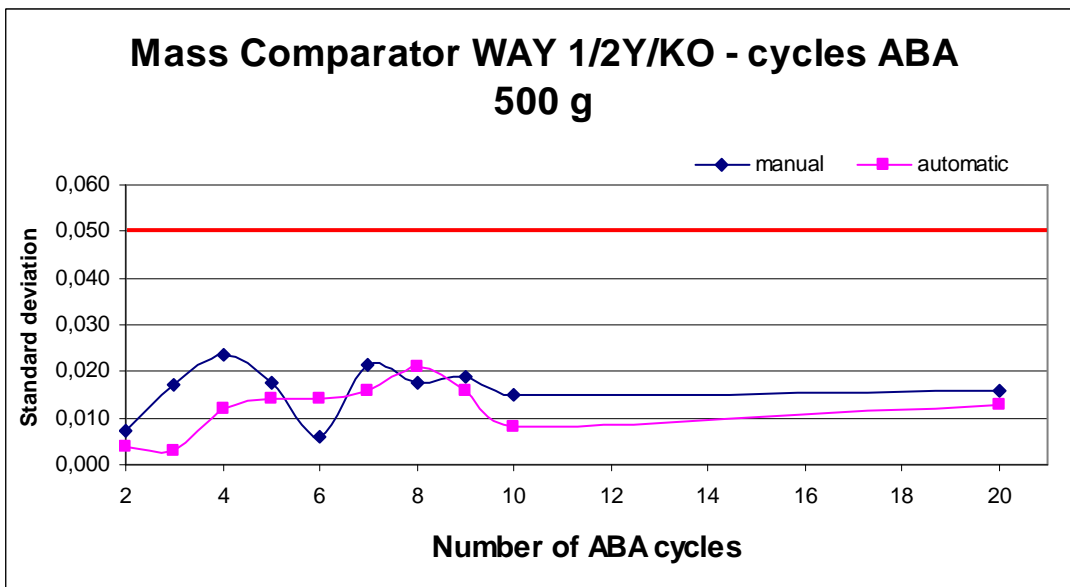
Analizując otrzymane wyniki możemy zauważyć, że odchylenie standardowe wyznaczone dla cykli ABBA komparatora WAY 1/2Y/KO wykazują podobne wartości odchylenia standardowego zarówno dla przy pracy automatycznej jak i manualnej. Deklarowana przez producenta wartość odchylenia standardowego dla badanego komparatora wynosi 0,05 mg. Optymalne (najmniejsze) odchylenie standardowe w trybie manualnym dla obciążenia 200 g uzyskano dla 2 i 5 cykli, w trybie automatycznym dla 2 cykli, dla obciążenia 500 g w trybie manualnym i automatycznym dla 6 cykli, dla maksymalnego obciążenia 1 kg w trybie manualnym najmniejszą wartość odchylenia standardowego otrzymano dla 2 cykli, w trybie automatycznym dla 6 cykli.

METODA ABA						
Ilość cykli	Obciążenie					
	200 g		500 g		1 kg	
	manualnie	automatycznie	manualnie	automatycznie	manualnie	automatycznie
	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
2	0,000	0,037	0,007	0,004	0,007	0,014
3	0,018	0,013	0,017	0,003	0,033	0,026
4	0,009	0,014	0,024	0,012	0,030	0,029
5	0,012	0,008	0,018	0,014	0,021	0,030
6	0,008	0,029	0,006	0,014	0,030	0,038
7	0,007	0,011	0,021	0,016	0,013	0,038
8	0,011	0,015	0,018	0,021	0,031	0,022
9	0,019	0,009	0,019	0,016	0,028	0,031
10	0,006	0,009	0,015	0,008	0,025	0,031
20	0,012	0,011	0,016	0,013	0,026	0,027
Średnia	0,01011	0,0156	0,01599	0,0121	0,02441	0,0286
Rozstęp	0,019	0,029	0,018	0,018	0,026	0,024

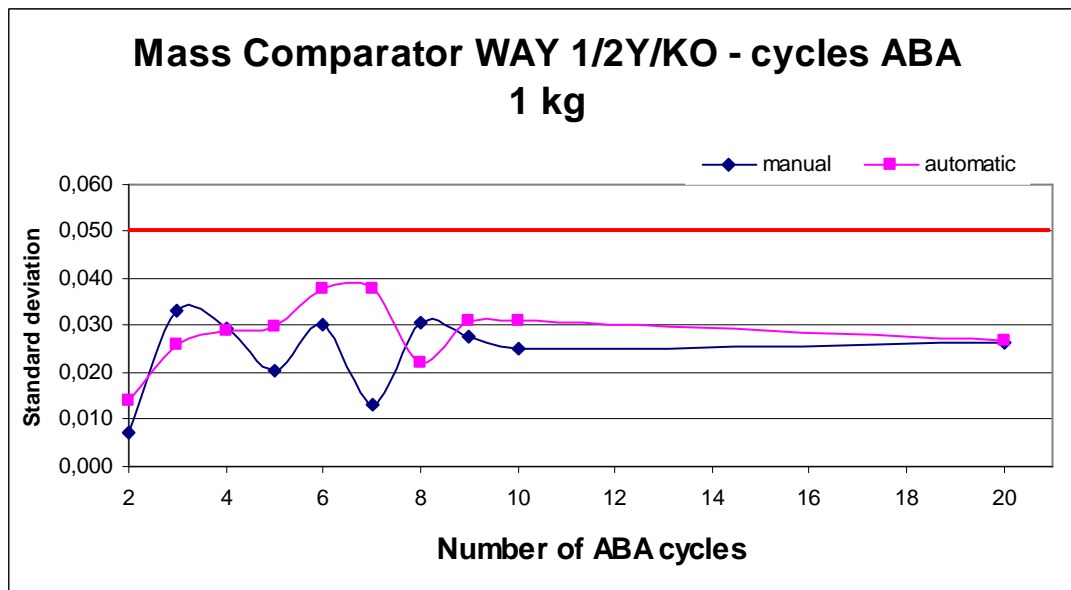
Tabela 6 Wyniki pomiarów komparatora WAY 1/2Y/KO metodą ABA



Rys. 19 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABA – dla masy 200 g



Rys. 20 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABA – dla masy 500 g



Rys. 21 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABA – dla masy 1kg

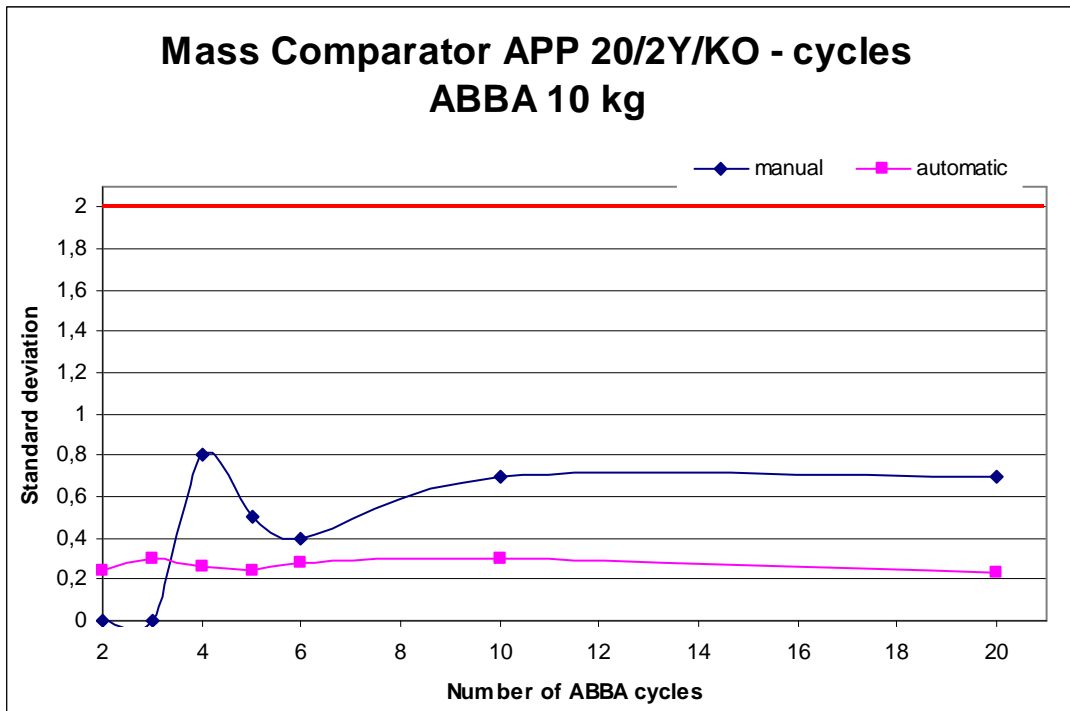
Dla wyników otrzymanych podczas badania komparatora WAY 1/2Y/KO metodą ABA obserwujemy podobną sytuację jak dla metody ABBA tzn. odchylenie standardowe komparatora przy pracy automatycznej jest zbliżone do odchylenia przy pracy manualnej. Najmniejsze odchylenie standardowe w trybie manualnym dla obciążenia 200 g uzyskano dla 10 cykli, w trybie automatycznym dla 5 cykli. Dla obciążenia 500 g w trybie manualnym dla 6 cykli, w trybie automatycznym dla 3 cykli. Dla maksymalnego obciążenia 1 kg w trybie manualnym najmniejszą wartość odchylenia standardowego otrzymano dla 2 cykli, w trybie automatycznym dla 8 cykli.

Analizując wyniki obliczeń dla obu metod ABBA i ABA można zauważyć, że dla badanego obiektu wartości odchylenia standardowego są porównywalne.

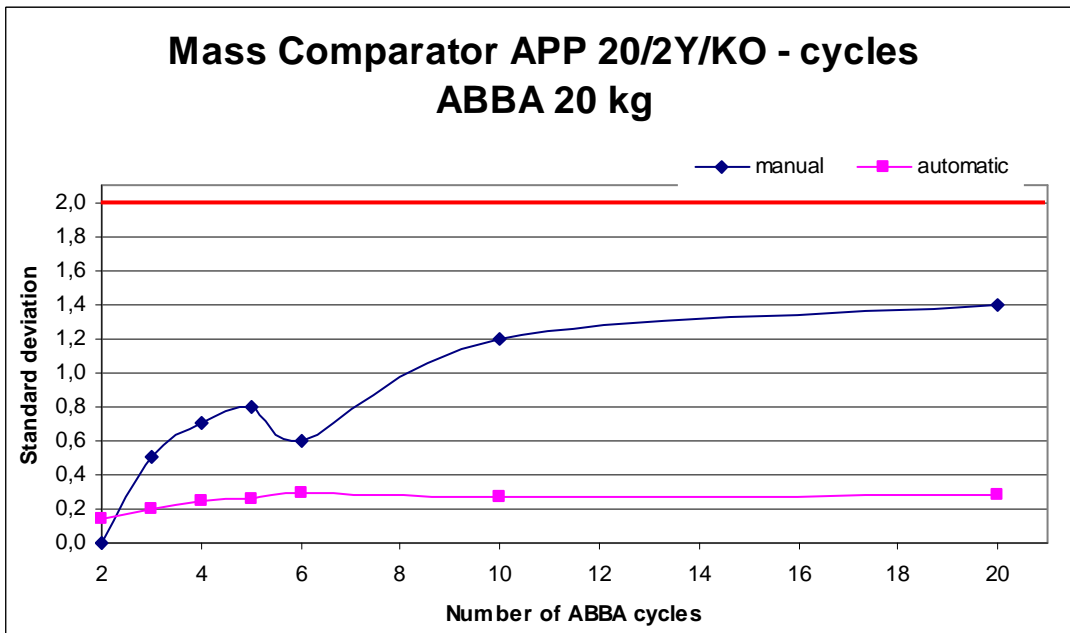
Komparator APP 20/2Y/KO

METODA ABBA				
Ilość cykli	Obciążenie			
	10 kg		20 kg	
	manualnie	automatycznie	manualnie	automatycznie
	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
2	0	0,2	0,0	0,1
3	0	0,3	0,5	0,2
4	0,8	0,3	0,7	0,3
5	0,5	0,2	0,8	0,3
6	0,4	0,3	0,6	0,3
10	0,7	0,3	1,2	0,3
20	0,7	0,2	1,4	0,3
Średnia	0,443	0,264	0,743	0,241
Rozstęp	0,8	0,07	1,4	0,2

Tabela 7 Wyniki pomiarów komparatora APP 20/2Y/KO metodą ABBA



Rys. 22 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABBA – dla masy 10 kg

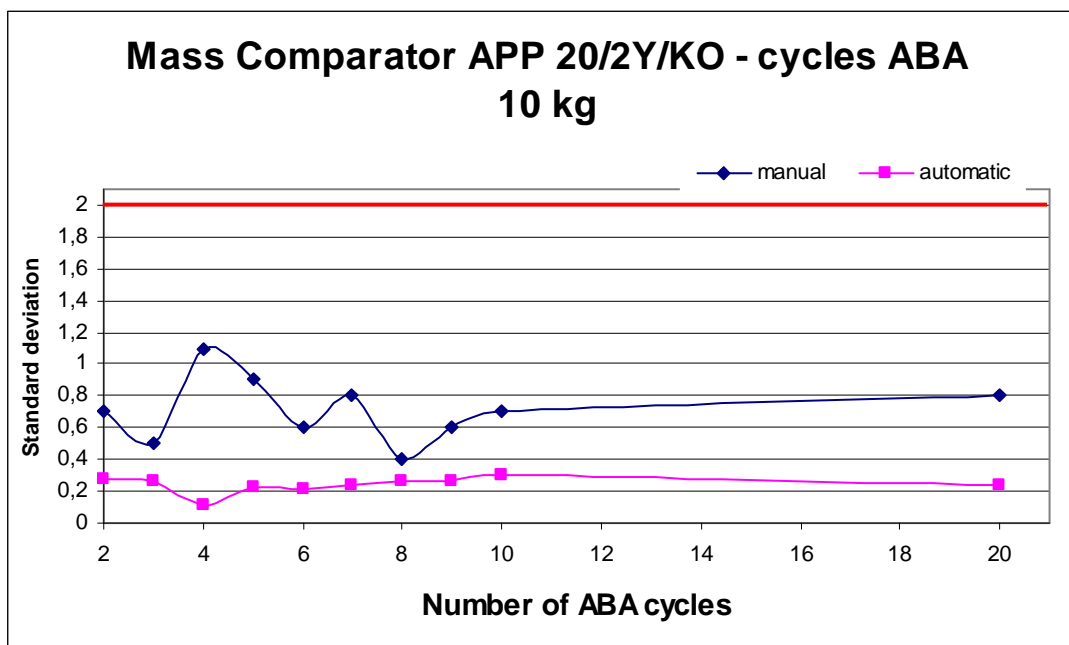


Rys. 23 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABBA – dla masy 20 kg

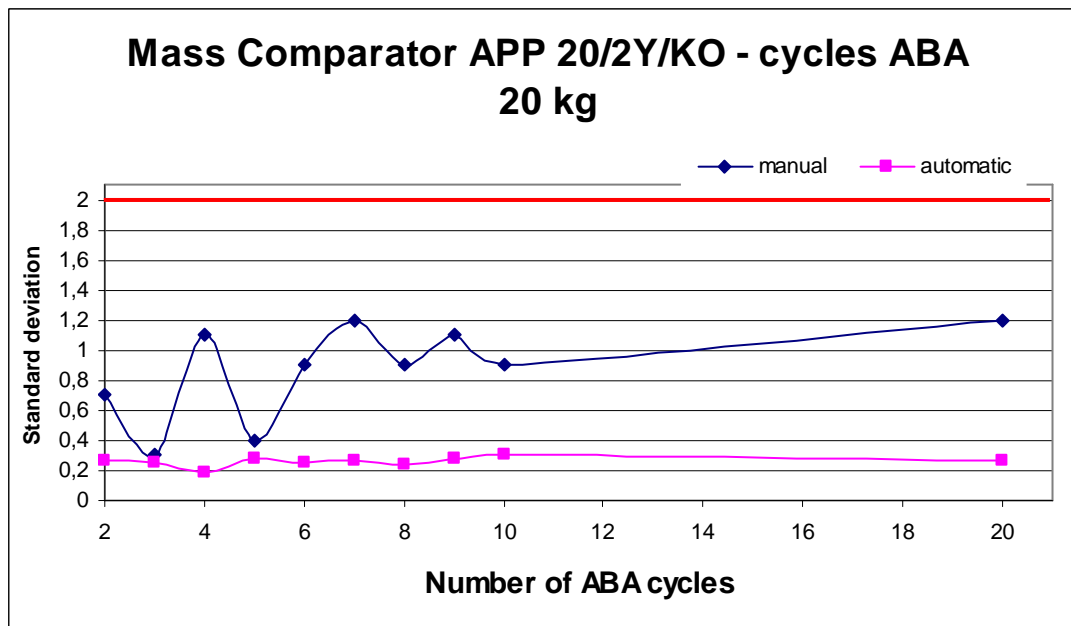
Analizując otrzymane wyniki możemy zauważyć, że odchylenie standardowe wyznaczone dla cykli ABBA komparatora APP 20/2Y/KO jest znacząco mniejsze (maksymalnie ponad 4 razy dla 20 kg oraz ponad 3 razy dla obciążenia 10 kg) dla pracy automatycznej. Deklarowana wartość odchylenia standardowego przez producenta dla badanego komparatora wynosi 2 mg. Najmniejsze odchylenie standardowe uzyskano dla obciążenia 10 kg w trybie manualnym dla 3 cykli, w trybie automatycznym, praktycznie dla wszystkich ilości cykli podobnie, dla obciążenia 20 kg w trybie manualnym dla 2 cykli, w trybie automatycznym również zbliżone dla wszystkich cykli.

METODA ABA				
Ilość cykli	Obciążenie			
	10 kg		20 kg	
	manualnie	automatycznie	manualnie	automatycznie
	[mg]	[mg]	[mg]	[mg]
2	0,7	0,3	0,7	0,3
3	0,5	0,3	0,3	0,3
4	1,1	0,1	1,1	0,2
5	0,9	0,2	0,4	0,3
6	0,6	0,2	0,9	0,3
7	0,8	0,2	1,2	0,3
8	0,4	0,3	0,9	0,2
9	0,6	0,3	1,1	0,3
10	0,7	0,3	0,9	0,3
20	0,8	0,2	1,2	0,3
Średnia	0,71	0,240	0,87	0,259
Rozstęp	0,7	0,2	0,9	0,1

Tabela 8 Wyniki pomiarów komparatora APP 20/2Y/KO metodą ABA



Rys. 24 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABA – dla masy 10 k g



Rys. 25 Wykres zmian odchylenia standardowego w zależności od ilości cykli ABA – dla masy 20 k g

Analizując otrzymane wyniki możemy zauważyć, że odchylenie standardowe wyznaczone dla cykli ABA komparatora APP 20/2Y/KO jest również, w odniesieniu do metody ABBA, znacząco mniejsze dla pracy automatycznej. Najmniejsze odchylenie standardowe uzyskano dla obciążenia 10 kg w trybie manualnym dla 8 cykli, w trybie automatycznym, praktycznie dla 4 cykli, dla obciążenia 20 kg w trybie manualnym dla 3 cykli, w trybie automatycznym dla 4 cykli.

Podsumowując badany komparator możemy zaobserwować, że automatyzacja procesu wzorcowania dla badanego komparatora ma wyraźny wpływ na wartość parametru powtarzalności.

4. Niepewność pomiaru przy wzorcowaniu wzorców masy i odważników

Rodzaj i liczba cykli, dokładność komparatorów lub wag stosowanych do wzorcowania wzorców masy lub odważników oraz dokładność wzorców odniesienia powinny być dobrane w taki sposób, aby złożona niepewność rozszerzona U przy współczynniku rozszerzenia $k=2$ przy wzorcowaniu nie przekraczała $1/3$ wartości błędów granicznych dopuszczalnych określonych w Dokumencie OIML R111.

Zgodnie z dokumentem Europejskiej Współpracy w dziedzinie Akredytacji EA-4/02 *Wyznaczenie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu*, który jest zgodny z *Międzynarodowym przewodnikiem wyznaczania niepewności pomiaru* procedura wyznaczenia niepewności pomiaru przy wzorcowaniu wzorców masy rozpoczyna się od zapisania równania pomiaru:

$$m = m_0 + \delta m_1 + \delta m_2 + \delta m_3 + \delta m_4 \quad (8)$$

m_0 – masa umowna wzorca odniesienia

δm_1 – dryft wartości wzorca odniesienia od jego ostatniego wzorcowania

δm_2 – zaobserwowana różnica mas wzorca odniesienia i wzorcowanego wzorca

δm_3 – poprawka na niecentryczność i wpływy magnetyczne

δm_4 – poprawka na wypór powietrza

Równanie niepewności przybierze postać:

$$u^2(m) = c_1 u^2(\delta m_1) + c_2 u^2(\delta m_2) + c_3 u^2(\delta m_3) + c_4 u^2(\delta m_4) \quad (9)$$

gdzie c_i jest to współczynnik wrażliwości

Analizując sposób obliczania niepewności pomiaru przy wzorcowaniu wzorców masy i odważników według Dokumentu OIML R111, możemy wyodrębnić następujące składowe niepewności:

typu A:

- niepewność standardowa procesu ważenia

typu B:

- niepewność zastosowanego wzorca odniesienia

- niepewność związana z wyporem powietrza

- niepewność związana z zastosowaną wagą (komparatorem)

W ogólnym budżecie niepewności wzorcowania wzorców masy i odważników istotny wpływ mają niepewności związane z wzorcem odniesienia dlatego tak ważne jest aby stosować odpowiedni wzorec odniesienia do wzorcowania w zależności od oczekiwanej niepewności pomiaru. Drugi, bardzo ważny czynnik to zastosowany komparator. W komparatorach istotnymi czynnikami wpływającymi na wartość liczbową niepewności pomiaru jest parametr powtarzalności, którego miernikiem jest odchylenie standardowe.

Wartość średnich niepewności pomiaru dla poszczególnych komparatorów przy założeniu, że zastosowano wzorce odniesienia klasy E_1 , parametr powtarzalności uśredniono dla wszystkich obciążeń (wg wcześniej otrzymanych wyników), zaniedbano wpływ wyporu powietrza, przedstawia poniższa Tabela 9.

Komparator	Obciążenie	Niepewność rozszerzona U		Maksymalna niepewność U dla klasy E_1 ($1/3 mpe$ R-111)
		manualnie	automatycznie	
	[g]	[mg]	[mg]	[mg]
WAY 500/2Y/KO	100	0,015	0,015	0,017
	200	0,021	0,021	0,033
	500	0,044	0,044	0,083
WAY 1/2Y/KO	200	0,022	0,022	0,033
	500	0,044	0,044	0,083
	1 000	0,085	0,085	0,167
APP 20/2Y/KO	10 000	1,48	1,48	1,67
	20 000	2,07	2,07	3,33

Tabela 9 Niepewność pomiaru przy wzorcowaniu

4. Optymalizacja pracy w laboratorium poprzez automatyzację procesu wzorcowania

W czasach, kiedy czynniki ekonomiczne mają znaczenie również w pracy laboratoriów, ważnym elementem są koszty pracy pracownika laboratorium wykonującego wzorcowanie odważników. Analizując czasy trwania pomiarów wykonanych badanymi komparatorami dla różnych ilości cykli ABBA i ABA możemy oszacować koszt wzorcowania wykonanego w pracy automatycznej i pracy manualnej. Wyniki średnich czasów pomiarów przedstawione są w Tabeli 10.

Metoda	Ilość cykli	Komparator					
		WAY 500/2Y/KO		WAY 1/2Y/KO		APP 20/2Y/KO	
		manual	automatic	manual	automatic	manual	automatic
		[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]
ABBA	2	8	14	7	13	4	11
	3	10	22	9	19	6	18
	4	12	30	12	25	7	21
	5	15	37	13	32	9	30
	6	17	43	18	38	10	35
	10	27	72	29	63	15	55
	20	60	148	59	130	35	110
ABA	2	7	11	6	11	3	8
	3	9	17	7	15	4	13
	4	10	22	10	18	5	17
	5	12	29	11	24	7	20
	6	13	34	12	30	8	25
	7	17	40	16	33	9	30
	8	18	47	18	39	10	35
	9	20	49	21	42	12	40
	10	22	57	24	48	14	45
	20	45	116	47	101	25	82

Tabela 10 Średni czas komparacji dla poszczególnych komparatorów w zależności od metody i ilości cykli

Analizę przykładowych kosztów pracy związanej z wzorcowaniem wzorców masy przez pracownika laboratorium w trybie manualnym, uwzględniając pewne założenia dla minimalnej ilości cykli dla metod ABBA i ABA przy założeniu kosztów 1 roboczogodziny na 20 € zostały przedstawione w Tabeli 11.

Metoda i liczba cykli	Koszt wzorcowania 1 odważnika		WAY 500/2Y/KO		WAY 1/2Y/KO		APP 20/2Y/KO	
	Manual	Automatic	Manual	Automatic	Manual	Automatic	Manual	Automatic
ABBA 5 cykli	5,00 €	0,00 € *	4,30 €	0,00 € *	3,00 €	0,00 € *	3,00 €	0,00 € *
ABBA 3 cykle	3,30 €	0,00 € *	3,00 €	0,00 € *	2,00 €	0,00 € *	2,00 €	0,00 € *
ABA 6 cykli	4,30 €	0,00 € *	4,00 €	0,00 € *	2,70 €	0,00 € *	2,70 €	0,00 € *
ABA 4 cykle	3,33 €	0,00 € *	3,30 €	0,00 € *	1,70 €	0,00 € *	1,70 €	0,00 € *

Tabela 11 Koszty wzorcowania (*jedynie koszty związane z ustawieniem komparatora)

WNIOSKI

Pomiary przeprowadzone przez RADWAG były przeprowadzone przez najbardziej doświadczonych pracowników i przy gruntownej analizie wszelkich czynników negatywnych wpływających na pomiar. W rutynowej pracy laboratorium wzorcującego prawdopodobieństwo wystąpienia błędu spowodowanego czynnikiem ludzkim jest dużo większe, dlatego automatyzacja procesu wzorcowania jest najlepszym rozwiązaniem w celu eliminacji tego czynnika. **Laboratorium wykonało ponad 6752 pomiary, w tym połowa pomiarów została wykonana manualnie przez operatora, a połowa w trybie automatycznym.**

Z przeprowadzonej analizy otrzymanych wyników pomiarów parametru powtarzalności komparatorów możemy zauważyć, że:

- automatyzacja procesu wzorcowania jak i wybór metody ABBA lub ABA dla komparatorów WAY 500/2Y/KO oraz WAY 1/2Y/KO nie mają znaczącego wpływu na parametr powtarzalności,

- dla komparatora APP 20/2Y/KO automatyzacja procesu wzorcowania ma znaczący wpływ na wartość parametru powtarzalności – dla obciążenia 10 kg wartość odchylenia standardowego wyniosła 0,2 mg dla pracy automatycznej oraz 0,7 mg dla pracy manualnej oraz dla obciążenia 20 kg przy pracy automatycznej odchylenie standardowe wyniosło 0,3 mg, dla manualnej 1,4 mg,
- badane komparatory wyposażone w cztero pozycyjny automat podający pozwalają na wzorcowanie trzech obiektów jednocześnie co w przypadku wysokich kosztów pracy ma znaczenie ekonomiczne
- cztero pozycyjny automat podający może również służyć do porównywania zbiorczych mas, co jest wykorzystywane przez zaawansowane laboratoria do czynności „przekazywania jednostki”,
- nie ma widocznego wpływu na niepewność pomiaru czynnika związanego z przyrządem pomiarowym przy wzorcowaniu odważników, w badanym zakresie i zastosowaniu badanych komparatorów
- wzorcowanie odważników od 10 kg do 20 kg wymaga zastosowania automatyzacji procesu dla utrzymania odpowiednich parametrów powtarzalności jak i również w trosce o bezpieczeństwo operatorów – wymagania dotyczące dźwigania ciężarów przez pracowników z reguły regulują odpowiednie krajowe akty prawne,
- automatyzacja procesu wzorcowania pozwala wprowadzić oszczędności w kosztach pracy laboratorium wzorcującego – w obecnych czasach czynniki ekonomiczne mają bardzo duże znaczenie,
- poprzez automatyzację procesu wzorowania w zakresie od 100 g do 20 kg przy zastosowaniu badanych komparatorów oraz zaimplementowaniu oprogramowania zarządzającego całym procesem wzorcowania (np. System RadCal produkcji RADWAG) mamy możliwość nie tylko obniżenia kosztów pracy, ale również eliminację ryzyka związanego z ewentualnymi błędami rachunkowymi, które mogą wprowadzić duże niezgodności w zakresie spójności pomiarowej,

Należy zauważyć, że w przypadku konieczności uzyskania lepszych parametrów powtarzalności (mniejszego odchylenia standardowego) niezbędna może okazać się automatyzacja procesu. Wpływ na niepewność pomiaru przy wzorcowaniu odważników, przy założeniu punktu 5.2 dokumentu OIML R-111 nie został zaobserwowany dla wartości równej 1/3 błędów granicznych dopuszczalnych dla poszczególnych odważników. Jednak w przypadku, kiedy laboratorium doskonaląc swój system zarządzania będzie dążyć do uzyskania lepszych parametrów CMC (najlepsza zdolność pomiarowa) niezbędnym może okazać się zastosowanie komparatorów automatycznych.

Automatyzacja procesu pozwala konstruktorom komparatorów na zwiększenie rozdzielczości urządzeń przy jednoczesnym realnym obniżeniu odchylenia standardowego co bezpośrednio wpływa na niepewność pomiaru przy wzorcowaniu odważników.

LITERATURA

- [1] PKN-ISO/IEC Guide 99:2010 Międzynarodowy słownik metrologii. Pojęcia podstawowe i ogólne oraz terminy z nimi związane (VIM)
- [2] OIML R 111-1 Edition 2004 Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ and M₃ Part 1: Metrological and technical requirements
- [3] Guide to the Expression of Uncertainty In Measurements, – wydanie polskie, Główny Urząd Miar, Warszawa 1999

- [4] Dokument EA-4/02: Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu – wydanie polskie, Główny Urząd Miar, Warszawa 2001
- [5] Piotrowska B., Odważniki Przepisy i komentarze, wydawnictwo ALFA, Warszawa 1986
- [6] Arendarski J.: Niepewność pomiaru, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2006
- [7] Nowe spojrzenie j na jakość wag laboratoryjnych, praca zbiorowa RADWAG, Radom 2011
- [8] Hantz A.: Kompleksowe rozwiązania w laboratorium wzorcującym odważniki, materiały Międzynarodowej konferencji „Spójność pomiarów masy”, Radom 2011
- [9] Hantz A.: Kurs metrologii laboratoryjnej Cz. 2 Wyposażenie pomiarowe w laboratorium, ELAMED, Laboratorium nr 3-2008