

ROZDZIAŁ I

Wiedza ogólna o pomiarach w budowie maszyn

1. Metrologia – informacje podstawowe

Zagadnienia dotyczące metrologii określa norma PN-71/N-02050 „Metrologia. Nazwy i określenia”. Przedmiotem metrologii są:

- jednostki miar oraz ich etalony (ustalanie, odtwarzanie, konserwacja oraz przekazywanie),
- pomiary (metody, wykonywanie, ocena dokładności itd.),
- narzędzia pomiarowe (właściwości badane z punktu widzenia przeznaczenia narzędzi),
- obserwatorzy (ich kwalifikacje odnoszące się do wykonywania pomiarów, np. odczytywania wskazań narzędzi pomiarowych).

Należy do tego dodać, że metrologia warsztatowa w wydaniu inżynierskim jest najczęściej elementem kontroli jakości produkcji. Oznacza to, że do w/w zagadnień należy dodać inne, związane z pomiarami pośrednio. Są to:

- bardzo dobra znajomość profilu produkcyjnego własnej firmy,
- bardzo dobra znajomość możliwości technicznych dostawców,
- bardzo dobra znajomość wymagań kontrahentów,
- bardzo dobra znajomość norm i przepisów prawnych oraz zwyczajów obowiązujących w danej branży,

Podstawowym aktem prawnym, który powinien być znany inżynierowi zajmującemu się kontrolą jakości jest Dyrektywa 98/37/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z 22 czerwca 1998 r. o zbliżeniu praw obowiązujących w państwach członkowskich, a odnoszących się do maszyn (OJ L207, 23 lipca 1998 r., p. 1, zwana w skrócie Dyrektywą Maszynową). Dotyczy ona produkcji i eksploatacji maszyn. Zadaniem inżyniera mechanika będzie zapewne produkowanie maszyn lub ich części, oczywiście przy pomocy innych maszyn (obrabiarek).

Dodatkowo obowiązuje w Polsce szereg innych aktów prawnych regulujących zagadnienia produkcji i obrotu maszynami. Często mają one charakter czysto branżowy, specjalistyczny. Wyróżnia się z nich jeden dokument – ustawa z 26 lipca 2002 r. o zmianie ustawy Kodeks pracy oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz.U. nr 135, p. 1146). Kodeks pracy nie dotyczy tylko maszyn, ale opisuje warunki bezpiecznej pracy, które pracodawca musi wziąć pod uwagę organizując roboty lub projektując i produkując maszyny.

Wśród norm regulujących działalność gospodarczą warto wymienić:

- PN-EN ISO 9001 „Systemy zarządzania jakością. Wymagania”,
- PN-ISO 10006 „Systemy zarządzania jakością. Wytyczne dotyczące zarządzania jakością w przedsiębiorstwach”,
- PN-ISO 10007 „Systemy zarządzania jakością. Wytyczne dotyczące zarządzania konfiguracją”,
- PN-EN ISO 14001 „Systemy zarządzania środowiskowego. Specyfikacja i wytyczne stosowania”,
- PN-N-18001 „Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Wymagania”.

Dobrze wykonany pomiar jest tylko elementem szeregu innych działań mających na celu właściwe prowadzenie produkcji i eksploatacji maszyn. Jednocześnie zauważamy jak wielki ciężar spoczywa na pomiarowcu i pomiarze.

Zagadnienie pomiarów i narzędzi pomiarowych będzie przedmiotem dalszych rozważań. Ważnym zagadnieniem w pomiarach są jednostki miar, wymiarowanie i działania na liczbach oraz kwalifikacje personelu.

1.1. Jednostki miar. Wymiarowanie

W metrologii długości jednostką miary jest oczywiście metr. Dla przypomnienia jest to długość równa drodze przebytej w próżni przez światło w czasie $1/299792458$ sekundy. Ta dziwna definicja metra wynika stąd, że chciano dostosować nowoczesne metody pomiarowe do już istniejącego wzorca w Sevres pod Paryżem. Powodem były względy gospodarcze. Kiedy w 1983 r. uchwalano na XVII Generalnej Konferencji Miar definicję metra, jednostka ta była już mocno zakorzeniona w gospodarce świata i wszelkie zmiany byłyby zbyt kosztowne. Funkcjonuje też poprzednia definicja mówiąca, że metr to $1650763,73$ długości fali promieniowania w próżni, odpowiadającego przejściu pomiędzy poziomami $2p_{10}$ a $5d_5$ atomu kryptonu 86. Krypton 86 daje bardzo ostre prążki widma, przez co nadaje się do odtwarzania długości za pomocą metody interferencyjnej. Pozwala to na odtworzenie metra w przyrządach laserowych z dokładnością $\pm 3 \times 10^{-9}$, tzn. ± 3 nm (nanometr).

Należy wyjaśnić wymienione na wstępie pojęcie etalon. Wg normy PN-71/N-02050 jest to „narzędzie pomiarowe przeznaczone do określenia lub zrealizowania, zachowania lub odtwarzania jednostki miary określonej wielkości (albo jej wielokrotności lub podwielokrotności) w celu przekazywania jej przez porównanie innym narzędziom pomiarowym”. W przypadku metra może być tym narzędziem laser, np. kryptonowy.

Podobną rolę odgrywają wzorce miary zdefiniowane jako „narzędzie pomiarowe odtwarzające, praktycznie niezmiennie podczas jego użycia, jedną lub kilka znanych wartości danej wielkości, np. płytki

wzorcowa długości”. Wzorce w przeciwieństwie do etalonów mogą pełnić rolę narzędzi pomiarowych użytkowych.

Podstawową jednostką miar w budowie maszyn jest jednak milimetr [mm]. Oznacza to, że gdy na rysunku technicznym podany jest wymiar bez jednostek miar to jest on wyrażony w milimetrach. Dotyczy to również wymiarów dużych. Jednak milimetry służą najczęściej do określania tzw. wymiarów nominalnych. Wymiary dokładne podaje się w setnych częściach milimetra tzw. „setki” lub w mikrometrach [$1\mu\text{m} = 0,001\text{ mm}$], powszechnie nazywanych mikronami. Wymienione jednostki są podwielokrotnymi miarami długości wg układu SI, tj. Międzynarodowego Układu Jednostek Miar (*System Internationale*). Równolegle występują również jednostki długości angielskie. Wynika to stąd, że nie wszystkie kraje wdrożyły system SI, jak również dlatego, że w połączeniach rurowych (hydraulika, pneumatyka) tradycyjnie stosuje się te jednostki. W systemie angielskim jednostką podstawową jest cal, czyli szerokość kciuka.

Tabela 1. Przeliczniki jednostek miar długości angielskich i SI

milimetr	$1\text{ mm} = 0,001\text{ m} = 10^{-3}\text{ metra}$
mikrometr	$1\mu\text{m} = 0,001\text{ mm} = 0,000001\text{ m} = 10^{-6}\text{ metra}$
cal (inch)	in lub $1'' = 25,4\text{ mm} = 0,0254\text{ metra}$
stopa (foot)	ft. = $12''$
yard	yd. = 3 ft

Cale dzielone są najczęściej również w sposób tradycyjny, tj. na $\frac{1}{2}$; $\frac{1}{4}$; $\frac{3}{4}$; itd. Tak przynajmniej oznaczane są średnice rur i gwintów rurowych.

Oprócz miar długości ważne miejsce w metrologii zajmują kąty płaskie. Najczęściej wyrażane są w miarach stopniowych:

Tabela 2. Przeliczniki miar kątowych

kąt płaski pełny	$2\pi\text{ rad (radianów)}$
radian	$\text{rad} = 57^{\circ}17'44,8''$
mikroradian	$1\mu\text{rad} = \text{rad}/1000$
stopień	$1^{\circ} = 2\pi/360\text{ rad} = 0,0174533\text{ rad}$
minuta	$1' = 1^{\circ}/60 = 2\pi/21600\text{ rad} = 0,2908882 \times 10^{-5}\text{ rad}$

sekunda	$1'' = 1'/60 = 1^\circ/3600 = 2\pi/1296000 \text{ rad} = 0,4848137 \times 10^{-7} \text{ rad}$
grad	$1^g = 2\pi/400 \text{ rad}$
rumb	$1 \text{ rumb} = 2\pi/32 \text{ rad}$

Ostatnie dwie jednostki należy traktować jako ciekawostki, gdyż w technice nie występują. Bardzo często wymiar kąta podawany jest w jednostkach liniowych [mm]; 1:100, 1:12 itd. Przytoczone wyrażenia przedstawiają sobą zbieżności lub pochylenie, co oznacza, że na długości 100 mm średnica stożka lub pochylenie klina zmienia się (rośnie lub maleje) o 1 mm. Będzie to dokładniej omówione dziale dotyczącym pomiarów kątów.

W metrologii długości ważne miejsce zajmują temperatury. W układzie SI obowiązującą jest skala Kelvina, gdzie stopień Kelvina jest jednostką temperatury termodynamicznej w skali, w której temperatura punktu potrójnego wody jest równa dokładnie 273,16°K. W praktyce używany jest jednak stopień Celsjusza = 1°C, który wartościowo nie różni się od °K, a za to jednoznacznie informuje o stanie skupienia wody (lód, ciecz, para), co ma praktyczne znaczenie. W krajach anglosaskich obowiązuje skala Fahrenheita.

Tabela 3. Przeliczniki skal temperatur

Kelvina (K)	Celsjusza (C)	Fahrenheita (F)
0°	273,16°	-459,67°
255,4°	-17,80°	0°
273,16°	0°	32°
373,16°	100°	212°

Również twardość, tak przedmiotów badanych jak i samych narzędzi pomiarowych, ma istotne znaczenie w metrologii. Tym bardziej że mierzona jest różnymi sposobami: Rockwella (HRC i HRA), Vickersa (HV), Brinella (HB) i Shore'a (°Sh). W tabeli 4 podane są ważniejsze przeliczniki tych parametrów. Jest to wyciąg z normy PN-93/M-04357 „Tablice porównawcze twardości określonej sposobem Rockwella, Vickersa, Brinella, Shore'a i wytrzymałości na rozciąganie”. Tabela rozpoczyna się od 63 HRC, co oznacza najwyższą, realnie możliwą do uzyskania twardość ogólnie dostępnych stali. Jest to twardość łożysk tocznych, czyli stali ŁH15 i nielicznych innych gatunków stali wysokostopowych. Przy tej twardości stal jest bardzo krucha, stąd wytrzymałości na rozciąganie nie określa

się, co nie oznacza, że jej nie ma. Skala kończy się na twardości 90 HB – najniższą, spotykaną twardość stali. Jest to np. stal automatowa lub St0s. W Polsce najczęściej stosuje się skalę HRC dla stali twardych i HB dla miękkich. Przy czym skala HB, praktycznie rzecz biorąc kończy się na wartości 400 stopni.

Tabela 4. Porównanie niektórych twardości i wytrzymałości na rozciąganie w [MPa] stali

HRC	HRA	HV	HB	Shore	R_m
63	82,8	772	705	86,5	.
57,8	80,0	650	611	76,7	2180
54,0	77,9	577	543	70,9	1900
50,0	75,9	513	481	65,1	1683
45,0	73,1	446	421	58,5	1438
40,0	70,4	392	372	52,6	1273
35,0	67,9	345	328	47,1	1110
30,0	65,3	302	286	42,2	980
25,0	62,8	266	253	37,8	850
20,0	60,5	238	226	34,2	760
.	57,0	210	200	.	675
.	49,5	158	150	.	505
.	43,1	126	120	.	404
.	37,2	105	100	.	335
.	35,9	95	90	.	305

Na następnej stronie przypomnienie krotności obowiązujących w układzie SI. Są to przedrostki zwiększające lub zmniejszające wartość jednostki podstawowej.

Tabela 5. Nazwy, oznaczenia i wartości jednostek krotnych

zetta	Z	10^{21}	decy	d	10^{-1}
eksa	E	10^{18}	centy	c	10^{-2}
peta	P	10^{15}	mili	m	10^{-3}
tera	T	10^{12}	mikro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
mega	M	10^6	piko	p	10^{-12}
kilo	k	10^3	femto	f	10^{-15}
hekto	h	10^2	atto	a	10^{-18}
deka	da	10^1	zepto	z	10^{-21}

Uwaga. Symbole niektórych krotności powyżej mega pisze się wielką literą, a pozostałe małą.

W opisach pomiarowych stosowane są też symbole matematyczne. Ich znaczenie określa norma PN-68/N-01050 „Podstawowe oznaczenia matematyczne”. Oto niektóre z nich (dla przypomnienia) poza powszechnie znanymi:

Tabela 6. Podstawowe oznaczenia matematyczne

\pm	więcej lub mniej	\sphericalangle	kąt
\propto	znak proporcjonalności	r	promień okręgu
\div	od ... do ... włącznie	d, ϕ	średnica
\neq	jest nierówne	l	długość
\equiv	identyczne z	h	wysokość
\approx	równe w przybliżeniu	V	objętość
...	itd. do nieskończoności	P	pole powierzchni
:	stosunek, proporcja	const.	wartość stała

∞	nieskończoność	Π	3,14159
\in	należy do	//	równoległość
$>$	wartość po prawej mniejsza od lewej	\perp	prostokątność
$<$	wartość po prawej większa od lewej	.	.

Rzadko, ale jednak czasem trzeba posługiwać się liczbami wielkimi. Przedmiotowa norma uściśla nazewnictwo liczb wielkich.

Tabela 7. Nazwy liczb wielkich wg systemu angielskiego i SI

	wg SI	wg systemu angielskiego
10^6	milion	milion
10^9	miliard	bilion
10^{12}	bilion	trylion
10^{18}	trylion	kwadrylion
10^{24}	kwadrylion	kwintylion
10^{30}	kwintylion	sekstylion

Nazewnictwo wg SI nie dotyczy państw anglosaskich i byłego ZSRR. W systemach tych nie ma słowa miliard, a i wszystkie pozostałe nazwy przesunięte są ku niższym wartościom. Wg SI nazwy liczb zmieniają się począwszy od biliona co 10^6 , a w systemie angielskim co 10^3 .

Przydatne bywają również liczebniki rzymskie.

Tabela 8. Liczebniki rzymskie

I	1	XI	11	XX	20	C	100
II	2	XII	12	XXX	30	CC	200
III	3	XIII	13	XL	40	CCC	300

IV	4	XIV	14	L	50	CD	400
V	5	XV	15	LX	60	D	500
VI	6	XVI	16	LXX	70	DC	600
VII	7	XVII	17	LXXX	80	DCC	700
VIII	8	XVIII	18	XC	.	DCCC	800
IX	9	XIX	19	.	.	CM	900
X	10	M	1000

Również alfabet grecki jest często stosowany w oznaczeniach, zwłaszcza kątowych.

Tabela 9. Alfabet grecki. Wielkie i małe litery z ich wymową

A, α	alfa	N, ν	ni
B, β	beta	Ξ, ξ	ksi
Γ, γ	gamma	O, ο	omikron
Δ, δ	delta	Π, π	pi
E, ε	epsilon	P, ρ	ro
Z, ζ	dzeta	Σ, σ	sigma
H, η	Eta	T, τ	tau
Θ, θ	teta	Υ, υ	ypsilon
I, ι	jota	Φ, φ	fi
K, κ	kappa	X, χ	czy
Λ, λ	lambda	Ψ, ψ	psi
M, μ	mi	Ω, ω	omega

Kolejnym, ważnym zagadnieniem jest wymiarowanie przedmiotów. Wcześniej zostało wymienione pojęcie „wymiar nominalny”. Jest to pierwsza część wymiaru wyrażona w całych milimetrach. Część druga określa dokładność wymiaru i znajduje się po przecinku. Tak więc wymiar składa się z dwóch części, np.: 120,15 oznacza sto dwadzieścia milimetrów jako wymiar nominalny i piętnaście setnych milimetra – wymiar dokładny, a 10,008 oznacza dziesięć milimetrów i osiem tysięcznych milimetra, czyli osiem mikrometrów. Również w zapisie, np. 12,00 mm, zera mają swoje znaczenie. Wynika z nich, że pomiaru dokonano z dokładnością do setnej milimetra, a wymiar 12 mm ma taką właśnie dokładność, do drugiego zera po przecinku. W tym przypadku pominięcie zer byłoby błędem. Dalsze informacje o sposobach zapisu wymiarów dokładnych znajdują się w rozdziale o tolerancjach.

Wymienione dokładności mogą mieć dwa źródła. Może to być wartość narzucona przez konstruktora do wykonania lub wartość zmierzona, rzeczywista. W pierwszym przypadku zadaniem metrologa jest stwierdzenie stopnia zgodności wyrobu z tym wymaganiem przy pomocy pomiarów. Do pomiarów należy zastosować przyrząd gwarantujący uzyskanie wymaganej dokładności. W pierwszym przypadku wystarczy narzędzie o dokładności wskazań 0,01 mm, a w drugim musi być zastosowany przyrząd o dokładności 0,001 mm. W tym miejscu dochodzimy do bardzo ważnego zagadnienia, jakim jest opis wyników pomiarów. Elementy nieskomplikowane jak gładki wałek można opisać słownie i liczbowo, np. wałek $\phi 20 \times 100$, co jednoznacznie oznacza średnicę 20 mm i długość 100 mm. Wyroby bardziej skomplikowane opisuje się za pomocą rysunku lub szkicu, na który nanosimy siatkę wymiarową. Kierujemy się przy tym zasadami ujętymi w normie PN-ISO129 „Rysunek techniczny. Wymiarowanie. Zasady ogólne. Definicje. Metody wykonania i oznaczenia specjalne”. Warto przytoczyć z przedmiotowej normy niektóre kanony dobrego wymiarowania:

p. 3.2.2. Każdy element należy wymiarować na rysunku tylko jeden raz.

p. 3.2.3. Wymiary należy podawać na tym widoku lub przekroju, na którym odpowiednie elementy przedstawiono najwyraźniej.

p. 3.2.4. Na jednym rysunku powinna być stosowana taka sama jednostka miary (na przykład milimetry) dla wszystkich wymiarów, lecz bez podawania symbolu jednostki. Aby uniknąć błędnej interpretacji można podać w uwadze symbol jednostki miary dominującej na rysunku.

Ważne, aby baza wymiarowa na rysunku była zgodna z bazą użytą do pomiarów. Często ma to duże znaczenie dla czytającego protokół z pomiarów. W przypadku mierzenia wyrobów nieznanymi, bez dokumentacji, to wymiar nominalny można przewidzieć przy pomocy normy PN-78/M-02041 „Wymiary normalne”. Norma ta podaje szeregi wymiarów zalecanych do stosowania w budowie maszyn.

Ostatnim czynnikiem wpływającym bezpośrednio na interpretację wyników pomiarów jest jakość pisma. Liczby zapisane niedbale mogą czytającego wprowadzić w błąd. Sposób zapisywania liczb

reguluje norma PN-53/N-95039 „Pismo odręczne. Cyfry i liczby”. Czytamy tam następujące zalecenia:

p. 3. Zalecane jest pismo lekko pochyle w kierunku prawym.

Pochylenie pisma w kierunku lewym nie jest zalecane.

p. 5. Sposób zapisywania cyfr powinien być taki, aby nie powodował błędnego ich odczytania. Zaleca się pisanie wszystkich cyfr jednakowej wysokości, zwłaszcza pisanie zera tej samej wysokości, co pozostałe cyfry.

p. 6. Grupowanie cyfr. Liczby wielocyfrowe dzieli się dla czytelności na grupy trzycyfrowe za pomocą odstępów, przy czym odstęp między grupami cyfr nie powinien być większy niż przestrzeń zajęta przez jedną cyfrę. Nie należy rozdzielać liczb wielocyfrowych kropkami lub przecinkami.

1.2. Opracowanie wyników pomiarów

Przyrządy pomiarowe mają zarówno określoną dokładność pomiaru jak i błąd, jakim ta dokładność jest obciążona. Należy podawać w informacji o pomiarze dokładność taką, jaką ma narzędzie użyte do pomiaru. Wskazane jest wynik opatrzyć przewidywanym błędem, zwłaszcza gdy zaistniały czynniki wpływowe (błędy kształtu, zanieczyszczenia, temperatura itp.), np. $25,12 \pm 0,01$. Dzielenie działki elementarnej na pół lub, co gorsza, na więcej części, czyli tzw. interpolacja jest w warunkach warsztatowych dużym nieporozumieniem. Wykazane to zostanie w dalszych częściach pracy, gdy będą omawiane konkretne przyrządy pomiarowe. Szczególnie w pomiarach pośrednich istnieje możliwość „zwiększenia” dokładności pomiaru niemal w nieskończoność, np. zmierzono metodą opasania średnicę okrągłego bębna. Pomiaru dokonano przymiarem zwijanym o dokładności wskazań 1 mm. Wynik to 1000 mm, a więc średnica bębna wyniesie $1000 : 3,14 = 318,47133\dots$

Jak widać, wynik ułamkowy można rozwijać w nieskończoność. Podanie go w formie jak wyżej może zasugerować czytającemu protokół z pomiarów, że dokonano ich na mikroskopie elektronowym. A tak nie jest. W tym przypadku należy podać do wiadomości wynik 318 mm albo $318,5 \pm 1$ mm zaznaczając, że pomiar miał charakter pośredni. Właściwie to nigdy nie zaszkodzi, gdy podamy w protokole rodzaj użytych narzędzi i warunki pomiaru. W pismach oficjalnych, jak reklamacje wyrobów, jest to wręcz wymagane, wraz z podaniem numeru narzędzia, jego cech legalizacyjnych oraz nazwiska pomiarowca. W powyższym przykładzie doszło do zaokrąglenia liczby określającej wynik pomiaru. Zasadą podstawową jest wykorzystanie tylko tylu miejsc po przecinku, jaka jest dokładność wskazań narzędzia. Kolejną zasadą jest trzymanie się ustalonych reguł zaokrąglenia liczb. Podaje je norma PN-70/N-02120 „Zasady zaokrąglenia i zapisywania liczb”. Oto kilka z nich:

p. 1.3.2. Liczba przybliżona (wartość liczbowa przybliżona) – liczba, która wyraża wartość wielkości określoną z błędem wynikającym z niedokładności pomiaru lub obliczenia, bądź liczba, która wyraża wartość wielkości ściśle zdefiniowanej, lecz:

- niedającej wyrazić się bez błędu liczbą w systemie dziesiętnym,
- zaokrąglona jest z wystarczającą dokładnością.

p. 2. Zasady zaokrąglania liczb

p. 2.1. Zasada pierwsza. Jeśli pierwsza (licząc od lewej strony) z odrzuconych cyfr jest mniejsza od 5, to ostatnia pozostawiona cyfra nie ulega zmianie, np. 14,24 jest 14,2.

p. 2.2. Zasada druga. Jeśli pierwsza (licząc od lewej strony) z odrzuconych cyfr jest większa od 5, to ostatnią pozostawioną cyfrę powiększa się o jednostkę, np. 26,48 jest 26,5.

p. 2.3. Zasada trzecia. Jeśli pierwsza (licząc od lewej strony) z odrzuconych cyfr jest równa 5, lecz następuje po niej, co najmniej jeszcze jedna cyfra inna niż zero, ostatnią pozostawioną cyfrę powiększa się o jednostkę, np. 1,0501 jest 1,1.

Zasad tych jest osiem, ale w/w mają decydujące znaczenie. Norma ta podaje też zasady zapisywania liczb przybliżonych. Najważniejsza z nich to liczba przybliżona, dla której podaje się dopuszczalne odchyłki, powinna mieć ostatnią cyfrę znaczącą na tym samym miejscu dziesiętnym, co ostatnia cyfra znacząca odchyłki.

Przykłady:

Należy pisać $17,0 \pm 0,2$, a nie $17 \pm 0,2$ lub $17,00 \pm 0,2$.

Należy pisać $46,40 \pm 0,15$, a nie $46,4 \pm 0,15$ lub $46,402 \pm 0,15$.

1.3. Ważniejsze pojęcia związane z metrologią

Norma PN-71/N-02050 podaje szereg definicji określających czynności, narzędzia i błędy metrologiczne. Oto niektóre z nich (cytat z w/w normy):

3. Czynności państwowej służby metrologicznej

3.1. Kontrola narzędzi pomiarowych – czynności dotyczące:

- a) badania typów narzędzi pomiarowych w celu ich zatwierdzenia,
- b) legalizacji lub uwierzytelniania,
- c) nadzoru metrologicznego.

3.2. Badanie typu – badanie jednego lub większej liczby narzędzi pomiarowych tego samego typu, zgłoszonych przez wytwórcę do państwowej służby metrologii prawnej. Badanie obejmuje niezbędne próby, decydujące o zatwierdzeniu lub odmowie zatwierdzenia tego typu.

3.10. Sprawdzenie metrologiczne – czynności, na podstawie, których można stwierdzić, czy narzędzie pomiarowe odpowiada wymaganiom przepisów pod względem jego właściwości metrologicznych.

3.12. Legalizacja – czynności, wykonywane przez organ państwowej służby metrologii prawnej lub przez inny organ upoważniony przez państwową służbę w celu stwierdzenia i zaświadczenia, że narzędzie pomiarowe całkowicie spełnia wymagania przepisów legalizacyjnych. Legalizacja składa się ze sprawdzenia i ocechowania narzędzia lub wydania świadectwa legalizacyjnego.

3.24. Uwierzytelnienie – czynności mające na celu wyznaczenie wartości błędów narzędzia pomiarowego (i ewentualnie innych jego właściwości metrologicznych).

3.29. Adiustacja – czynności (obróbki lub zwykle regulacji) mające na celu doprowadzenie narzędzia pomiarowego do poprawnego działania i prawidłowości wskazań.

3.30. Wzorcowanie – ustalenie położenia wskazów (ewentualnie niektórych głównych wskazów) narzędzia pomiarowego odpowiednio do różnych wartości wielkości mierzonej.

3.31. Skalowanie – wykonanie podziałki narzędzia pomiarowego na podstawie, wskazów określonych (w razie potrzeby przez interpolację między głównymi wskazami)

4. Znaki służby metrologii prawnej

4.2. Cecha legalizacyjna – znak umieszczony na narzędziu pomiarowym w celu:

a) stwierdzenia, że narzędzie czyni zadość wymaganiom prób legalizacyjnych,

b) zabezpieczenia określonych jego części składowych przed usunięciem, przemieszczeniem, zmianą lub uszkodzeniem.

4.10. Świadectwo legalizacji – dokument poświadczający dokonanie legalizacji narzędzia pomiarowego

5. Wielkości fizyczne i jednostki miar

5.1. Wielkość (mierzalna) – właściwość zjawiska lub ciała, którą można wyznaczyć jakościowo i ilościowo.

5.4. Wartość rzeczywista wielkości – wartość charakteryzująca wielkość określoną jednoznacznie w warunkach istniejących w chwili, w której wartość ta jest badana.

5.16. Skala wielkości – uporządkowany zbiór wartości danej wielkości, określonych zgodnie z umownie przyjętymi założeniami.

5.17. Jednostka miary – wartość danej wielkości, której wartość liczbową umownie przyjęto równą jedności.

5.28. Międzynarodowy Układ Jednostek Miar (SI) – usystematyzowany zbiór jednostek miar, przyjęty i zalecany przez Generalną Konferencję Miar, oparty na siedmiu jednostkach podstawowych, którymi są:

- metr – jednostka długości,
- kilogram – jednostka masy,
- sekunda – jednostka czasu,
- amper – jednostka natężenia prądu elektrycznego,
- kelwin – jednostka temperatury termodynamicznej,
- kandela – jednostka światłości,
- mol – jednostka ilości materii.

6. Pomiary

6.1. Pomiar – czynności doświadczalne mające na celu wyznaczenie wartości wielkości.

6.5. Metoda pomiarowa bezpośrednia – metoda pomiarowa, dzięki której wartość wielkości mierzonej otrzymuje się bezpośrednio, bez potrzeby wykonywania dodatkowych obliczeń opartych na zależności funkcyjnej wielkości mierzonej od innych wielkości.

6.6. Metoda pomiarowa pośrednia – metoda pomiarowa, dzięki której wartość mierzonej wielkości otrzymuje się pośrednio z pomiarów bezpośrednich innych wielkości związanych odpowiednio z wielkością mierzoną.

6.17. Wskazanie narzędzia pomiarowego – wartość wielkości mierzonej wskazana przez narzędzie pomiarowe.

6.23. Wynik pomiaru – wartość wielkości mierzonej otrzymana w czasie pomiaru.

7. Narzędzia pomiarowe i ich klasyfikacja

7.1. Narzędzia pomiarowe – środki techniczne przeznaczone do wykonywania pomiarów, obejmujące:

- wzorce miar,
- przyrządy pomiarowe.

7.2. Wzorzec miary – narzędzie pomiarowe odtwarzające, praktycznie niezmiennie podczas jego użycia, jedną lub kilka znanych wartości danej wielkości.

7.3. Przyrząd pomiarowy – narzędzie pomiarowe służące do przetwarzania wielkości mierzonej – albo jednej spośród innych wielkości związanych z tą wielkością mierzoną – na wskazanie lub równoważną informację.

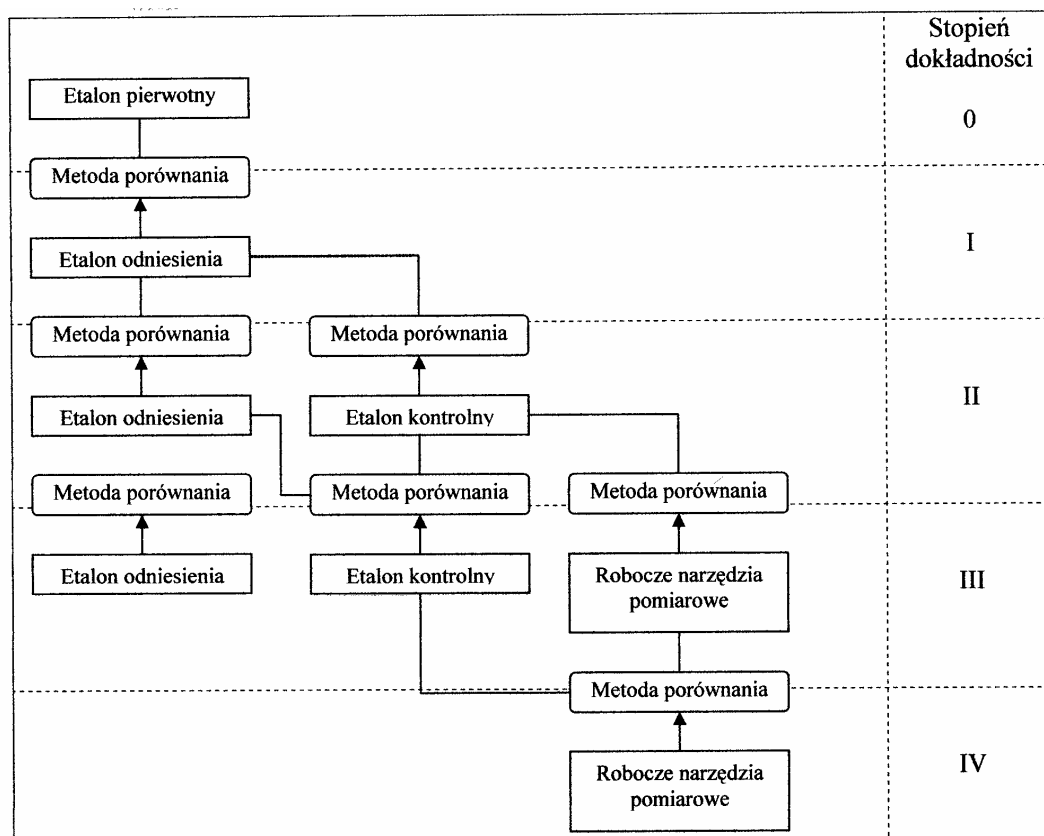
7.4. Miernik – przyrząd pomiarowy określający tylko za pomocą jednego wskazania wartość wielkości mierzonej (bez rejestrowania tego wskazania).

7.11. Narzędzie pomiarowe użytkowe – narzędzie pomiarowe przeznaczone do pomiarów użytkowych, (lecz nie do sprawdzania innych narzędzi).

7.15. Przetwornik pomiarowy – narzędzie służące do przetworzenia, z określoną dokładnością i według określonego prawa, wartości wielkości mierzonej (albo wielkości już przetworzonej z wielkości mierzonej) na wartość innej wielkości lub inną wartość tej samej wielkości. Przetwornik pomiarowy stanowi z narzędziem pomiarowym jedną całość, która jednak może być użyta oddzielnie.

7.17. Aparatura pomiarowa – zespół środków technicznych przeznaczony do wykonania pewnego zadania pomiarowego określoną metodą pomiarową, obejmujący wszystkie narzędzia pomiarowe i pomiarowe urządzenia pomocnicze połączone ze sobą według określonego schematu.

7.31. Układ sprawdzeń narzędzi pomiarowych – układ hierarchiczny narzędzi pomiarowych służących do pomiaru określonej wielkości według kolejności i dokładności operacji przekazywania jednostki miary tej wielkości.



Rys.1. Hierarchia etalonów

8. Narzędzia pomiarowe, ich budowa i części składowe

- 8.9. Łańcuch pomiarowy – ciąg przetworników i części łączących narzędzia pomiarowego, znajdujących się między czujnikiem, stanowiącym pierwszy element łańcucha, a urządzeniem wskazującym, stanowiącym jego ostatni element.
- 8.10. Czujnik – element przyrządu pomiarowego służący do odbierania informacji o wielkości mierzonej.
- 8.13. Urządzenie wskazujące – zespół elementów przyrządu pomiarowego przeznaczonych do wskazywania wyników pomiaru.
- 8.15. Wskaz – kreska lub inny znak znajdujący się na urządzeniu wskazującym, odpowiadający jednej lub kilku określonym wartościom wielkości mierzonej.
- 8.16. Podziałka – uporządkowany zbiór wskazów na urządzeniu wskazującym narzędzia pomiarowego.
- 8.22. Działka elementarna – przedział między jakimikolwiek dwoma sąsiednimi wskazami podziałki.
- 8.24. Wartość działki elementarnej – wartość wielkości mierzonej odpowiadająca działce elementarnej.
- 8.35. Podzielnia – część urządzenia wskazującego, na której naniesiono podziałkę lub podziałki.

9. Błędy wyników pomiarów i błędy narzędzi pomiarowych

- 9.1. Błąd pomiaru – niezgodność wyniku pomiaru z wartością wielkości mierzonej.
- 9.2. Błąd systematyczny – błąd, który przy wielu pomiarach tej samej wartości pewnej wielkości, wykonanych w tych samych warunkach, pozostaje stały zarówno, co do wartości bezwzględnej, jak i co do znaku, lub zmienia się według określonego prawa wraz ze zmianą warunków.
- 9.4. Błąd przypadkowy – błąd zmieniający się w sposób nieprzewidywany zarówno, co do wartości bezwzględnej, jak i co do znaku, przy wykonaniu dużej liczby pomiarów tej samej wartości pewnej wielkości w warunkach praktycznie niezmiennych.
- 9.15. Niepewność pomiaru – rozrzut wyników pomiaru wyznaczony przez błędy graniczne.
- 9.21. Niedokładność pomiaru – niedokładność wyrażona przez zespół błędów granicznych, zawierający wszystkie błędy systematyczne oraz graniczne błędy przypadkowe.
- 9.22. Błąd narzędzia – błąd pochodzący od narzędzia użytego do pomiaru.
- 9.25. Błąd zera – wskazanie narzędzia pomiarowego dla wartości zerowej wielkości mierzonej.
- 9.31. Błąd temperaturowy – błąd pochodzący stąd, że temperatura otoczenia nie zachowuje wartości przewidzianych w warunkach odniesienia.

9.32. Współczynnik temperaturowy narzędzia pomiarowego – wartość względna zmiany wskazań przyrządu pomiarowego lub rzeczywistych wartości wzorca miary, gdy ich temperatura zmienia się o 1°C.

9.33. Błąd tarciowy – błąd spowodowany tarciem elementów ruchomych narzędzia pomiarowego.

9.34. Błąd bezwładnościowy – błąd spowodowany bezwładnością (mechaniczną, cieplną lub inną) elementów narzędzia pomiarowego.

9.37. Błąd metody – błąd spowodowany zastosowaniem nieodpowiedniej metody pomiaru z punktu widzenia właściwości użytych narzędzi pomiarowych.

9.38. Błąd obserwacji – błąd popełniony przez obserwatora w czasie pomiaru.

9.40. Błąd paralaktyczny – błąd odczytania powstający wówczas, gdy istnieje pewien odstęp między powierzchnią wskazówki a powierzchnią podzielnicy i gdy odczytanie wykonuje się nie w kierunku przewidzianym dla użytego narzędzia pomiarowego.

9.41. Błąd interpolacji – błąd odczytania wynikający z niedokładnej oceny położenia wskazówki względem dwóch sąsiednich wskazań, między którymi znajduje się wskazówka.

10. Warunki użytkowania i właściwości metrologiczne narzędzi pomiarowych

10.1. Warunki normalne użytkowania narzędzia pomiarowego – warunki, które powinny być przestrzegane w celu poprawnego stosowania narzędzia i które uwzględniają jego budowę, wykonanie oraz przeznaczenie.

10.6. Zakres pomiarowy – zakres wartości wielkości mierzonej, dla których wskazania narzędzia pomiarowego otrzymane w normalnych warunkach użytkowania i z jednego tylko pomiaru nie powinny być obciążone błędem większym od granicznego błędu dopuszczalnego.

10.15. Pewność odczytania narzędzia pomiarowego – właściwość narzędzia pomiarowego, którego urządzenie wskazujące jest wykonane w ten sposób, że umożliwia jednoznaczne rozpoznanie wskazania.

10.16. Czułość narzędzia pomiarowego – właściwość narzędzia pomiarowego dla danej wartości wielkości mierzonej wyrażająca się ilorazem przyrostu obserwowanej zmiennej dI przez odpowiedni przyrost wielkości dG :

$$k = dI/dG$$

10.22. Wierność narzędzia pomiarowego – właściwość charakteryzująca zdolność narzędzia pomiarowego do dawania zgodnych między sobą wskazań dla tej samej wartości wielkości mierzonej, nie biorąc pod uwagę błędów systematycznych o wartościach zmiennych.

10.23. Rozrzut wskazań narzędzia pomiarowego – zmienność wyników pomiaru narzędziem pomiarowym w serii pomiarów tej samej wartości wielkości mierzonej.

10.29. Histereza pomiarowa – błąd odwracalności charakteryzujący się różnicą wskazań narzędzia pomiarowego, gdy tę samą wartość wielkości mierzonej osiąga się raz przy zwiększaniu wartości wielkości mierzonej, drugi raz – przy jej zmniejszaniu.

10.32. Pobudliwość narzędzia pomiarowego – właściwość charakteryzująca zdolność narzędzia pomiarowego do reagowania na małe zmiany wielkości mierzonej.

10.38. Dokładność narzędzia pomiarowego – właściwość charakteryzująca zdolność narzędzia pomiarowego do wskazywania wartości wielkości bliskich rzeczywistej wartości wielkości mierzonej.

10.42. Klasa dokładności narzędzia pomiarowego – charakterystyka narzędzi pomiarowych o tych samych wymaganiach dotyczących dokładności”.

Metrologia jest przedmiotem ścisłym a czynności metrologiczne mają często skutki prawne. Stąd prawidłowe nazewnictwo rzeczy i zdarzeń ma pierwszorzędne znaczenie. Na przykład czynności tj. legalizacja i uwierzytelnienie na pozór oznaczają to samo. Jednak skutki prawne są zdecydowanie różne. Porównaj definicje obu tych czynności, wymienionych w p. 3.12 i 3.24.

W punkcie 7.31 przedstawiony jest hierarchiczny układ sprawdzeń narzędzi pomiarowych. Sprawdzanie to leży w kompetencji państwowej służby metrologicznej. W Polsce stanowi ją Główny Urząd Miar i jego jednostki terenowe, czyli Okręgowe Urzędy Miar (w miastach wojewódzkich) oraz Obwodowe Urzędy Miar (w niektórych miastach powiatowych, najczęściej w tych, które niegdyś były województwami).

2. Błędy wykonania części maszyn

Wykonywaniu części maszyn towarzyszą nieodłącznie błędy. Wynikają z niedoskonałości obrabiarek i narzędzi, czynników zewnętrznych, jak i cech obrabianych materiałów. Błędy obróbcze podzielić można na trzy grupy:

- a) błędy wymiaru,
- b) błędy kształtu,
- c) błędy położenia.

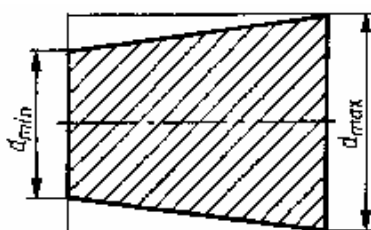
Błędy wymiaru podzielić można na dwa rodzaje. Są to braki naprawialne i nienaprawialne. Brakiem naprawialnym jest wałek o średnicy większej niż wymagana lub otwór o średnicy zbyt małej. Tak wykonane przedmioty można ponownie poddać obróbce i uzyskać wymiary właściwe. Przypadki odwrotne, czyli wałek za mały lub otwór zbyt duży stanowią braki nienaprawialne. Oczywiście można w pewnych przypadkach poddać je regeneracji poprzez napawanie, wyklejanie itp. zabiegi, ale zmieniają one cechy fizyko-chemiczne przedmiotu, co nie zawsze jest dopuszczalne. Ogólnie mówi

się, że błąd jest naprawialny, jeżeli usterkę można usunąć w tym samym procesie technologicznym, w którym powstał. Podobnie rzecz ma się z innymi błędami wymiarowymi: długości i kąta.

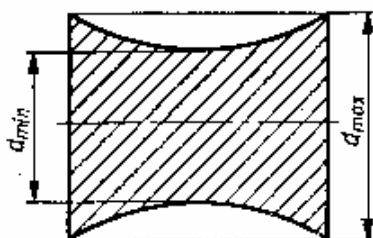
Błędy kształtu podobnie j.w. wymiarowe również można podzielić na naprawialne i nienaprawialne. Zasada jest ta sama. Jeżeli można usunąć je w tym samym procesie technologicznym, w którym powstały to są to braki naprawialne. Wykorzystywanie innych procesów technologicznych do naprawy oznacza błąd nienaprawialny. Z w/w na powodów naprawialne są te usterki, które znajdują się na zewnątrz wymiaru, większy wałek lub mniejszy otwór.

Typowymi błędami kształtu dla wałków i otworów są: stożkowość, siodłowość i baryłkowość (rys. 2).

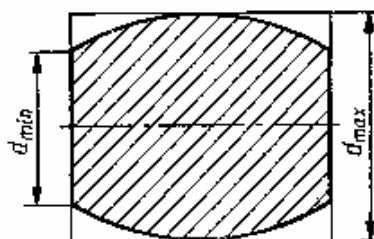
a)



b)



c)



Rys.2. Błędy walcowości

Błąd stożkowości (rys.2a) powstaje najczęściej na skutek wad obrabiarki, mówimy wtedy, że tokarka „ciągnie stożek”. Dotyczy to zwłaszcza przedmiotów długich, tak wałków jak i tulei.

Siodłowość jest również efektem złej pracy obrabiarki, np. wygiętych prowadnic.

Siodłowość (rys.2.b) jest rzadko spotykanym błędem kształtu, a powstaje na skutek złej geometrii prowadnic tokarki.

Baryłkowość (rys.2c) powstać może na skutek nadmiernych nacisków noża na obrabiany wałek, zwłaszcza gdy jest długi i cienki. Środkowa jego część ugina się, odchodzi od noża i następuje mniejszy zabiór materiału. Po zakończeniu obróbki wałek prostuje się i na środku powstaje garb, a całość przypomina beczkę.

Miarą w/w błędów jest stosunek różnicy większej średnicy i mniejszej przez dwa. Oznacza to odchyłkę „na stronę”, czyli rzeczywiste odchylenie od profilu teoretycznego obserwowanej powierzchni.

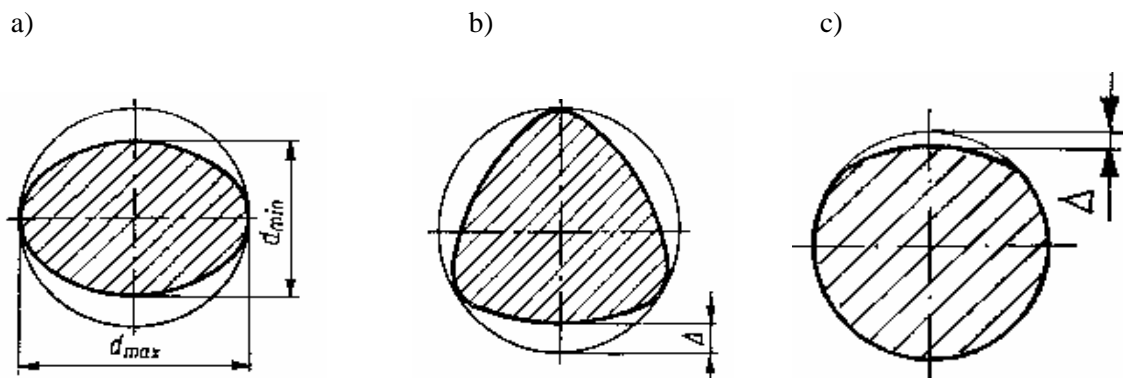
$$\Delta = (d_{\max} - d_{\min})/2$$

Przedmiotowe błędy dotyczą przekroju wzdłużnego walca. W warunkach rzeczywistych w/w odchyłki wynoszą najwyżej kilka setnych milimetra (na rysunkach zostały wyolbrzymione dla celów poznawczych). Mimo to ich negatywne znaczenie dla funkcjonowania części maszyn współpracujących ze sobą jest bardzo duże, np. w nośności powierzchni. Zagadnienie to zostanie omówione dokładnie przy okazji chropowatości i falistości.

Przekrój poprzeczny walca może mieć błędy okrągłości (kołowości).

Typowymi błędami okrągłości są wg rys.3:

- a) owalność,
- b) graniastość,
- c) spłaszczenie.



Rys.3. Błędy okrągłości

Owalność jest odchyłką przypominającą elipsę. Jej miarą jest różnica średnicy dużej i małej podzielona przez dwa:

$$\Delta = (d_{\max} - d_{\min})/2$$

Oznacza to odchyłkę od profilu okrągłości mierzoną na „stronę”. Rysunek 3a przedstawia owal, który wypełnia profil teoretyczny, tzn. odchyłka zaniża średnicę okręgu. Może być również dobrze odwrotnie, tzn. mniejsza średnica znajduje się na profilu okręgu, a większa jest na zewnątrz. W tym drugim przypadku mamy do czynienia z brakiem naprawialnym, gdyż stoczenie lub, co częściej jest praktykowane, zeszlifowanie większej średnicy przywróci wałkowi kształt okręgu. Owalność, jako błąd obróbczy, niekoniecznie musi tworzyć elipsę dokładnie symetryczną. Owal najczęściej występuje przy toczeniu tulei mocowanych w uchwycie czteroszczękowym. Nierównomierny docisk szczęk na krzyż powoduje odkształcenie tulei i, co za tym idzie, zmienną grubość zbierania naddatku.

Graniastość jest odchyłką wprowadzającą w profil okręgu figurę w postaci wieloboku foremego, oczywiście o kształcie zaokrąglonym. Rysunek 3b przedstawia kształt trójkąta równobocznego, ale również dobrze mogą wystąpić inne figury, prawidłowe lub nie. Podobnie jak w przypadku owalu, błąd ten może mieścić się wewnątrz profilu okręgu i jest to brak nienaprawialny, lub na zewnątrz i wtedy można przystąpić do jego usunięcia przez obróbkę skrawaniem. Graniastość, jak na rys. 3a, najczęściej zdarza się podczas toczenia tulei zamocowanej w uchwycie trzyszczękowym. Nadmierny docisk szczęk deformuje tuleję i w konsekwencji następuje nierównomierne skrawanie naddatku. Po wyjęciu tulei z uchwytu i jej sprężystym odkształceniu się mamy graniastość jak na rysunku.

Splaszczanie, najczęściej również w tulejach, jest następstwem nierównego docisku jednej szczęki uchwytu tokarskiego. Oczywiście, może nastąpić również jako efekt złego transportu i składowania tulei, czyli po prostu lokalne zgniecenie. W wałkach wykrzywionych obrabianych na tokarce również może powstać odchyłka o charakterze splaszczania. Dotyczy to strony bardziej wygiętej.

Zagadnienie mocowania tulei w uchwytach tokarskich nie jest proste. Dotyczy to zarówno toczenia powierzchni zewnętrznych jak i otworu, mocowania zewnętrznego i wewnętrznego. Wypróbowanym sposobem dla uniknięcia w/w błędów jest osadzanie w tulei sztywnego, stalowego pierścienia lub pokrywy i skrawanie małym naddatkiem.

Opisane błędy kształtu powierzchni walcowych dotyczą również wałków. Tu częstą przyczyną jest nierównomierny rozkład twardości materiału, czyli wady hutnicze. Zdarza się to szczególnie przy odkuwkach o dużych średnicach. Często też, zwłaszcza w stalach wysokostopowych oraz w stopach nieżelaznych, zdarza się zmienna skrawalność spowodowana nierównomiernym rozkładem składników stopowych. W obróbce wymienionych metali duże znaczenie mają płyny smarujące-chłodzące. Źle dobrane, albo w ogóle nie stosowane powodują oblepianie krawędzi skrawającej i zmianę warunków obróbki. Wówczas następuje zmienne odpychanie noża tokarskiego, co skutkuje w/w błędami kształtu.

Kolejnym, często spotykanym błędem obróbczym jest niewspółosiowość i bicie promieniowe oraz bicie osiowe. Rzecz dotyczy głównie wałków wielostopniowych, czyli składających się z dwóch lub

więcej czopów, ale również stopniowanych otworów. Wymienione błędy opisywane są przez normę PN-78/M-02137 „Tolerancje kształtu i położenia. Nazwy i określenia”. Główna różnica między niewspółosiowością a biciem polega na tym, że w biciu wszystkie średnice są w jednej osi, a przy niewspółosiowości nie. Jednak w praktyce traktuje się oba te błędy jako bicie promieniowe (poprzeczne). Dociekanie wymienionej subtelności nie ma sensu, gdyż skutki eksploatacyjne obu tych błędów są podobne. Również metoda wykrywania tych błędów jest identyczna, czyli obrót wału w nakiełkach lub na podporach z pomiarem odchyłki wychylenia czopów czujnikiem zegarowym.

Niewspółosiowość (mimośrodowość, wykorbienie) powstaje najczęściej podczas zmiany mocowania wału w obrabiarence. Toczeniu, zwłaszcza wałów długich, towarzyszy zamiana zamocowania. Koniec podparty w koniku i już obrobiony przechodzi do uchwytu i odwrotnie. Zdarza się również zmiana obrabiarki, np. z tokarki na szlifierkę. Również uszkodzenie lub zanieczyszczenie nakiełków może spowodować błąd niewspółosiowości. Jego istotę oddają podane w nawiasie nazwy popularne – warsztatowe. Wał wielostopniowy z błędem niewspółosiowości jest po prostu w skali setnych części milimetra wałem korbowym.

Bicie promieniowe jest często efektem błędów okrągłości. Zwłaszcza owalność może spowodować dużą wartość bicia, czyli lokalnie zmienne odległości powierzchni wałka od jego osi.

Bicie osiowe (poosiowe, czołowe) powstaje przy obróbce powierzchni czołowych (tarcze, zatoczenia itp). Powstaje wtedy, gdy płaska powierzchnia czołowa nie jest prostopadła do osi głównej całego przedmiotu. Ma to duże znaczenie w dużych elementach szybko wirujących, np. sprzęgła. Bicie osiowe utrudnia właściwe połączenie obu połówek sprzęgła a także wprowadza niewyważenie statyczne i dynamiczne.

Bicie i niewspółosiowość nie mają większego znaczenia na średnicach z niczym nie współpracujących lub wolnoobrotowych. Gorzej, gdy na taką średnicę zostanie zamontowane łożysko, koło zębate, sprzęgło lub hamulec. Odchyłki te przenoszą się w całości na ich pracę powodując szkodliwe zakłócenia kinematyczne i dynamiczne. Nadmierne bicie i niewspółosiowość, zwłaszcza na wałach szybko obrotowych, jest powodem niewyważenia dynamicznego (najczęściej zwielokrotnionego), które szybko prowadzi do awarii całych mechanizmów, w tym również tych nie współpracujących bezpośrednio, gdyż drgania rozchodzą się po całej konstrukcji. Pomiar w/w błędów kształtu najpewniej można dokonać za pomocą czujnika zegarowego. Przedmiot badany może być zamocowany w kłach lub podparty w pryzmach. W pierwszym przypadku odchyłka będzie odniesiona do osi głównej, a w drugim do osi czopów podpieranych. Możliwość usunięcia w/w błędów kształtu związana jest, jak poprzednio z tym, czy wady znajdują się nad ustalonym profilem przedmiotu – wada naprawialna, czy wewnątrz profilu – wada nienaprawialna.

Do typowych błędów kształtu należą też wypukłość i wklęsłość. Dotyczy to odkształceń lokalnych i nie ma nic wspólnego z poprzednio omawianymi błędami. Są to błędy powierzchni, występujące

wspólnie i rzadko mające przyczynę w obróbce skrawaniem. Najczęściej powodem ich powstawania jest obróbka cieplna i procesy spawalnicze. Natomiast na skutek obróbki wiórowej następuje uwalnianie naprężeń wewnętrznych i powstawanie przedmiotowych błędów.

Błędy położenia wynikające z obróbki skrawaniem są raczej nie do naprawy w tym samym procesie obróbczym. Natomiast powstałe w czasie montażu, zwłaszcza przy pomocy śrub, nitów, kołków, klejenia, mogą być brakami naprawialnymi w przeciwieństwie do spawania, gdzie naprawa jest trudna lub niemożliwa.. Najczęściej spotykanym obróbczym błędem położenia jest rozstaw otworów. Jeżeli przedmiot ma więcej niż dwa otwory o dokładnie ustalonym rozstawie, to jest wielce prawdopodobne, że będą tam błędy położenia. Szczególnie obróbka na wiertarce jest mało precyzyjna. Dotyczy to trasowania, ustawiania wiertła, jak i samego procesu wiercenia. Jedynie wytaczarka, zwłaszcza sterowana numerycznie jest gwarantem uniknięcia błędów położenia otworów i innych elementów kształtowych.

Te i inne błędy kształtu i położenia opisane są również w dalszych rozdziałach, np. tolerancje i pomiary typowych części maszyn.

3. Błędy pomiarowe

W punkcie 1.3 omówiono niektóre rodzaje błędów pomiarowych na podstawie definicji z normy. Obecnie zajmiemy się zagadnieniem bardziej dogłębnie. Błąd pomiaru został zdefiniowany jako niezgodność wyniku pomiaru z wartością wielkości mierzonej. Stwierdzić trzeba, że każdy pomiar obarczony jest jakimś błędem. Pomiarów bezbłędnych nie ma. Rodzi się więc pytanie, jak poznać prawdziwą wartość wielkości mierzonej. Z metrologicznego punktu widzenia zagadnienie jest dość proste. Należy użyć do pomiarów porównawczych narzędzie o klasę dokładniejsze, co oznacza najczęściej 10-krotny wzrost precyzji. Przykład: zmierzono mikrometrem wałek. Wynik pomiaru to 20,02 mm. Dla oszacowania błędu wystarczy dokonać pomiaru transmetrem, wynik np. 20,021 wskazuje, że błąd wyniósł ok. 0,001 mm, czyli na poziomie setnych części milimetra jest poprawny. A o taką dokładność chodziło nam w pomiarach pierwotnych – warsztatowych. Wykonanie pomiarów sprawdzających narzędziem o klasę lepszym jest najprostszym i najpewniejszym sposobem warsztatowym. Ponieważ nie zawsze jest to możliwe, należy zapoznać się ze wszystkimi rodzajami błędów, a szczególnie ze źródłem ich powstawania. Pozwoli to na oszacowanie błędów pomiarów. Oto niektóre z najczęściej występujących błędów pomiarowych:

a) błędy systematyczne – podzielić można na stałe, co do wartości i zmienne, biorąc pod uwagę cały zakres pomiarowy narzędzia. Związane są głównie z budową narzędzia, jego klasą a także, co ważne ze zużyciem eksploatacyjnym. Oba rodzaje błędów systematycznych można łatwo wyznaczyć przy pomocy narzędzi dokładniejszych a jeszcze lepiej na płytkach wzorcowych. Tak wyznaczone błędy należy uwzględniać przy odczytywaniu wyników pomiarów jako poprawki (dodając je lub odejmując). Niektóre przyrządy pomiarowe mają możliwość regulacji, np. mikrometry. Należy to wyko-

rzystać i dokonać właściwych nastaw. Przy tym zabiegu trzeba wziąć pod uwagę wskaz zerowy i maksymalny oraz trzy, równomiernie rozłożone wskaźy pośrednie. Wskaźy pośrednie powinny być ustawione za każdym razem na inną dokładność, tzn. przykładowo w mikrometrze ,00; ,17; ,35. Chodzi o to by elementy pomiarowe, wrzeciono i kowadełko były za każdym razem w innym położeniu wzajemnym, co wyeliminuje tzw. błędy okresowe, w mikrometrach występujące co 0,5 mm, czyli co jeden obrót wrzeciona.. Zasada ta dotyczy wszystkich innych narzędzi pomiarowych. Okresowe sprawdzanie narzędzi pomiarowych powinno być czynnością rutynową. Z braku własnego zaplecza można to zlecić wyspecjalizowanym laboratoriom, np. w Urzędach Miar. Oprócz sprawdzeń okresowych należy bezwzględnie dokonać kontroli narzędzia pomiarowego które uległo wyraźnemu zużyciu, uszkodzeniu, korozji a nawet zdarzeniom takim jak upadek mimo braku widocznych uszczerbków.

1. Błąd przypadkowy – powstaje w sposób nieprzewidywalny, stąd też nie można go uwzględnić w pomiarach w postaci poprawki. Błąd ten należy zidentyfikować i wyeliminować. Można tego dokonać wykonując serie pomiarów tym samym narzędziem, w identycznych warunkach przez tego samego pomiarowca. Wynik, który odbiega wyraźnie od pozostałych, jest niewątpliwie błędem przypadkowym, nadmiernym. Należy usunąć go z przedmiotowej serii pomiarów i analizować tylko pozostałe wyniki.

Wyjątek stanowią pomiary zużytych części maszyn. W tym przypadku możliwe jest, że nie jest to błąd pomiaru, tylko duże uszkodzenie badanego przedmiotu. W takim razie, należy miejsce, w którym uzyskano wynik mocno odbiegający od pozostałych, pomierzyć ponownie, by upewnić się, która wersja jest prawdziwa.

2. Osobną grupę wśród błędów przypadkowych stanowi zły odczyt wskazań narzędzia, co skutkuje tzw. błędem grubym. Zdarza się, że pomiarowiec koncentrując się nad częścią dokładną pomiaru (setki, mikrony) pomyli się co do milimetrów. Wypróbowanym sposobem na uniknięcie tych błędów jest wykonanie pomiarów wstępnych narzędziem, które pokazuje tylko wymiar nominalny. Może to być przymiar kreskowy sztywny lub zwijany albo suwmiarka.

Dokonywanie pomiarów w postaci serii, minimum trzech, powinno być czynnością rutynową dla pomiarowca. Pojedynczy pomiar nie powinien być w ogóle brany pod uwagę jako miarodajny. Obowiązuje zasada, że lepiej trzy razy zmierzyć niż raz poprawiać. Przy tym nie ma to nic wspólnego z brakiem zaufania do pomiarowca. Narzędzia pomiarowe również mogą być źródłem błędów przypadkowych.

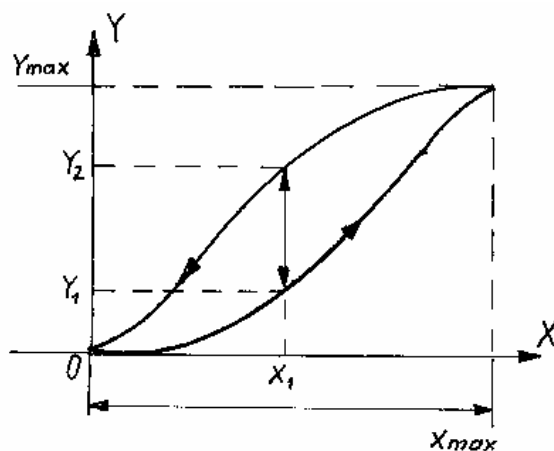
3. Błąd metody pomiarowej – najczęściej jest skutkiem braku odpowiednich narzędzi pomiarowych. Posiłkujemy się wtedy narzędziami i metodami zastępczymi, najczęściej w postaci metod porównawczych lub pośrednich. Przykładem może być pomiar trudno dostępnej szczeliny przez porównanie do szczeliny wzorcowej, obliczanie kąta na podstawie pomiarów jego boków, czy pomiar dużej

długości przez pomiary cząstkowe. Te i inne podobne metody o podobnym charakterze nie mogą zastąpić porządných pomiarów bezpośrednich. Każdy dodatkowy pomiar czy też konieczne w tych przypadkach obliczenia niosą za sobą nieuniknione błędy. W praktyce warsztatowej takie przypadki, wymuszone koniecznością, jednak się zdarzają. Dla zredukowania wielkości błędów należy wykonywać takie pomiary i obliczenia szczególnie starannie z jednoczesnym oszacowaniem błędów.

4. Błędy narzędzia pomiarowego – związane są jego z konstrukcją i wykonaniem.

Często spotykanym błędem, zwłaszcza w przyrządach z odczytem wskazówkowym, jest błąd paralaksy. Wynika z tego, że wskazówka znajduje się nieco ponad podziałką. Jeżeli patrzymy się na wskaz prostopadłe do podziałki i wskazówki, mamy odczyt prawidłowy. Natomiast odczyt dokonywany z boku sprawia, że wskazówka pokrywa się ze sąsiednim wskazem, co daje błąd, najczęściej jednej działki. Oczywiście im większa odległość wskazówki od podziałki, tym błąd jest większy. Łatwo to sprawdzić na zegarku wskazówkowym. W zależności od kąta obserwacji możemy dodać lub odjąć jedną minutę.

Ważnym błędem narzędzia jest histereza wskazań. Polega na tym, że narzędzie pokazuje nieco inne wskazy przy wartościach narastających (krzywa dolna) i malejących (krzywa górna) rys. 4. Oś X przedstawia wartości wielkości mierzonej, a oś Y wskazy przyrządu pomiarowego. Widzimy, że w punkcie x_1 występuje największa różnica między wskazaniami narastającymi a opadającymi (powrotnymi). Wartość $(y_2 - y_1)$ jest miarą histerezy w punkcie x_1 . Zjawisko to dotyczy przyrządów bardziej skomplikowanych i związane jest najczęściej z ugięciami i luzami występującymi wewnątrz ich mechanizmów. Im bardziej skomplikowany przyrząd, tym większa histereza. Wśród przyrządów warsztatowych czujnik zegarowy wykazuje największą, widoczną przy pomiarach histerezę. Zjawisko to często bywa też nazywane brakiem odwracalności narzędzia pomiarowego. Odwracalność jest wtedy, gdy wskazy są jednakowe przy narastających i malejących wartościach wielkości mierzonej, czyli przy braku histerezy.



Rys. 4. Histereza przyrządu pomiarowego

W bardziej złożonych mechanizmach powstaje błąd tarciowy. Zjawisko tarcia powstaje nieuchronnie w łożyskowaniach i innych połączeniach ruchowych. Błąd ten jest składnikiem błędów systematycznych i bezpośrednio rzutuje na pobudliwość narzędzia pomiarowego, czyli zdolność do reakcji na małe zmiany wielkości mierzonej.

W tym miejscu powstaje pewna sprzeczność konstrukcyjna. Łożyskowania luźne dają mały błąd tarciowy, ale dużą histerezę i odwrotnie. Najlepszym wyjściem z sytuacji jest budowa możliwie prostych układów pomiarowych. Naprzeciw temu postulatowi wychodzą układy elektroniczne lub optyczne, które zastępują skomplikowane mechanizmy.

Innym, standardowym błędem narzędzia pomiarowego jest błąd wyskalowania. Rozmieszczenie kresek na podziałce jest czynnością, która mimo największej staranności musi być obciążona jakimś błędem. Błąd ten, często połączony z błędem odczytania związanym, np. z ciasno upakowanymi kreskami, lub interpolacją liniową działki elementarnej występuje w każdym przyrządzie pomiarowym. Co gorsza, jego kierunek jest najczęściej zmienny i w danym punkcie skali nieznan. Stąd producent narzędzi pomiarowych najczęściej podaje ich błąd wskazań jako $\pm\Delta$.

Niektóre narzędzia pomiarowe wymagają ciągłego skalowania. Należą do nich mikrometry nastawne i średnicówki czujnikowe. Skalowanie odbywa się na wzorcach. W tym przypadku do narzędzia pomiarowego wchodzi oczywiście błąd wykonania tego wzorca i całej czynności wzorcowania.

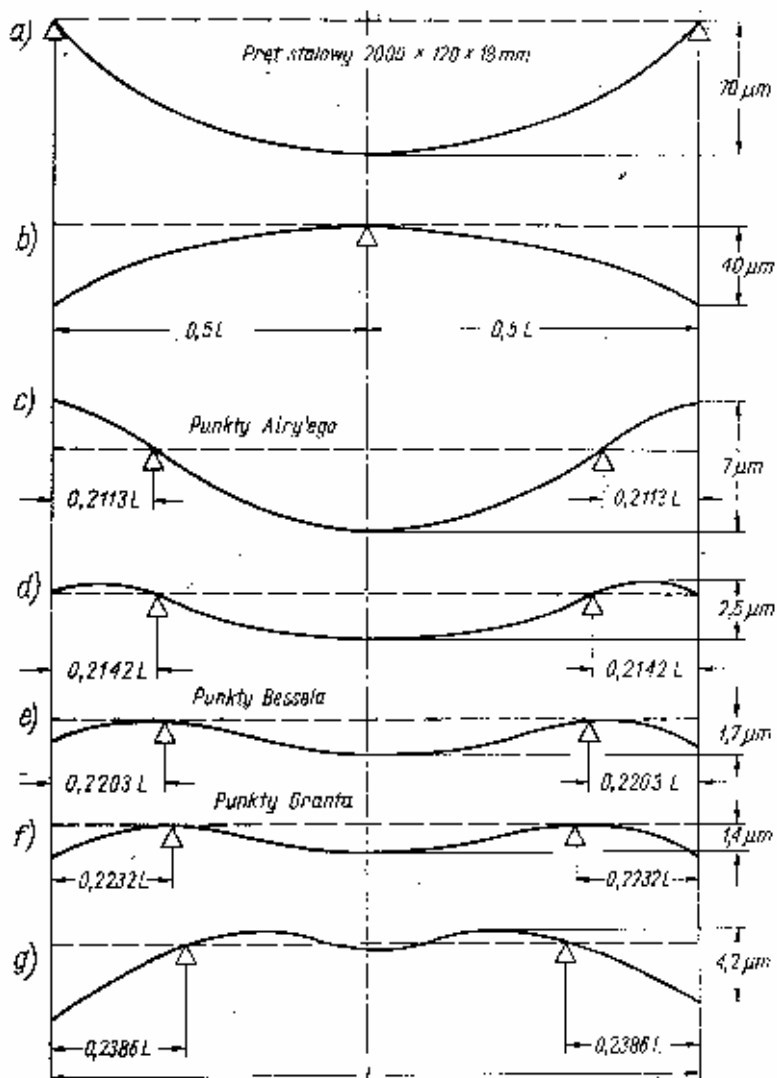
5. Błędy zewnętrzne – wynikają z całej „otoczki” towarzyszącej pomiarowi.

Duży wpływ na pomiar ma zamocowanie przedmiotu mierzonego. Ogólnie mówiąc, przedmiot powinien być unieruchomiony, ale w sposób nie deformujący go. Na rys. 5 pokazano różne sposoby podparcia długiego przedmiotu i ich wpływ na jego odkształcenie. Widzimy, że nawet nieznaczne zmiany punktów podparcia powodują istotne różnice w odkształceniu pręta. Warto zapamiętać pokazane punkty podparcia, gdyż jest to informacja cenna, zwłaszcza w gospodarce magazynowej. Długotrwałe, niewłaściwe składowanie długich, wiotkich przedmiotów może zaowocować ich trwałym odkształceniem. Podobnie rzecz ma się ze składowaniem narzędzi pomiarowych, zwłaszcza długich wzorców.

W dziedzinie budowy maszyn, zwłaszcza w gospodarce remontowej, często mamy do czynienia z pomiarem części zamontowanych w urządzeniu. Stanowi to duże utrudnienie w dostępie narzędzia pomiarowego do przedmiotu mierzonego, właściwą jego obsługą i odczytaniem wskazań. Trzeba zaznaczyć, że najważniejsze jest odczytywanie wskazań bezpośrednio na przedmiocie mierzonym. Zdejmowanie narzędzia z przedmiotu mierzonego może spowodować zmianę jego wskazań.

W przypadku, gdy przedmiot składa się z kilku części, to połączenia muszą być trwałe i ostateczne. W połączeniach spawanych powinny być również wykonane zabiegi związane z ich odprężaniem i obróbką wiórową. Odprężanie i obróbka uwalniają naprężenia wewnętrzne, które mogą zmienić geo-

metrię przedmiotu. Gdy pomiary są jednak wymagane, należy koniecznie zaznaczyć, że mają charakter międzyoperacyjny.



Rys. 5. Przypadki ugięć pręta stalowego w zależności od punktów podparcia

Nawet grube błędy mogą powstać na skutek źle przygotowanej powierzchni. Pomiar najczęściej dotyczy powierzchni metalu i dla tego farba, smary, oleje, korozja i inne zanieczyszczenia wypaczają wynik pomiaru. Również niewłaściwe oczyszczanie powierzchni przedmiotu badanego również może mieć negatywny wpływ na wynik pomiaru. Chodzi o czyszczenie mechaniczne, szczególnie maszynowe. Może ono usunąć nie tylko zanieczyszczenia, ale również część warstwy wierzchniej, rodzimej mierzonego przedmiotu. Najwłaściwsze są odpowiednie rozpuszczalniki i szczotki ręczne.

Do warunków zewnętrznych zaliczyć też trzeba oświetlenie stanowiska pomiarowego. Zbyt słabe jak i nadmierne oświetlenie źle wpływa na percepcję pomiarowca. Właściwe oświetlenie powinno mieć 500 luksów i musi być tak skierowane, aby cień nie przeszkadzał w dobrym widzeniu. W tym

względnie pewien problem stanowią pomiary wykonywane na przestrzeni otwartej. Dotyczą one najczęściej maszyn i urządzeń dużych, których nie można ustawić według własnych życzeń. W tym przypadku działa też zmienne nasłonecznienie, które dodatkowo pogarsza warunki obserwacji. W takiej sytuacji sprawdza się osłona z parawanu, która ustala warunki obserwacji na prawie niezmiennym poziomie.

6. Błędy osobowe – związane są z predyspozycją i kwalifikacjami pomiarowca.

Najważniejszą cechą pomiarowca jest dobry wzrok. Dotyczy to ostrości widzenia bliskiego jak i różnicowania kolorów. Trzeba zaznaczyć, że dobre widzenie w korekcji okularowej jest również dopuszczalne. Niemniejsze znaczenie ma też słuch. Niektórym pomiarom towarzyszą charakterystyczne dźwięki, np. sprzęgło przeciążeniowe w mikrometrze, tzw. grzechotka daje znać, że pomiar jest właśnie realizowany. Oczywiście ważne jest też dobre czucie w palcach. Jednak pierwszorzędne znaczenie mają cechy psychiczne. Pomiarowiec powinien być cierpliwy, metodyczny, dociekliwy i twórczo nieufny. Osobnym zagadnieniem są kwalifikacje. Konieczna jest znajomość budowy narzędzi pomiarowych, ich dokładności, czynników wpływających na pomiar i specyfiki przedmiotów mierzonych. Bardzo ważna jest praktyka w zawodzie.

7. Błąd temperaturowy – powstaje, gdy zaistnieje różnica temperatury przedmiotu mierzonego i narzędzia pomiarowego.

Błąd ten należy oczywiście do grupy czynników zewnętrznych. Jednak jego znaczenie w metrologii długości i kąta jest tak duże, że należy zagadnienie to omówić osobno. Tym bardziej że błąd ten jest przewidywalny i możliwy do przeliczenia. Związany jest z rozszerzalnością termiczną ciał stałych. Zjawisko to dotyczy szczególnie metali, w tym również stopów żelaza. Rozszerzalność danego materiału określa współczynnik liniowej rozszerzalności termicznej, oznaczany symbolem α . Współczynniki określone zostały doświadczalnie. Dla stali wynosi on:

$$\alpha = (11,5 + 0,008t) \cdot 10^{-6} \cdot ^\circ\text{K}^{-1}$$

Jak widać, wartość współczynnika można określić jako liczbę niemianowaną zależną od temperatury. Ponieważ drugi składnik, tj. $0,008t$ jest znikomo mały w porównaniu z pierwszym, to zwyczajowo pomijamy go w obliczeniach. Również publikowane tabele współczynników rozszerzalności termicznej pomijają ten czynnik. Po prostu wpływ składników stopowych, najczęściej nieznanymi, jest znacznie większy od wartości $0,008t$. Współczynnik α wchodzi do wzoru na obliczanie długości w określonej temperaturze:

$$l_t = l_{20} (1 + \alpha \Delta t),$$

gdzie:

l_t – długość przedmiotu w temperaturze t ,

l_{20} – długość przedmiotu w temperaturze $+20^{\circ}\text{C}$,

α – współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej danego przedmiotu,

Δt – przyrost (dodatni lub ujemny) temperatury przedmiotu w stosunku do $t = 20^{\circ}\text{C}$.

Wymieniona tu została temperatura $+20^{\circ}\text{C}$. Jest to umowna temperatura odniesienia. Przyjęto za temperaturę najwłaściwszą do pomiarów właśnie $+20^{\circ}\text{C}$. Oznacza to, że jeżeli odczytujemy jakiś wymiar bez informacji o temperaturze w jakiej został dokonany pomiar, to znaczy, że było to $+20^{\circ}\text{C}$. Δt oznacza różnicę temperatury rzeczywistej przedmiotu mierzonego (a nie otoczenia) w stosunku do temperatury odniesienia. Zwraca uwagę fakt, że w obliczeniach nie stosuje się skali Kelwina, ale Celsjusza. Jest to podyktowane wygodą, bez szkody dla wyniku.

Przykład. Jaką długość będzie miał pręt stalowy o długości $l_{20} = 100$ mm w temperaturze $t = 21^{\circ}\text{C}$.

Rozwiązanie: $\Delta t = t - 20^{\circ}\text{C} = 21^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 1^{\circ}\text{C}$,

$$l_t = l_{21} = 100 \text{ mm} (1 + 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 1^{\circ}\text{C}) = 100 \text{ mm} + 1150 \cdot 10^{-6} = 100,00115 \text{ mm}$$

Widzimy, że pręt stalowy o długości $l_{20} = 100$ mm ogrzany o 1°C wydłużył się o nieco ponad $1 \mu\text{m}$. Warto zapamiętać, że stal wydłuża się (lub kurczy) o $1 \mu\text{m}$ na każde 100 mm długości wraz ze zmianą (wzrost lub spadek) temperatury o 1°C . Jest to dość dobre przybliżenie, za to łatwe do zapamiętania i zastosowania przy obliczeniach „w głowie”, co w praktyce warsztatowej często ma miejsce. W przykładzie analizowany był pręt stalowy. Rozszerzalność cieplna ma charakter objętościowy i dlatego dotyczy wszystkich wymiarów przedmiotu, a więc długości, szerokości, jak i średnicy, tak wałków, jak i tulejek. Stal jest najpopularniejszym tworzywem konstrukcyjnym w budowie maszyn, stąd też warto zapamiętać jej współczynnik rozszerzalności. W przykładzie nie był rozpatrywany współczynnik narzędzia pomiarowego. Nie przypadkowo. Otóż narzędzia pomiarowe wykonywane są właśnie ze stali o współczynniku rozszerzalności $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1^{\circ}\text{C}^{-1}$, czyli identycznym jak większość popularnych gatunków stali konstrukcyjnych. Wobec tego uwzględnianie go w obliczeniach nic nie wnosi. Jednocześnie, oznacza to, że jeżeli doprowadzimy do wyrównania temperatur narzędzia pomiarowego i przedmiotu mierzonego, to możemy, uzyskany wynik w temperaturach innych niż $+20^{\circ}\text{C}$ nie przeliczać, gdyż jest on tożsamy.

Oprócz stali węglowych duże zastosowanie w budowie maszyn mają inne stopy żelaza, a także metale kolorowe. W tabeli 10 znajdują się współczynniki α liniowej rozszerzalności cieplnej częściej stosowanych materiałów.

Tabela 10. Współczynniki liniowej rozszerzalności cieplnej ważniejszych materiałów

Materiał	$\alpha \times 10^{-6}/1^{\circ}\text{C}$	Materiał	$\alpha \times 10^{-6}/1^{\circ}\text{C}$
----------	---	----------	---

aluminium	23,7	nikiel	13
bakelit	37÷60	ołów	29,2
brąz berylowy	18,5	platyna	9÷12
brąz cynowy	17,6	polistyren	ok. 68
brąz fosforowy	17,7	poliwinył	80
chrom	8	porcelana	ok. 3,7
cyna	23÷26	srebro	19,6
cynk	26÷32	stal nierdzewna	16
duraluminium	22,6	stal pomiarowa	11,5
granit	8,3	szkło okienne	10
marmur	1,1	szkło kwarcowe	0,58
miedź	17	złoto	14,4
mosiądz	20,5	żeliwo	10,5

Obliczanie poprawki temperaturowej dla tych materiałów jest bardziej skomplikowane. Oto wzór uwzględniający współczynniki rozszerzalności cieplnej przedmiotu mierzonego i narzędzia pomiarowego oraz różne ich temperatury:

$$\Delta l = l [\alpha_1 (20^\circ\text{C} - t_1) - \alpha_2 (20^\circ\text{C} - t_2)],$$

gdzie:

α_1 – współczynnik rozszerzalności cieplnej narzędzia pomiarowego,

α_2 – współczynnik rozszerzalności cieplnej przedmiotu mierzonego,

20°C – temperatura odniesienia,

t_1 – temperatura narzędzia pomiarowego w °C,

t_2 – temperatura przedmiotu mierzonego w °C,

l – długość (średnica Φ) przedmiotu mierzonego w milimetrach,

Δl – błąd pomiaru spowodowany różnicą temperatur i współczynnika rozszerzalności cieplnej przedmiotu i narzędzia.

Przykład. Wałek mosiężny po toczeniu ma średnicę $\Phi 100,00$ mm. W czasie pomiaru wykazywał temperaturę $t_2 = 30^\circ\text{C}$ a mikrometr $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Jaki wymiar ma w rzeczywistości wałek?

Wymiar rzeczywisty to wymiar w temperaturze odniesienia, czyli 20°C .

Mosiądz ma współczynnik $\alpha_2 = 20,5 \times 10^{-6}/1^\circ\text{C}$,

Mikrometr (stal pomiarowa) $\alpha_1 = 11,5 \times 10^{-6}/1^\circ\text{C}$,

$$\Delta l = 100 \text{ mm} [\alpha_1 (20^\circ\text{C} - t_1) - \alpha_2 (20^\circ\text{C} - t_2)]$$

$$\Delta l = 100 \text{ mm} [11,5 \times 10^{-6} \times 1^\circ\text{C}^{-1} (20^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) - 20,5 \times 10^{-6} \times 1^\circ\text{C}^{-1} (20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})]$$

$$\Delta l = 100 \text{ mm} [0 - 20,5 \times 10^{-6} \times 1^\circ\text{C} (-10^\circ\text{C})]$$

$$\Delta l = 20500 \text{ mm} \times 10^{-6} = 0,0205 \text{ mm}$$

Błąd temperaturowy pomiaru wynosi $\Delta l = 0,0205$ mm, tzn. wałek wykazuje średnicę większą o 0,02 mm niż będzie ją miał w temperaturze odniesienia.

Opisana sytuacja jest typowa w obróbce skrawaniem. Podczas obróbki wiórowej przedmiot obrabiany nagrzewa się. Bywa, że potrzebny jest szybki pomiar średnicy. Narzędzia pomiarowe przechowywane są najczęściej w temperaturze $+20^\circ\text{C}$. W takiej sytuacji, jak widać, koniecznym jest uwzględnienie różnicy temperatur i współczynników rozszerzalności cieplnej przedmiotu obrabianego i narzędzia pomiarowego. Zwróćmy uwagę, że istotny błąd powstał przy niewielkiej różnicy temperatur.

Zadanie 1

Kostka ze stali nierdzewnej ma w temperaturze odniesienia wymiary $125 \times 55 \times 20$ mm. Jakie wymiary będzie miała ta kostka w temperaturze 50°C . Pomiaru dokonano mikrometrem ze stali pomiarowej który miał temperaturę 20°C .

Zadanie 2

Wałek aluminiowy ma wymiary $\Phi 150,00 \times 250,00$ mm. Jakie wymiary będzie miał w temp. -20°C ? Pomiaru dokonano mikrometrem ze stali pomiarowej w temperaturze 20°C .

Zadanie 3

Wałek ze stali węglowej $\alpha = 11,5 \times 10^{-6} \cdot 1^\circ\text{C}^{-1}$ ma w temperaturze 35°C średnicę $150,05$ mm. Pomiaru dokonano mikrometrem ze stali pomiarowej który miał temperaturę 20°C . Jaki wymiar będzie miał wałek w temperaturze odniesienia?

Zadanie 4

Belka ze stali węglowej ma długość w temp. -10°C , $l = 10995$ mm. Jej montaż nastąpi w hali o temp. 15°C . Jaka długość będzie miała belka w czasie montażu? W obu przypadkach narzędzia pomiarowe miały temp. 20°C .

Zadanie 5

Pierścień ze stali węglowej o średnicy $\Phi 200,01$ mm będzie nakładany na wał o średnicy czopa $\Phi 200,05$ mm (pomiar wykonany w temperaturze odniesienia). Do jakiej temperatury trzeba nagrzać pierścień, aby „wszedł” swobodnie na w/w czop o temperaturze 10°C ?

Zadanie 6

Przęsło jest wykonywane na warsztacie w temp. 15°C . Montaż natomiast nastąpi w terenie w temp. -10°C na przyczółki o rozstawie 4995 mm (pomiar w temp. -10°C). Jaki wymiar musi mieć przęsło na warsztacie aby „weszło” w rozstaw j.w?

Zadanie 7

Wał ze stali niklowej obraca się w panewce z brązu cynowego. Wymiary:

- panewka $\Phi 100,10$ mm,
- czop wału $\Phi 100,05$ mm.

Do jakiej temperatury mogą się nagrzać czop i panewka, aby się nie zatarły?

Uwaga. Panewka przy nagrzewaniu zaciska się.

4. Sposoby zapobiegania błędom pomiarowym

Podstawowym zadaniem pomiarowca jest znajomość wymienionych w punkcie 2i 3 zagrożeń jakie mogą wystąpić w czasie dokonywania pomiaru. Oczywiście po to, aby je wyeliminować, ewentualnie zminimalizować lub przynajmniej uwzględnić w analizie wyników pomiarów. Do wymienionych wcześniej błędów pomiarowych dodać należy jeszcze pośpiech i bałagan oraz nieznaną zagadnień związanych z badanym przedmiotem.. Często jest to powodem zaniechania niektórych czynności przygotowawczych, jak: pomiar i wyrównanie temperatur narzędzia i przedmiotu mierzonego, oczyszczenie narzędzia i przedmiotu, właściwe ustawienie i umocowanie przedmiotu, sprawdzenie wskazań narzędzia pomiarowego.

4.1. Przedmiot mierzony

Przedmiot mierzony powinien być czysty, tzn. pozbawiony wiórków, pyłu, zendry, grubej korozji i innych przywierających zanieczyszczeń. Przed pomiarem należy powierzchnie mierzone przemyć np. benzyną ekstrakcyjną i wytrzeć do sucha miękką szmatką. Nie jest zalecane intensywne czyszczenie mechaniczne, gdyż może to spowodować zmianę wymiarów lub struktury powierzchni przedmiotu mierzonego. Wskazane też jest zbadanie stopnia namagnesowania przy pomocy opiłków stalowych. Wynik pozytywny nakazuje wcześniejsze odmagnesowanie przedmiotu. Detal mierzony powinien mieć tą samą temperaturę, co narzędzie pomiarowe. W tym celu narzędzie i przedmiot badany powinny przebywać w tym samym pomieszczeniu aż do wyrównania się ich temperatur. Proces ten przebiega najszybciej i najpewniej, gdy przyrząd pomiarowy położymy na przedmiocie. Temperaturą najwłaściwszą do wykonania pomiarów jest 20°C. W przypadku stali węglowej i niskostopowej zwalnia to z obowiązku obliczania błędu temperaturowego. Dla innych materiałów ułatwia to obliczenia tego błędu (temperatura 20°C zwalnia w ogóle z tych obliczeń). W przypadku prowadzenia prac pomiarowych na otwartej przestrzeni, należy brać pod uwagę nasłonecznienie, zawilgocenie i kierunek wiatru. Czynniki te w istotny sposób wpływają na przedmiot mierzony oraz narzędzia pomiarowe, a tym samym na uzyskane wyniki pomiarów. W miarę możliwości należy stosować w takich okolicznościach zasłony.

4.2. Stanowisko pomiarowe

Miejsce pomiaru powinno być dobrze oświetlone, tzn. wg normy PN-EN 13018: 2004 „Badania nieniszczące. Badania wizualne. Zasady ogólne” około 500 luksów, ale nie może występować efekt tzw. olśnienia. Stół powinien być wyłożony deskami lub przykryty płytą drewnianą. Celowe jest pokrycie go miękkim sukniem, na które będą odkładane narzędzia pomiarowe. Stół pomiarowy powinien być odizolowany od drgań, a w jego pobliżu nie mogą znajdować się urządzenia wytwarzające pola elektromagnetyczne lub zanieczyszczenia chemiczne. Dobrze byłoby, aby stanowisko pomiarowe znajdowało się przy oknie skierowanym na północ. Zapobiega to nagłym zmianom oświetlenia. Wyniki pomiarów należy niezwłocznie nanosić na wcześniej przygotowany arkusz ze znajdującym się na nim szkicem mierzonego przedmiotu wraz z planem wymiarów.

4.3. Pomiarowiec

Osoba dokonująca pomiarów powinna mieć czyste i suche ręce. Pot i inne zanieczyszczenia chemiczne wpływają korodująco na narzędzia pomiarowe i przedmioty mierzone. Pomiary należy wykonywać spokojnie i metodycznie. Wyniki zapisywać starannie pismem technicznym. Do pomiarów należy dobrać właściwe, tj. sprawdzone narzędzia i oprzyrządowanie oraz zapoznać się z zasadą ich działania.

Kandydat na pomiarowca powinien mieć świadectwo dobrego widzenia wg wymagań normy PN-EN 473 „Badania nieniszczące. Kwalifikacje i certyfikacja personelu badań nieniszczących. Zasady ogólne” tj.:

- a) ostrość widzenia bliskiego powinna umożliwić odczytanie znaku o numerze 1 w skali Jaegera lub N 4.5 Times Roman lub równoważnej skali, z odległości nie mniejszej niż 30 cm, jednym okiem lub obuocznie, z korekcją lub bez.
- b) widzenie barw powinno być odpowiednie, aby kandydat rozpoznał i rozróżniał kontrasty między barwami stosowane w rozważanej metodzie badań nieniszczących określonej przez pracodawcę.
- c) często konieczne jest posiadanie określonych predyspozycji zdrowotnych, np. do pracy na wysokości, w ciasnych pomieszczeniach, hałasie, temperaturze wysokiej lub obniżonej, oparach itp.

Oczywiście powinien posiadać odpowiednie kwalifikacje zawodowe, tzn. wykształcenie i niezbędny staż w zawodzie.

4.4. Narzędzia pomiarowe i oprzyrządowanie

Narzędzia należy ułożyć w kolejności ich użytkowania. Przed użyciem trzeba je odkonserwować benzyną ekstrakcyjną i wytrzeć do sucha szmatką. Następnie sprawdzamy ich własności metrologiczne w całym zakresie pomiarowym. Przy ich podejmowaniu trzymamy powierzchnie chwytne unikając dotykania elementów pomiarowych. Po wykonaniu pomiarów narzędzie odkładamy na deseczkę lub sukno (może też być to guma lub linoleum), a następnie wycieramy do sucha i pokrywamy wazeliną bezkwasową. Wskazane jest przechowywanie ich we właściwych futerałach i w temperaturze 20°C.

Narzędzia pomiarowe powinny spełniać warunki ujęte w Rozporządzeniu ministra gospodarki, pracy i polityki społecznej z 12 maja 2003 r. w sprawie wymagań metrologicznych, którym powinny odpowiadać materialne miary długości.

Zabrania się rzucania narzędzi pomiarowych, odkładania na urządzenia elektroenergetyczne, grzewcze i w środowiska chemicznie nieobojętne lub w ich pobliżu. Niedopuszczalne jest również używanie narzędzi pomiarowych do innych celów niż pomiar.

Uwaga. Zgodnie z ustawą z 11 maja 2001 r. Prawo o miarach (tekst jednolity ogłoszony w Dz.U. z 2004 r. nr 243, poz. 2441) niektóre przyrządy pomiarowe wymagają prawnej kontroli metrologicznej. Artykuł 8.1 tej ustawy mówi, że przyrządy pomiarowe, które mogą być stosowane:

- w ochronie zdrowia, życia i środowiska,
- w ochronie bezpieczeństwa i porządku publicznego,
- w ochronie praw konsumenta,

- przy pobieraniu opłat, podatków i innych należności budżetowych oraz ustalaniu opustów przy dokonywaniu kontroli celnej,
- w obrocie i są określone w przepisach wydanych na podstawie ust. 6, podlegają prawnej kontroli metrologicznej.

Oznacza to, że przy dokonywaniu pomiarów ważny jest również obiekt i cel ich przeprowadzania. Również instytucje sprawujące nadzór specjalistyczny, np. Urząd Dozoru Technicznego, Wyższy Urząd Górniczy, Polski Rejestr Statków, Lloyd itp. często wymagają, aby pomiarowiec miał stosowne uprawnienia, a przyrządy pomiarowe były wzorcowane lub legalizowane. Instytucją do tego uprawnioną w Polsce jest Główny Urząd Miar i jego placówki terenowe, tj. Okręgowe i Obwodowe Urzędy Miar. Wyniki pomiarów należy zapisywać sposobem i w jednostkach określonych w rozporządzeniu MGIPS z 12 maja 2003 r. w sprawie legalnych jednostek miar. W przypadku stosowania jednostek innych niż w/w, trzeba koniecznie wyraźnie to zaznaczyć. Gdy zakład posiada większą ilość narzędzi pomiarowych tego samego typu, trzeba zapisać numer użytego narzędzia oraz miejsce i warunki pomiaru.

4.5. Typowe sposoby minimalizowania błędów pomiarów

- a) dostosować metodę pomiaru do wymaganej dokładności,
- b) stosować możliwie proste metody pomiarowe,
- c) zapoznać się z właściwościami metrologicznymi obranych narzędzi, w szczególności ocenić błędy systematyczne, np. histerezę i określić stosowne poprawki
- d) pomiary wykonywać poprawnie pod względem metrologicznym i stosując techniki pomiarowe właściwe do uzyskania prawidłowego wyniku i uwzględniające specyfikę narzędzia i przedmiotu mierzonego,
- e) przyrząd pomiarowy należy sprawdzić przed pomiarem, a w razie wątpliwości również po jego zakończeniu,
- f) pomiary dokonywać spokojnie i bez pośpiechu,
- g) pomiary należy ponawiać w kilku różnych położeniach,
- h) przy odczytach wskazań unikać błędu paralaksy, tzn. obserwować wskaźy pod kątem prostym,
- i) zadbać o czystość przyrządu pomiarowego i obiektu mierzonego,
- j) przedmiot mierzony zamocować lub ułożyć w sposób nie wpływający na wynik pomiaru, w szczególności tak aby nie dochodziło do jego odkształceń,

- k) obiekty mierzone składające się z kilku sztuk wzajemnie połączonych (śrubami, nitami, spoinami, wpustami, zaciskami) należy sprawdzić na dokładność i trwałość ustalenia,
- l) właściwie oświetlić miejsce pomiaru,
- m) wymiary bardzo zbliżone można uśrednić,
- n) wymiary bardzo rozbiegające się, a zarazem pewne należy podawać oddzielnie,
- o) podczas dłuższych prac pomiarowych należy często relaksować się,
- p) eliminacja błędów przypadkowych.

Wykonaniu serii pomiarów tego samego przedmiotu tym samym narzędziem i w tych samych warunkach towarzyszy najczęściej pewien rozrzut wyników. W tej sytuacji za wartość prawdziwą mierzonej wielkości przyjmuje się średnią arytmetyczną tych pomiarów:

$$x_{sr} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)/n,$$

gdzie:

x_1, x_2, x_3 – wyniki poszczególnych pomiarów serii,

n – ilość pomiarów.

Z powyższego wzoru wynika ważne stwierdzenie – im większa seria pomiarów, tym mniejsze znaczenie ma pojedynczy, błędny pomiar. Oczywiście, obserwując wyniki pomiarów tej samej wielkości zauważymy wartość znacznie odbiegającą od średniej. Taki pomiar najlepiej pominąć, uznając go za pomyłkę.

5. Prace kontrolno-pomiarowe szczególne

Pomiary wymagające szczególnej odpowiedzialności i pieczołowitości dotyczą:

- a) urządzeń dźwigowych i wciągarkowych,
- b) urządzeń ciśnieniowych,
- c) zbiorników, rurociągów i ich oprzyrządowania, zwłaszcza dla substancji zapalnych, żrących i trujących,
- d) elementów sterowniczych,
- e) elementów uruchamiania i zatrzymywania maszyn, jak: sprzęgła, hamulce, luzowniki, ciągną, wały przegubowe itp.,
- f) zabezpieczeń i ochron przed dostępem do miejsc niebezpiecznych,
- g) schodów, drabin, podestów, barierek, poręczy, osłon itp.,

h) przy przeróbkach, dostosowaniach i modernizacjach już istniejących maszyn.

Należy przy tym pamiętać, że przedmioty mierzone mają swoje specyficzne cechy fizyko-chemiczne, zależne np. od składu chemicznego i obróbki cieplnej, które należy uwzględnić przy pomiarach i opracowaniu ich wyników. W/w dziedzinie z reguły wymagają odpowiednich uprawnień do wykonywania pomiarów, legalizowanych narzędzi i sporządzania szczegółowych protokołów z badań przesyłanych do odpowiednich instytucji i przechowywanych często 10 lub więcej lat.

Bibliografia

Aleksander Tomaszewski, *Podstawy nowoczesnej metrologii*, WN-T, Warszawa 1978.

Poradnik metrologa warsztatowego, praca zbiorowa, WN-T, Warszawa 1973.

Wykaz norm i przepisów

Norma PN-EN ISO 9001 „Systemy zarządzania jakością. Wymagania”.

Norma PN-EN 473 „Badania nieniszczące. Kwalifikacje i certyfikacja personelu badań nieniszczących. Zasady ogólne”.

PN- N 13018: 2004 „Badania nieniszczące. Badania wizualne. Zasady ogólne”.

Norma PN-ISO129 „Rysunek techniczny. Wymiarowanie. Zasady ogólne. Definicje. Metody wykonania i oznaczenia specjalne”.

Norma PN-ISO 10006 „Systemy zarządzania jakością. Wytyczne dotyczące zarządzania jakością w przedsiębiorstwach”.

Norma PN-78/M-02041 „Wymiary normalne”.

Norma PN-68/N-01050 „Podstawowe oznaczenia matematyczne”.

Norma PN-70/N-02120 „Zasady zaokrąglania i zapisywania liczb”.

Norma PN-71/N-02050 „Metrologia. Nazwy i określenia”.

Norma PN-53/N-95039 „Pismo odręczne. Cyfry i liczby”.

Ustawa z 11 maja 2001r. Prawo o miarach (tekst jednolity ogłoszony w Dz.U. z 2004 r. nr 243, poz. 2441).

Ustawa z 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów, Dz.U. nr 229.

Rozporządzenie ministra gospodarki i polityki społecznej z 12 maja 2003 r. w sprawie legalnych jednostek miar, Dz.U. nr 103, poz.1392.

Rozporządzenie MGiPS z 12 maja 2003 r. w sprawie wymagań metrologicznych, którym powinny odpowiadać materialne miary długości, Dz.U. nr 97, poz. 880.

Rozporządzenie MG z 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy (Dz.U. nr 191 poz. 1596 z 18 listopada 2002 r.).

Rozporządzenie MGPiPS z 10 kwietnia 2003 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa (Dz.U. nr 127 z 23 maja 2003 r.).

Rozporządzenie MGPIPS 8 maja 2003 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych. (Dz.U. nr 99).

Rozporządzenie MGPIPS z 12 maja 2003 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla prostych zbiorników ciśnieniowych (Dz.U. nr 98).

Rozporządzenie MGPIPS z 2 lipca 2003 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska (Dz.U. nr 138).

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 98/37/WE z 22 czerwca 1998 r. w sprawie zbliżenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących maszyn, tzw. Dyrektywa Maszynowa.

Dyrektywa Rady 87/404/EWG z 25 czerwca 1987 roku w sprawie harmonizacji przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących prostych zbiorników ciśnieniowych.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 97/23/WE z 29 maja 1997 r. w sprawie zbliżenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących urządzeń ciśnieniowych.

Obwieszczenie Prezesa PKN z 28 września 2004 r. Monitor Polski nr 43.

Spis tabel

Tab. 1. Przeliczniki jednostek miar długości angielskich i SI.....	15
Tab. 2. Przeliczniki miar kątowych.....	15-16
Tab. 3. Przeliczniki skal temperatur: Kelvina, Celsjusza i Fahrenheita.....	16
Tab. 4. Porównanie niektórych twardości i wytrzymałości na rozciąganie stali w [MPa].....	17
Tab. 5. Nazwy, oznaczenia i wartości jednostek krotnych.....	18
Tab. 6. Podstawowe oznaczenia matematyczne.....	18-19
Tab. 7. Nazwy liczb wielkich wg systemu angielskiego i SI.....	19
Tab. 8. Liczebniki rzymskie.....	19-20
Tab. 9. Alfabet grecki. Wielkie i małe litery z ich wymową	20
Tab. 10. Współczynniki liniowej rozszerzalności cieplnej ważniejszych materiałów	41

Spis rysunków

Rys. 1. Hierarchia etalonów.	26
Rys. 2. Błędy walcowości.....	30
Rys. 3. Błędy okrągłości.....	31
Rys. 4. Histereza przyrządu pomiarowego.....	36
Rys. 5. Przypadki ugięć pręta stalowego w zależności od punktów podparcia	38