



Główny
Urząd
Miar

dokładnie
100 lat
1919-2019

MASA

I WIELKOŚCI POCHODNE
PRZEWODNIK PO DZIEDZINIE



gum.gov.pl

Autorzy: Wojciech Wiśniewski
Jolanta Wasilewska
Anna Kania-Markocka
Krzysztof Łazowski
Anna Osińska-Karczmarek
Kamil Cybul
Jarosław Taras
Piotr Strzałka
Marta Piętaszewska

Redaktor: Paweł Fotowicz

Zdjęcia: Archiwum GUM



niepodlega

ul. Elektoralna 2
00-139 Warszawa
godziny pracy: 8:00-16:00

tel. 22 581 93 99 (centrala)
fax: 22 581 93 92
e-mail: gum@gum.gov.pl

Materiał opracowano w Biurze Strategii Głównego Urzędu Miar.

Główny Urząd Miar (GUM) jest krajową instytucją metrologiczną. Działa na rzecz zagwarantowania zdolności pomiarowych niezbędnych dla zrównoważonego rozwoju gospodarki, zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości życia społeczeństwa oraz zabezpieczenia interesów obywateli.

Zadania GUM obejmują szerokie spektrum zagadnień związanych z metrologią, jednostkami miar, ich definicjami, jak również zaawansowanymi technologicznie wzorcami pomiarowymi oraz tematyką ochrony bezpieczeństwa gospodarczego i technicznego państwa.

Spis treści

| | | |
|-----|---|----|
| I | Wstęp | 5 |
| II | Potrzeby społeczne i gospodarcze | 12 |
| III | Historia rozwoju dziedziny w Głównym Urzędzie Miar..... | 18 |
| IV | Plan rozwoju dziedziny w GUM | 21 |
| V | Krajowy system metrologiczny dotyczący dziedziny | 24 |
| VI | Wykaz dokumentów związanych z dziedziną | 27 |
| VII | Wykaz publikacji pracowników GUM związanych z dziedziną | 31 |
| | Załącznik: Stanowiska pomiarowe | 32 |

I Wstęp

Pomiary masy należą do jednych z najstarszych w dziejach cywilizacji, ich początek określa się na 4000 lat p.n.e. W tym czasie powstawały pierwsze cywilizacje, które licznie tworzyły się wokół wielkich rzek Eufratu i Tygrysu – Mezopotamia, w delcie i dolinie Nilu – Egipt, wokół Gangesu – Indie i Indusu – Chiny. Na żyznych glebach przy sprzyjających warunkach klimatycznych rozwijało się rolnictwo. Powstawały osady i pierwsze miasta, następował rozwój rzemiosła i handlu. I to właśnie w tych rejonach świata ważenie stało się potrzebą i koniecznością. Początkowo handlowano głównie na zasadzie wymiany barterowej, jednak w przypadku kosztownych kruszców pojawiła się potrzeba dokładniejszego sposobu rozliczania. Przyjęto więc wagową metodę porównywania masy towaru i wzorca. Wagi te były równoramienne, wykonywane w postaci jednej podpartej belki, na której ramionach mocowano ważone (porównywane) towary. Pomysł tej wagi został zaczerpnięty ze sposobu przenoszenia na ramionach towarów zawieszonych na bambusowych lub drewnianych drągach.

Przez wiele wieków budowa wag nie ulegała znaczącym zmianom, były to zawsze wagi prostożwigniowe wykonywane w postaci jednej podpartej belki. W kolejnych stuleciach wprowadzano pewne modyfikacje, poprawiające dokładność i powtarzalność ważenia. Zmieniano ich wygląd poprzez dodanie elementów ozdobnych, wprowadzono różne materiały do ich wykonania, jednak zasadniczo nie zmieniała się ich konstrukcja i zasada działania. Dopiero wynalazki z okresu XVIII, XIX i XX wieku (elektryczność i elektronika) zmieniły wygląd i konstrukcję wag mechanicznych.

Pierwsze wzmianki na temat pomiaru masy na ziemiach polskich odnajdujemy m.in. w poniższych dokumentach.

- Prawo z 1420 r. stanowiło: *miary zboża, sukien i innych rzeczy ziemnych przez kmiecie do targu wożonych, przez wojewodę na każdy rok stanowione być mają.*
- Statut Warcki z 1423 r. nakładał na wojewodów obowiązek kontroli miar i wag w miastach oraz ustalanie cen artykułów rzemieślniczych.
- W 1507 r. *waga i łokieć krakowski z poznańskim zostały zrównane, a lwowski i lubelski „w swojej mierze pozostawione”.*
- 1507 r., 1511 r., 1550 r. – ukazują się ustawy sejmowe mające na celu dalsze próby uporządkowania lokalnych miar polskich.
- 1565 r. – Ustawa na Miary i na Wagi, wyraźnie określa jednostki miar rynkowych, postanowiono w niej, że *miary i wagi wszelakie wszędzie jednaki być mają...*
- 1613 r. – uchwała dotycząca miar wileńskich i kowieńskich: *nakazano także, aby miary wymierzone i cechowane były żelazem okowane, albo z miedzi urobione, jedne na ratuszu a drugie w grodzie zostawały i potrzebującym dawane były.*
- W latach 1569, 1588 i 1633 kolejne ustawy sejmowe konsekwentnie porządkowały miary lokalne. Nadzór nad nimi powierzono wojewodom i starostom, a miejscem przechowywania wzorców w każdym mieście był ratusz.
- Konstytucja Sejmu konwokacyjnego z 1764 r. dla Korony ustanawiała tzw. miarę generalną, zwaną też miarą ratuszową warszawską.

- Trzy rozbiory dokonane w latach: 1772 r., 1793 r. i 1795 r. spowodowały, że każdy z zaborców, jako atrybut nowej władzy, wprowadzał własne miary, ale w praktyce zakorzenione były te z czasów Rzeczypospolitej.
- W 1818 r. ogłoszono ustawę Królestwa Kongresowego wprowadzającą miary nowopolskie oparte na systemie miar metrycznych, funt nowopolski wyznaczono w gramach. Polska była pierwszym krajem (poza Francją), wprowadzającym metryczny system miar. Wprowadzenie miar nowopolskich przyniosło wielki zaszczyt nauce polskiej. Umożliwiło to rzetelną wymianę handlową w kraju i zagranicą, nastąpił też rozwój techniki i przemysłu krajowego.
- W 1850 r. władze carskie wprowadzają w Polsce obowiązek urzędowego stosowania miar rosyjskich (1 łut = 0,0128 kg, 1 funt = 0,4095 kg, 1 pud = 16,38 kg, 1 berkowiec = 163,8 kg). Zmiany te powodują nowy zamęt w dziedzinie miar. Jednak ludność polska nadal stosuje miary nowopolskie.
- W 1856 r. Rada Administracyjna Królestwa wprowadza polsko-rosyjskie jednostki masy i objętości w związku z dynamicznie rozwijającymi się kontaktami gospodarczymi, po zniesieniu barier celnych.
- W 1875 r. władze austriackie wprowadzają miary metryczne w Małopolsce (1 łut = 0,0175 kg, 1 funt = 0,560 kg, 1 kamień = 11,2 kg, 1 cetnar = 56,02 kg), a władze niemieckie w Poznańskim (1 łut = 0,0167 kg, 1 funt = 0,5 kg, 1 cetnar = 50 kg).
- W 1900 r., przy Warszawskim Instytucie Politechnicznym im. Mikołaja II (późniejszej Politechnice Warszawskiej), powstaje V Inspektorat Miar w Warszawie podległy Głównej Izbie Miar i Wag w Petersburgu.
- Dekret o miarach z 8 lutego 1919 r. powołuje Główny Urząd Miar jako instytucję sprawującą nadzór nad jednolitością miar w Polsce.

Rozwój wag mechanicznych i wprowadzenie nowych rozwiązań zapoczątkował francuski matematyk Gilles Personne de Roberval, w latach 1631–1675 profesor matematyki na Królewskim Uniwersytecie Paryskim. Jego dzieło kontynuował Joseph Béranger wraz z synem w fabryce wag BALANCE ROBERVAL LYONNAISE et BERANGER & CIE w Lyonie.

Natomiast w Polsce, historia produkcji wag związana była z takimi datami jak:

- 1680 r. wykonanie techniką kowalską wagi ratuszowej w Kołobrzegu,
- 1856 r. powstanie Fabryki Wag Juliusz Sperling i s-ka w Warszawie,
- 1878 r. powstanie Fabryki Wag Alfreda Krzykowskiego w Warszawie,
- 1879 r. Fabryka Wag Wilhelma Hessa w Lublinie,
- 1883–1940 r. Fabryka Wag Weber-Dähne i s-ka w Warszawie,
- 1908 r. Fabryka Wag IDEAL w Lublinie założona przez Piotra Księżyckiego, w roku następnym dołączył Franciszek Maszkiewicz,
- 1932 r. Fabryka Wag Jarosława Caudra w Lublinie,
- 1952 r. Zakłady Mechaniki Precyzyjnej producent wag analitycznych. W latach sześćdziesiątych XX wieku 40 % produkcji eksportowano do 30 krajów świata.

Obecnie, w Polsce jest kilkudziesięciu producentów wag. Firmy produkują cały szereg wag do zastosowania w laboratoriach i przemyśle, począwszy od wag o obciążeniu maksymalnym kilku gramów stosowanych w laboratoriach analitycznych i komparatorów masy stosowanych również w laboratoriach analitycznych, po wagi o obciążeniu maksymalnym 60 t i większych do ważenia

samochodów ciężarowych z ładunkiem, wagonów kolejowych z ładunkiem lub ładunków przesu-
wanych taśmociągami.

Wytwarzanie wzorców masy także rozpoczęło się w starożytności. Pierwszymi wzorcami masy
były ziarna roślinne. Jako odważników używano np. ziaren pszenicy, ziaren chleba świętojań-
skiego. Ciekawych eksponatów dostarczyły wykopaliska archeologiczne. Małe odważniki były
zrobione ze złota, srebra i kamieni szlachetnych lub były zestawem kamieni. Odważniki miały
ozdobne kształty, zazwyczaj były to postacie zwierząt. Przełom nastąpił w 1799 r., gdy we Francji
wykonano wzorzec kilograma z czystej platyny, zaś w 1889 r. I Generalna Konferencja Miar za
międzynarodowy wzorzec kilograma uznała jeden z trzech prototypów wykonanych w 1880 r. ze
stopu platyny (90 %) i irydu (10 %). Od 1889 r. wybrany wzorzec, zwany także *Le grand K* (IPK –
International Prototype of Kilogram), był stosowany do kontroli wzorców państwowych podczas
porównań międzynarodowych.

Do odtwarzania i przekazywania jednostki masy na najwyższym poziomie spójności pomia-
rowej w BIPM, służy sześć oficjalnych kopii IPK, trzy prototypy do zastosowań specjalnych,
trzy wzorce o ograniczonym zastosowaniu, sześć wzorców roboczych do bieżącego stosowania.
Od 2011 r. Międzynarodowe Biuro Miar posiada także zestaw 12 wzorców odniesienia ERMS
(Ensemble of Reference Mass Standards) związanych z IPK, który stanowi wartość odniesienia
w porównaniach kluczowych. Obecnie (dane CCM z 2017 r.) zestaw ERMS składa się z 20 wzor-
ców: 6 wzorców przechowywanych w powietrzu (2 Pt-Ir, 2 Si, 2 S-S), 3 wzorców przechowywa-
nych w argonie (1 Pt-Ir, 1 Si, 1 S-S), 3 wzorców przechowywanych w azocie (1 Pt-Ir, 1 Si, 1 S-S),
4 wzorców przechowywanych w próżni (4 S-S) oraz 2 wzorce stalowe (S-S) i 2 kule z monokryszt-
tału krzemu (Si).

W 1952 r. Polska zakupiła od BIPM kopię wzorca IPK o nazwie: prototyp nr 51, który został
ustanowiony wzorcem państwowym w maju 1980 roku.

Państwowy wzorzec jednostki miary masy w Polsce, prototyp 1 kg nr 51, jest wykonany ze sto-
pu platyny (90 %) i irydu (10 %). Ma kształt walca o wysokości równej średnicy wynoszącej 39 mm.
Masa tego wzorca została wyznaczona w wyniku dwóch porównań: w 1951 r. i podczas trzecich
okresowych porównań wykonywanych w Międzynarodowym Biurze Miar w latach 1988–1992.
W dniu 14 czerwca 1990 r. jego masa wynosiła:

$$m = 1 \text{ kg} + 227 \cdot 10^{-9} \text{ kg} = 1 \text{ kg} + 0,227 \text{ mg}, \text{ ze złożoną niepewnością standardową:}$$

$$u_c = 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ kg} = 0,0023 \text{ mg}.$$

Przekazywanie jednostki masy w Polsce jest realizowane zgodnie z hierarchicznym układem
sprawdzeń od Międzynarodowego Prototypu Kilograma (IPK) poprzez kopie IPK, polski prototyp
1 kg nr 51, wzorce kopie 1 kg, wzorce odniesienia klasy dokładności E_1 , wzorce masy klasy dokład-
ności E_2 , wzorce masy klasy dokładności F_1 , F_2 , M_1 , wagi nieautomatyczne i wagi automatyczne.

Siła

Siła to dziedzina, która ma swoje korzenie w starożytności. Od wieków istnienie życia na zie-
mi przypisywano ukrytej „sile”, która przejawiała się poprzez zmianę położenia czy ruch ciał oraz
obejmowała działania i interakcje różnych sił. Dlatego pomiar siły i związanych z nią wielkości:
masy, ciśnienia, przyspieszenia, momentu siły, pracy i energii jest fundamentalny dla ludzkiej ak-
tywności. Postrzeganie siły ewoluowało na różnych etapach rozwoju człowieka. Już starożytne cy-
wilizacje (8000–6000 p.n.e.) położone w dolinach rzek południowo-zachodniej Azji, Mezopotamii,

Egiptu, Chin, Indii i Ameryki Południowej, używały systemów dźwigni i rolek do wzmocnienia siły mięśni mężczyzn. Pierwsze próby teoretycznego zrozumienia siły są związane ze starożytną Grecją. Arystoteles (384–322 p.n.e.) uważał, że „forma” (siła) powodowała poruszanie się materii. Sto lat później grecki fizyk Archimedes (287–212 p.n.e.) stał się pionierem prawdziwych eksperymentów inżynierskich. Nie tylko odkrył zdolność wzmocnienia siły koła pasowego, ale także zauważył, że ta sama masa złota wyprze mniej wody niż ta sama masa srebra. Około 400 lat później astronom Klaudiusz Ptolemeusz (II wiek n.e.) opracował pierwszy teorię geocentryczną (model ruchów planet). Zakładał, że ziemia jest nieruchoma w centrum wszechświata, a słońce, księżyc i gwiazdy okrążają ją po okrągłych orbitach. Pierwsza rewizja systemu ptolemejskiego nastąpiła tysiąc lat później za sprawą Mikołaja Kopernika (1473–1543), który stworzył system heliocentryczny, gdzie słońce stało się centrum Wszechświata. W tym czasie nie znano roli jaką odgrywa siła grawitacji, więc planety w modelu kopernikańskim poruszały się po doskonałych okręgach. Minęło kolejne stulecie zanim Galileo Galilei (1564–1642), twórca fizyki nowożytnej odkrył, że prędkość spadającego obiektu jest niezależna od jego ciężaru. Grawitacyjna zasada Galileusza (prawo swobodnego spadania ciał w polu grawitacyjnym) została zapisana następująco: w jednorodnym polu grawitacyjnym przy braku innych sił (takich jak tarcie), wszystkie ciała spadają z jednakowym przyspieszeniem. Uczony wykonał doświadczenie polegające na upuszczaniu różnych przedmiotów z Krzywej Wieży w Pizie.

Johannes Kepler (1571–1630) prawidłowo ustalił, że orbity planet wokół słońca są eliptyczne, dlatego też uznano go za twórcę mechaniki nieba. Uzupełnił teorię Kopernika i przygotował grunt Newtonowi (1642–1727) do odkrycia prawa powszechnego ciążenia. Prawo to wyjaśniało zarówno upadek ciał na Ziemię, jak i ruch ciał niebieskich. Uczony udowodnił, że przyciąganie grawitacyjne istnieje pomiędzy dwoma dowolnymi przedmiotami materialnymi i obliczył, że siła ta jest wprost proporcjonalna do iloczynu mas obiektów i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi. Newton podsumował swoje obserwacje formułując trzy zasady dynamiki:

- I zasada: jeśli na ciało nie działa żadna siła zewnętrzna lub siły działające równoważą się, to ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub spoczywa,
- II zasada: przyspieszenie ciała w układzie inercyjnym jest wprost proporcjonalne do działającej na nie wypadkowej siły i odwrotnie proporcjonalne do masy ciała,
- III zasada: jeśli ciało A działa na ciało B pewną siłą, to ciało B działa na A siłą o takiej samej wartości i kierunku, lecz o przeciwnym zwrocie.

Albert Einstein (1879–1955) przyczynił się do szerszego rozumienia zjawisk związanych z trzema zasadami dynamiki Newtona, które w ogólnej teorii względności są zachowane w lokalnych układach odniesienia (inercjalnych). W nieinercjalnych układach odniesienia, w których poruszające się ciała mają przyspieszenie pochodzące od układu odniesienia, pojawia się pozorna siła wynikająca z przyspieszenia samego układu odniesienia, a nie z oddziaływania z innym ciałem fizycznym. W związku z tym odczuwamy siłę odśrodkową wtedy, gdy samochód, będący naszym układem odniesienia, np. skręca.

Według współczesnej wiedzy, prawa fizyki i stałe fizyczne decydujące o ewolucji wszechświata nie zmieniły się od początku jego istnienia. Dominującą siłą we wszechświecie jest grawitacja. Pozostałe siły: elektromagnetyzm (siły działające między cząstkami posiadającymi ładunek elektryczny), oddziaływanie silne (np. wiążące proton i neutron) i oddziaływanie słabe (odpowiedzialne

za rozpad beta i związaną z nim radioaktywność) mają dominujące znaczenie tylko w małych odległościach.

Ciśnienie

Zjawisko ciśnienia mimo swej wszechobecności w przyrodzie po raz pierwszy zaczęło być badane dopiero w czasach nowożytnych przez ucznia i sekretarza Galileusza ewangelistę Torricellego. Galileusz, który w 1594 r. uzyskał patent na konstrukcję pompy ssącej służącej do pompowania wody z rzeki do nawadniania pól, zauważył, że pompa nie jest w stanie podnieść wody wyżej niż na 10 metrów. Zbadanie tego zjawiska zlecił właśnie Torricellemu, który w 1644 r., używając jednometrowej, zatopionej na jednym końcu rurki szklanej wypełnionej rtęcią, zauważył, że gdy rurka zostanie ustawiona pionowo z otwartym końcem zanurzonym w pojemniku z rtęcią, jej poziom obniża się do wysokości około 760 mm ponad powierzchnię rtęci w zbiorniku. Tak powstał pierwszy barometr rtęciowy. Zjawisko to przypisał istnieniu nieznannej siły działającej na powierzchnię ziemi. Jednocześnie wywnioskował, że przestrzeń powstała w górnej części rurki jest pusta – próżna, wprowadzając tym samym pojęcie próżni. Obserwacje Galileusza i Torricellego były dalej badane przez Błażeja Pascala, który zaproponował, że nieznaną siłą Torricellego jest ciężar powietrza znajdującego się nad powierzchnią rtęci. Ciężar ten powinien zależeć od wysokości, na której dokonuje się pomiaru, tę ideę potwierdził dokonując pomiarów w górach Puy de Dome. Pascal nazwał tę siłę, działającą jednorodnie we wszystkich kierunkach, ciśnieniem. Zaobserwowane przez Torricellego zjawisko próżni badał Otto von Guericke. W 1650 r. skonstruował pierwszą pompę próżniową, ulepszając przy okazji pompę tłokową do sprężania powietrza. Wykorzystał ją do udowodnienia istnienia próżni, wykonując w 1654 r. słynne doświadczenie z półkulami magdeburskimi. Z dwóch metalowych dopasowanych do siebie półkul, połączonych uszczelniającym smarem, wypompował powietrze, używając skonstruowanej przez siebie pompy próżniowej, a następnie próbował je oddzielić od siebie, używając zaprzężonych do każdej półkuli końmi (8 szt.). Wynik doświadczenia był negatywny, półkul nie dało się rozłączyć. W 1662 r. Otto von Guericke skonstruował barometr wodny i za jego pomocą zbadał zależność ciśnienia od wysokości n.p.m. i stanu pogody. W tych samych latach Robert Boyle, badając zależność pomiędzy objętością i ciśnieniem gazu, stwierdził, że dla tej samej ilości gazu w stałej temperaturze jego iloczyn (objętości i ciśnienia) jest stały. Dopiero rewolucja techniczna i rozwój przemysłu związany z wynalezieniem maszyn parowych dały z początkiem XIX wieku silny bodziec do rozwoju technik pomiaru ciśnienia oraz badania zjawisk związanych z ciśnieniem. W 1820 r. Joseph Louis Gay-Lussac zaobserwował proporcjonalną do temperatury zmianę ciśnienia gazu o stałej objętości. Jego prace oraz badania Lavoisiera, Daltona i Carnota stworzyły podwaliny klasycznej termodynamiki i dały impuls to opracowania wag ciśnieniowych. W 1832 r. M. Parrot skonstruował pierwszą wagę ciśnieniową pozwalającą na pomiar ciśnienia do 10 MPa w komorach parowych. Konstrukcja składała się ze stalowego zespołu tłok-cylinder i zestawu doczepianych obciążników. W 1846 r. Galy-Cazalat przedstawił przyrząd do pomiaru wysokich ciśnień oparty o manometr rtęciowy i dwutłokowy podzielnik ciśnienia.

Pierwszy nie cieczowy barometr został zbudowany przez Lucien Vidie w 1843 r., który użył mechanizmu sprężynowego. Metoda Vidie została użyta przez Eugene Bourdona, w opatentowanej przez niego w 1843 r. i używanej do czasów współczesnych rurce Bourdona, do pomiaru wyższych ciśnień. W 1893 r. E. H. Amagata zbudował pierwszy manometr obciążnikowo-tłokowy z rotującym tłokiem, który miał za zadanie zmniejszyć tarcie na powierzchni tłok-cylinder. Od tej pory

nastąpił szybki rozwój różnego rodzaju konstrukcji wag ciśnieniowych pozwalających na dokładny pomiar ciśnień hydraulicznych aż do 1,4 GPa. Wagi ciśnieniowe hydrauliczne stały się również podstawowymi wzorcami ciśnienia używanymi do wzorcowań manometrów innych typów, jak też do wykonywania pomiarów. Rozwój technologii materiałów i produkcji maszynowej o wysokiej dokładności pozwolił na wytworzenie smarowanych gazem pneumatycznych zespołów tłok-cylinder, które od 1965 r. były badane i wprowadzane do użycia jako wzorce średnich i niskich ciśnień, zarówno względnych jak i absolutnych. Wraz z rozwojem technik pomiarów elektrycznych, od lat 30 XX wieku następował rozwój różnego rodzaju przetworników ciśnienia, w których membranowe, sprężynowe detektory ciśnienia czy też rurki Bourdona są połączone z układami elektrycznymi. Wynalezienie w 1938 r. tensometrów pozwoliło na zbudowanie cienkowarstwowych przetworników wysokiego ciśnienia, które od 1965 r. są szeroko używane w zastosowaniach przemysłowych. Przełomem w pomiarach niskich ciśnień było opatentowanie w 1973 r. przetworników pojemnościowych wytwarzanych na szkłe lub kwarcu, a w 1979 r. przetworników oporowych ceramicznych, pozwalających na pomiar ciśnienia w warunkach agresywnych. Równolegle prowadzone badania pozwoliły na wytworzenie krzemowych membranowych czujników ciśnienia dla zakresu od 10 kPa do powyżej 150 MPa, opartych na efekcie piezoelektrycznym.

Twierdzenie

Jedną z najstarszych metod pomiaru twardości jest metoda ryskowa. W 1812 r. niemiecki mineralog Friedrich Mohs opracował dziesięciostopniową skalę twardości minerałów charakteryzującą odporność na zarysowania materiałów twardszych przez materiały bardziej miękkie. Skala Mohsa składa się z dziesięciu minerałów, uporządkowanych od najtwardszego (diament) do najbardziej miękkiego (talk). Każdy minerał może zarysować minerał poprzedzający go na skali (bardziej miękki) i może zostać zarysowany przez następujący w skali po nim (twardszy). Jednak metoda ta jest bardzo niedokładna, ale w niektórych procesach jest nadal stosowana.

Pojęcie twardości materiału zostało po raz pierwszy zdefiniowane w 1882 r. przez Heinricha Hertza, jako naprężenie normalne występujące w środku kołowego zetknięcia się dwóch ciał z tego samego materiału, gdy stan naprężeń w pewnym punkcie tego obszaru zetknięcia osiąga granicę sprężystości.

W 1904 r. Polak, M. T. Huber, w swej pracy doktorskiej zaprezentował koncepcję absolutnej miary twardości. Twardość określał jako rodzaj wytrzymałości przejawiający się przy wzajemnym nacisku dwóch ciał, stykających się bardzo małą częścią swych powierzchni.

Na przełomie XIX i XX wieku w okresie rozkwitu przemysłu metalurgicznego i maszynowego nastąpił rozwój metod pomiarów twardości, przy czym najbardziej rozpowszechniły się metody oparte na wciskaniu wgłębniaka w badany materiał poza granice sprężystości aż do wystąpienia odkształceń trwałych.

Spośród wielu metod pomiaru twardości znanych z tego okresu najbardziej rozwinęła się metoda Brinella, która stosowana jest współcześnie, a pozostałe metody z tego okresu mają jedynie znaczenie historyczne.

Wraz z rozwojem techniki rozpowszechniły się metody Rockwella i Vickersa, a z czasem również pomiary mikrotwardości.

Z pomiarami masy i wielkości pochodnych związane są wszystkie działy gospodarki narodowej: przemysł, rolnictwo, budownictwo, transport, handel, ochrona zdrowia, nauka itp. Każdy

obywatel spotyka się z tymi pomiarami codziennie, np. w domu odważając na wadze składniki do ciasta, w sklepie kupując odważone na wadze towary (pomiary masy), na stacji benzynowej mierząc ciśnienie w oponach, a w domu ciśnienie krwi (pomiary ciśnienia). Natomiast, nikt nie mierzy siły jaką użyto do otworzenia butelki czy twardości stali, z której wyprodukowano nóż.

W bazie KCDB BIPM (Międzynarodowego Biura Miar), dziedzina masa i wielkości pochodne dzieli się na następujące poddziedziny, a ich oznaczenia pochodzą od pierwszych angielskich liter z dodatkową literą M pochodzącą od masy:

| | | |
|-------------------|----------------------|-------------|
| Masa, wzorce masy | Mass, Mass standards | M.M |
| Gęstość | Density | M.D |
| Przepływ płynu | Fluid Flow | M.FF |
| Siła | Force | M.F |
| Moment siły | Torque | M.T |
| Ciśnienie | Pressure | M.P |
| Lepkość | Viscosity | M.V |
| Twardość | Hardness | M.H |
| Grawitacja | Gravity | M.G |

W strukturze organizacyjnej GUM wyżej wymienionymi dziedzinami (oprócz przepływu i grawitacji), ale za to objętością statyczną i analizatorami wydechu, zajmuje się Samodzielne Laboratorium Masy L7.

Ze względu na obszerność dziedzin: gęstości, lepkości, objętości statycznej i analizatorów wydechu powstaną kolejne przewodniki z tych dziedzin.

II Potrzeby społeczne i gospodarcze

1. Potrzeby zidentyfikowane międzynarodowo

Na 26. Generalnej Konferencji Miar (CGPM – General Conference on Weights and Measures) w listopadzie 2018 r. została podjęta uchwała o nowelizacji Międzynarodowego Układu Jednostek Miar SI.

Jednostka masy, definiowana następująco:

Kilogram, oznaczenie kg, jest jednostką masy, która jest równa masie międzynarodowego prototypu kilograma (m_K)

$$1 \text{ kg} = m_K$$

została zastąpiona nową definicją:

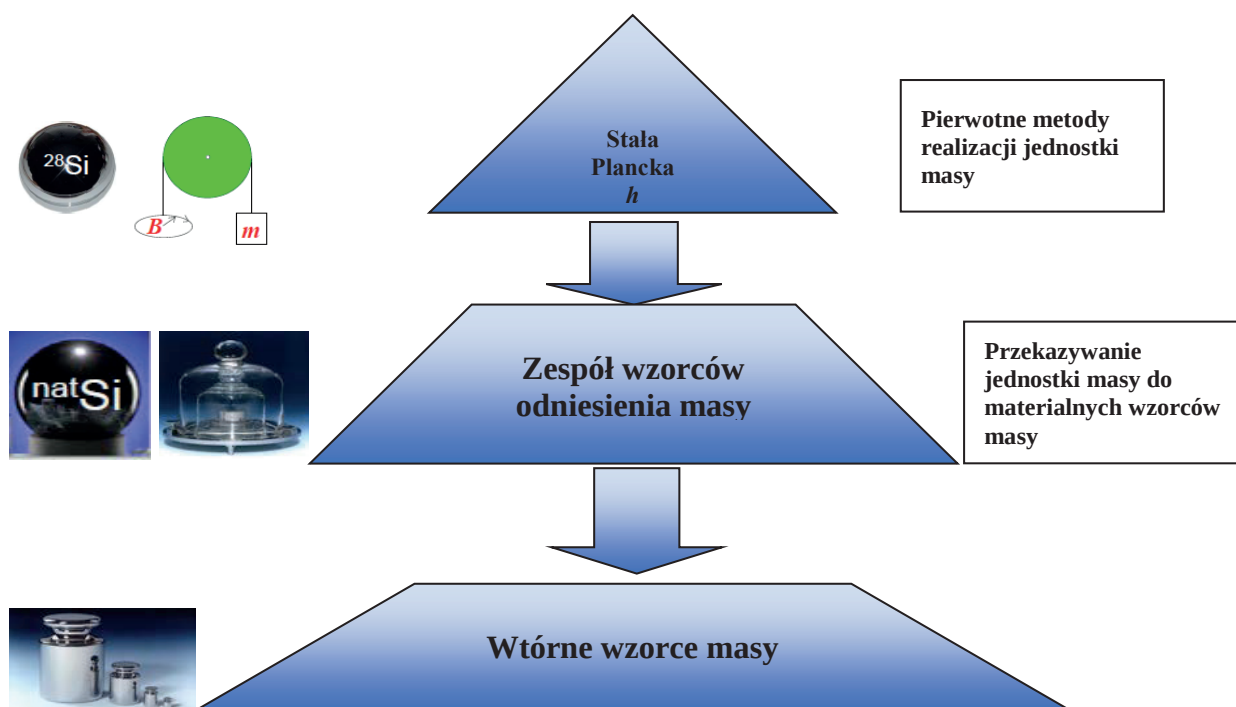
Kilogram, oznaczenie kg, to jednostka masy SI. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej Plancka h , wynoszącej $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$, wyrażonej w jednostce J s, która jest równa $\text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$, przy czym metr i sekunda określone są poprzez c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$

$$1 \text{ kg} = \frac{(299792458)^2}{(6,62607015)(9192631770)} 10^{34} \frac{h \cdot \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \approx 1,4755214 \cdot 10^{40} \frac{h \cdot \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}$$

Oznacza to, że zmieniona zostanie metoda wyznaczania masy wzorców państwowych. IPK zostanie zastąpiony przez zestaw wzorców odniesienia ERMS (Ensemble of Reference Mass Standards) i wagę wata (obecnie nazywaną wagą Kibble'a, od nazwiska twórcy koncepcji jej działania), co będzie źródłem dodatkowej niepewności.

Wychodząc naprzeciw temu wyzwaniu Pracownia Wąg i Wzorców Masy Głównego Urzędu Miar także przygotowuje się do realizacji jednostki masy po redefinicji kilograma. Dotychczasowe całkowicie zautomatyzowane stanowisko państwowego wzorca jednostki miary masy – 1 kg: komparator MT AT 1006 o obciążeniu max. 1011 g, z dz. el. $d = 1 \mu\text{g}$ zostanie zastąpione stanowiskiem, w skład którego będzie wchodzić automatyczny próżniowy komparator masy z adiustacją zewnętrzną o następującej charakterystyce: obciążenie $\text{max} \geq 1 \text{ kg}$ z dz. el. $d \leq 0,1 \mu\text{g}$. Komparator będzie wyposażony w moduł pomiarowy umożliwiający pomiar masy w powietrzu, w wysokiej próżni oraz w osłonie gazów: argonu i azotu. Stanowisko państwowego wzorca jednostki miary masy – 1 kg zostanie też wyposażone w krajowy zestaw wzorców odniesienia (15 wzorców kopii 1 kg: 2 walce stalowe, 10 walców z główką, 2 wzorce zespołowe 100 g ÷ 500 g i kulę krzemową). Działania te pozwolą Pracowni Wąg i Wzorców Masy na przekazywanie jednostki masy zgodnie z nową definicją, z jak najmniejszą niepewnością krajowym i zagranicznym podmiotom.

Dokument *Strategic Research Agenda for Metrology in Europe Version 1.0 (03/2016)* opublikowany przez EURAMET określa cele strategiczne dla dziedziny masy i wielkości pochodnych w określonych obszarach.



Zachowanie spójności pomiarowej po redefinicji jednostki miary masy

Masa

- Ciągły rozwój realizacji pierwotnych (wagi wata, metody XRCD – X-Ray Crystal Density), aby osiągnąć względną niepewność standardową dla tych pomiarów nie większą niż $2 \cdot 10^{-8}$. Obecnie tylko na wadze wata z Kanady i w projekcie IAC (International Avogadro Coordination), gdzie brały udział dwie kule krzemowe AVO28-S5 i AVO28-S8 mierzone niezależnie przez PTB/Niemcy i NMIJ/Japonię osiągnięto taką niepewność.
- Doskonalenie rozpowszechniania jednostki masy wśród użytkowników związanych z metrologią prawną, farmaceutyczną i wielkościami pochodnymi masy, poprzez doskonalenie pomiaru wzorców masy na komparatorach próżniowych i w atmosferze gazów szlachetnych.
- Rozwój realizacji pierwotnych dla wzorców o małej wartości nominalnej dla przemysłu farmaceutycznego i biotechnologicznego. Zmniejszenie niepewności pomiaru wzorców poprzez ważenie małych wzorców masy na wagach wata dla małych wartości nominalnych.

Ciśnienie

Metrologia ciśnienia należy do kluczowych metrologii w różnych dziedzinach życia. Pomiary ciśnienia są wszechobecne w dziedzinach zdrowia publicznego, pracach badawczych, w przemyśle, gdzie służą nie tylko do ustawienia różnego rodzaju procesów przemysłowych, ale i do ciągłej ich kontroli ze względu na utrzymanie wydajności, czystości i bezpieczeństwa. Przemysł petrochemiczny, chemiczny, farmaceutyczny, przetwórstwa żywności wymaga zbudowania niezawodnych i odpornych na działanie substancji szkodliwych czujników ciśnienia o różnych zakresach, jak i wymiarach. Miniaturyzacja czujników ciśnienia jest wymuszana przez przemysł transportowy, służbę zdrowia czy przemysł zbrojeniowy. Cały czas postępują prace nad zastosowaniem wysokich

ciśnień do konserwacji żywności. Rozwijanie technologii przyspieszania cząsteczek wymaga spójnych pomiarowo odczytów wartości ekstremalnie niskich ciśnień. Konieczność pomiarów szybkich zmian ciśnienia o różnej wielkości (przemysł lotniczy, energetyczny, środków wybuchowych, działania przeciwpożarowe) wymuszają rozwój badań i metod pomiarów ciśnienia dynamicznego.

Redefinicja jednostki temperatury Kelvina w oparciu o stałą Boltzmanna wymaga bardzo dokładnych pomiarów ciśnienia absolutnego w zakresie do 7 MPa. Pomiary ciśnienia zapewniają względną standardową niepewność otrzymanej wartości stałej Boltzmanna mniejszą niż $2 \cdot 10^{-6}$. Alternatywny sposób wyznaczania stałej Boltzmanna oparty o układ pojemności rezonatorów mikrofalowych i metody refraktometryczne pozwala również na redefinicję jednostki ciśnienia.

Z uwagi na przedstawione powyżej zastosowania i potrzeby istnieje konieczność:

- rozwijania nowych technik pomiaru ciśnienia (metody optyczne, cieczowe),
- badania i stworzenie metodyki pomiarów ciśnienia dynamicznego,
- konstrukcji czujników w bardzo szerokim zakresie wartości, w różnych warunkach pomiarowych (środowiska szkodliwe, wysokie i niskie temperatury, miniaturyzacja wymiarów).

Opracowane metody i przyrządy pomiarowe powinny zapewniać spójność pomiarową w szerokim zakresie odczytów.

Siła i moment siły

W dziedzinie siły i momentu siły oczekuje się nowych wyzwań metrologicznych dotyczących dużych sił do 50 MN, ze względu na testowanie nowych materiałów i konstrukcji w inżynierii lądowej i przemyśle naftowym oraz w bardzo wysokim zakresie momentu obrotowego ($1 \text{ MN} \cdot \text{m}$ do $20 \text{ MN} \cdot \text{m}$) dla nowych generatorów prądu (elektrowni wiatrowych, turbin) i lepszej kontroli napędu statków itd. Dyskutowane tematy w podkomitecie ds. siły przy Międzynarodowym Biurze Miar (BIPM) to: pomiary małych sił, wieloskładnikowy pomiar siły, porównania z uwzględnieniem elementów pasożytniczych oraz dynamiczne pomiary siły. W zakresie siły i momentu siły planowane jest kontynuowanie porównań międzynarodowych siły i momentu siły w zakresach poniżej 5 kN i $500 \text{ N} \cdot \text{m}$, w szczególności dla siły 200 N i 500 N oraz dla momentu siły w punktach pomiarowych $20 \text{ N} \cdot \text{m}$ i $50 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Twardość

W ramach Grupy Roboczej Twardość (WGH) określono następujące tematy do realizacji na najbliższe lata:

- uściślenie definicji dla twardości Rockwella, Brinella i Vickersa,
- kluczowe pomiary porównawcze w dziedzinie twardości dla skal Brinella, Rockwella C, B, N i T.

Ponadto przewiduje się działania w celu poprawy identyfikowalności pomiarów poprzez opracowanie podstawowych definicji i organizacji porównań oraz badań pilotażowych dla pomiarów nanotwardości, dynamicznych pomiarów twardości, twardości Martensa, twardości elastomerów.

2. Potrzeby krajowe

Wprowadzana 20 maja 2019 r. redefinicja kilograma będzie miała wpływ na całą dziedzinę masy i wielkości pochodnych. Pracownia Wąg i Wzorców Masy stanie przed realizacją nowych, nieznanych dotąd zadań jak pomiary w warunkach próżniowych i w atmosferze gazów szlachetnych. Mając na uwadze powyższe, konieczne będzie podjęcie działań podtrzymujących, a następnie zwiększających obecną zdolność pomiarową laboratorium dla zabezpieczenia potrzeb użytkowników przyrządów do pomiaru masy i wielkości pochodnych (siła, ciśnienie, wielkości fizykochemiczne, przepływy płynów i in.), gdyż planowane zmiany dotyczą większości dziedzin gospodarki, nauki i życia codziennego oraz odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu obsługi metrologicznej na potrzeby obronny kraju. Obok wyżej wymienionego celu strategicznego, Pracownia Wąg i Wzorców Masy będzie realizować pozostałe zadania laboratorium, do których należą:

- przekazywanie jednostki masy,
- wzorcowanie wzorców masy od 1 mg do 1000 kg (w perspektywie do 5000 kg),
- badania przyrządów do zatwierdzenia typu,
- badania przyrządów do oceny zgodności,
- ekspertyzy dużych wzorców masy i stanowisk do ich kontroli okresowej i wzorcowania,
- ocena podmiotów w zakresie możliwości uzyskania upoważnień do legalizacji wag,
- nadzór nad dostawcami zewnętrznymi wyposażenia pomiarowego stosowanego w procesie oceny zgodności,
- wzorcowanie wag w związku z kontrolowaniem emisji CO₂ (monitorowanie wielkości emisji objętych wspólnotowym systemem handlu uprawnieniami do emisji),
- prowadzenie porównań międzylaboratoryjnych,
- prowadzenie szkoleń i działań promocyjnych GUM,
- udział w projektach badawczych, współpraca z OUM, PCA i Centrum Metrologii Wojskowej,
- wprowadzenie do użytkowania systemów ważących samochody ciężarowe bezpośrednio na drodze podczas ich przejazdu z dozwoloną tam prędkością.

Podstawowe potrzeby krajowe w dziedzinie masy i wielkości pochodnych, związane z dalszym rozwojem GUM zapisane są w dokumencie „Strategia innowacyjności i efektywności gospodarki – Dynamiczna Polska 2020”. Wskazuje on na konieczność rozwoju następujących dziedzin:

- unikatowe urządzenia technologiczne oraz aparatura badawcza i pomiarowa dla zaawansowanych technologii nowej generacji,
- nowa generacja materiałów konstrukcyjnych i funkcjonalnych oraz technologii inżynierii powierzchni, w tym nanomateriały i nanotechnologie.

Ciśnienie

W dziedzinie ciśnienia powyższe tematy można realizować poprzez:

- poszerzenie współpracy z jednostkami naukowo-akademickimi przy konstrukcji krajowych wzorców ciśnienia, od ciśnień bardzo małych (rzędu mPa) do dużych (rzędu GPa) o wysokiej dokładności, z odczytem optycznym,
- budowa krajowego wzorca pierwotnego ciśnienia,
- budowa wzorca mikromanometrycznego dla niskich zakresów ciśnień,

- prace badawczo-rozwojowe i wdrożeniowe mające na celu utworzenie wzorca ciśnienia dynamicznego,
- opracowanie metody dynamicznego wzorcowania czujników ciśnienia, pracujących w warunkach nierównowagi termodynamicznej (komory spalania, wtryskowe, pomiary szybkości przy pomocy rurki Pitot, pomiar ciśnienia tętniczego krwi za pomocą cewnika), stanowiących zapotrzebowanie ze strony przemysłu, służby zdrowia i służb przeciwpożarowych,
- opracowanie i wykonanie generatorów ciśnienia na potrzeby wzorcowania dynamicznego,
- opracowanie sposobów ciągłego pomiaru ciśnień zmiennych,
- budowa stanowisk do wzorcowania przetworników ciśnienia związana z rosnącym zapotrzebowaniem przemysłu na tego rodzaju usługi.

Siła i moment siły

Pracownia zajmująca się dziedziną siły wykonuje usługi wzorcowania siłomierzy oraz układów pomiarowych siły, które wchodzi w skład maszyn wytrzymałościowych do prób statycznych. Zachowując najwyższy poziom usług, wspiera wiele gałęzi przemysłu np. przemysł zbrojeniowy, okrętowy, maszynowy, budowlany, wydobywczy, włókienniczy, spożywczy, farmaceutyczny oraz ekologię.

Od 2012 r. zarejestrowanych zostało ponad 200 różnych firm, instytucji i jednostek organizacyjnych, będących klientami Pracowni Siły i Twardości, w tym także usługobiorcy z zagranicy, głównie z Litwy, Łotwy i Estonii.

Pracownia wykonuje również usługi wzorcowania i ekspertyzy momentomierzy, przetworników momentu siły oraz referencyjnych kluczy dynamometrycznych. Tego typu pomiary wykorzystuje się przede wszystkim w celach badawczych (np. badanie mocy turbin i silników) oraz do zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa konstrukcji i wyrobów (np. przy dokręcaniu śrub mocujących koło pojazdu), ale stosowane są też w wielu innych gałęziach gospodarki, m.in. w przemyśle samochodowym, energetycznym i lotniczym.

Twardość

W oparciu o potrzeby krajowe, propozycje rozwoju dziedziny twardości w GUM są następujące:

- budowa wzorca odniesienia twardości Rockwella skale N, T (wprowadzenie usługi wzorcowania wzorców twardości Rockwella i pomiarów twardości Rockwella w skalach N i T na potrzeby przemysłu i wojska),
- pomiary mikrotwardości poniżej HV0,05 i nanotwardości (zakup odpowiedniej aparatury pomiarowej w celu wykonywania pomiarów na potrzeby przemysłu i wojska),
- twardość Leeba: budowa lub zakup stanowiska twardości Leeba do wzorcowania wzorców kalibracyjnych twardościomierzy Leeba stosowanych w przemyśle,
- twardość Shore'a: budowa lub zakup stanowiska twardości Shore'a do wzorcowania wzorców twardości gumy stosowanych w przemyśle (współpraca z Instytutem Przemysłu Gumowego),
- pomiary grubości warstwy utwardzonej na potrzeby przemysłu,
- udział młodych pracowników w szkoleniach i warsztatach w wiodących NMI w dziedzinie twardości,

- organizowanie krajowych porównań w dziedzinie twardości na potrzeby krajowych laboratoriów akredytowanych,
- wprowadzanie nowych metod pomiarowych we współpracy z producentami przyrządów pomiarowych,
- współpraca z Polskim Centrum Akredytacji, w ramach której pracownicy GUM są audytorami technicznymi w dziedzinie twardości,
- uczestniczenie w międzynarodowych porównaniach kluczowych.

III Historia rozwoju dziedziny masy i wielkości pochodnych w GUM

W okresie przed utworzeniem Głównego Urzędu Miar, na terenie imperium carskiego istniały dwie instytucje: V Izba Miar i Wag i Stacja Sprawdzania Przyrządów Pomiarowych, które zajmowały się sprawdzaniem narzędzi mierniczych takich jak wagi i odważniki. Izba powstała 1 września 1900 r. dla potrzeb Warszawy i sześciu guberni, na jedenaście wchodzących w skład Królestwa Polskiego. W 1903 r. rozszerzono jej uprawnienia na gubernie: piotrkowską, kielecką i radomską. Utworzono też filię Izby w Lublinie, niezbędną do obsługi istniejącej od 1879 r. w mieście, fabryki wag Wilhelma Hessa, jednej z większych w imperium. W 1908 r. zakres kompetencji terytorialnych Izby rozszerzono na dalsze trzy gubernie: warszawską, lubelską i kaliską.

Zbyt mały liczebnie personel Izby nie mógł podołać licznyemu obowiązkowi. Postanowiono więc, że nadzór nad miarami na kolejach: warszawsko-wiedeńskiej i nadwiślańskiej zostanie powierzony ich dyrekcjom. Uruchomiono też agendę w wagonie kolejowym, prekursorski pomysł późniejszych objazdowych urzędów miar.

Stacja Sprawdzania Przyrządów Pomiarowych powstała w 1904 r. Jej zadaniem było objęcie sprawdzeniem takich narzędzi mierniczych, do których nie miała wyposażenia Warszawska V Izba Miar i Wag oraz możliwość sprawdzenia w kraju bez konieczności wywożenia za granicę do Głównej Izby Miar i Wag w Petersburgu czy do Physicalisch-Technische Reichsanstalt (PTR, późniejsze PTB) w Berlinie. Zgromadzono w niej między innymi takie przyrządy jak: wagę precyzyjną z mikroskopem do obserwacji wskazań, komplet areometrów wzorcowych, barometr wzorcowy, przyrząd do sprawdzania barometrów rtęciowych i aneroidów (aneroid – czujnik barometru) i przyrząd do badania gęstości cieczy. W 1915 r. nastąpiła ewakuacja Warszawskiej V Izby Miar i Wag. Natomiast Stacja swoją działalność prowadziła do 1946 r.

Najstarszą pracownią GUM była Pracownia Wag Handlowych, która powstała w budynku przy ulicy Pięknej 66a. Dopiero w 1923 r. została przeniesiona na ul. Elektoralną. Zajmowała się tematyką ogólną dla przyrządów do pomiaru masy, a w szczególności wag handlowych i wag dokładnych. Pracowni tej podlegało laboratorium badania wag i ich elementów.

W latach 1924–1925 przeniesiono na ul. Elektoralną, wchodzące w skład dziedziny masy i wielkości pochodnych (ciśnienia, siły i twardości), następujące pracownie:

- pomiarów masy: od samego początku niedostatecznie wyposażona z powodu lokalizacji pomieszczeń uniemożliwiających instalację wag wysokiej dokładności, posiadała wagi II i III klasy dokładności o właściwościach dalekich od potrzeb,
- manometryczna: działała w zakresie małych ciśnień. Wyposażona była w przyrząd różnicowy tzw. minimetr, zbiornik do gazu z regulacją ciśnienia (przy pomocy ciężarków), katetometr do odczytywania różnic poziomów. W celu pomiaru wyższych ciśnień zakupiono komplet wysokiej klasy przyrządów.

W latach 1935–1939 w skład Wydziału I Technicznego GUM wchodziły następujące Sekcje, które zajmowały się przyrządami do pomiaru masy i wielkości pochodnych:

Sekcja 4 (S4): manometry,

Sekcja 5 (S5): wagi handlowe, narzędzia do pomiaru siły,

Sekcja 6 (S6): odważniki, wagi, pomiary masy.

Przyrządy do pomiaru masy i wielkości pochodnych sprawdzane były w następujących pracowniach określonych numerami:

- 3. Pomiarów Masy
- 8. Wag handlowych
- 10. Pomiarów Gęstości Ciał Sypkich
- 12. Manometryczna.

W 1949 r. dziedzina masa i wielkości pochodne wchodziły w skład następujących wydziałów:

Wydział II Naukowo-Metrologiczny:

- dział pomiarów masy,
- dział pomiarów gęstości zboża,
- dział wag handlowych i przemysłowych,
- pracownia pomiarów siły,

Wydział III Naukowo-Metrologiczny:

- manometria,

Wydział V Naukowo-Metrologiczny:

- grawimetria.

W latach 1949–1952 w Warszawie Wydziałowi Naukowo-Metrologicznemu II podlegały działy pomiarów: masy, ciśnień, siły i zboża oraz wag handlowych i przemysłowych.

Liczne reorganizacje samego Głównego Urzędu Miar powodowały również reorganizacje zakładów i pracowni. Na przykład Zakład Mechaniki został utworzony w 2011 r. z przekształcenia lub połączenia funkcjonujących wcześniej Zakładu Metrologicznego Masy i Siły (od 1952 r.) i Zakładu Metrologicznego Termodynamiki (od 1965 r.).

W 2005 r. następujące dziedziny pomiarowe przeszły pomyślnie akredytację:

- masa i wagi – ekspert techniczny Kazimierz Kacprzak,
- ciśnienie – ekspert techniczny Aleksander Rostocki,
- siła – ekspert techniczny Carlo Ferrero (Istituto Di Metrologia „G. COLONNETTI”, Torino, Włochy),
- twardość – ekspert techniczny Konrad Herrmann z PTB.

Od 2011 roku, regularnie co 5 lat, w każdej dziedzinie są przeprowadzane oceny kompetencji technicznych w ramach wizyty tzw. peer-review. Do oceny zapraszani są eksperci techniczni z krajowych instytutów metrologicznych, uczestniczących w projekcie EURAMET 1109:

- Ivan Križ z CMI/ Czechy, dziedzina masa, 2015 r.,
- Jiří Tesař z CMI/Czechy, dziedzina ciśnienie, 2014 r.,
- Peter Kašper z CMI/Czechy, dziedzina siła, 2014 r.,
- Jiří Borovský z CMI/Czechy, dziedzina twardość, 2013 r.

Samodzielne Laboratorium Masy brało udział w wielu porównaniach międzynarodowych.

W tabeli poniżej wymienione zostały projekty już zakończone.

| Pracownia | Status porównań | Temat |
|--------------------|--------------------------|--|
| Wagi i wzorce masy | EUROMET. M.M-K4 (510) | Porównania stalowych wzorców 1 kg |
| | EUROMET 509 | Porównania platyno-irydowych wzorców 1 kg |
| | CCM.M-K3 | Wzorce masy: 50 kg |
| | CCM.M-K5 | Wzorce masy: 200 mg, 1 g, 50 g, 200 g i 2 kg |
| | EUROMET.M.M-K2 (445) | Wzorce masy: 100 mg, 2 g, 20 g, 500 g i 10 kg |
| | EUROMET. M.M-S7 (510) | Porównania stalowych wzorców 500 kg |
| Ciśnienie | EUROMET. M.P-K3.b (439) | Porównania wzorców ciśnienia w zakresie (0,08–7) MPa |
| Siła i twardość | EUROMET.M.F-K1 | Pomiar siły w punktach pomiarowych 5 kN i 10 kN |
| | CCM.F-K4.b | Pomiar siły w zakresie do 2000 kN |
| | CCM.F-K3.b | Pomiar siły w zakresie do 500 kN |
| | EUROMET.M.F-K2.b (518) | Pomiar siły w punktach pomiarowych 50 kN i 100 kN |
| | EUROMET.M.F-K3 (505) | Pomiar siły w punktach pomiarowych 500 kN i 1000 kN |
| | SMT4 CT96 2096 (DG-CZJU) | Pomiary kluczowe twardości Rockwella w skali HRC, HRA, HRD |
| | CCM.H-K1 | Pomiary kluczowe twardości Vickersa |

IV Plan rozwoju dziedziny w GUM

1. Infrastruktura metrologiczna

Pracownia Wag i Wzorców Masy L71 wyposażona jest w następujące stanowiska pomiarowe:

- S01 do wzorcowania wzorców kopii 1 kg (stanowisko wzorca państwowego),
- S02 do wzorcowania wzorców masy klas dokładności E_1 i E_2 ,
- S03 do wzorcowania wzorców masy klas dokładności F_1 , F_2 i M_1 ,
- S04 do wzorcowania gęstościomierzy zbożowych,
- S05 do wzorcowania wag,
- S06 do badania (ekspertyzy) dużych wzorców masy i stanowisk pomiarowych do wzorcowania dużych wzorców masy,
- S07 badania wag nieautomatycznych i mierników wag tensometrycznych,
- S08 do badania wag automatycznych.

Pracownia Ciśnienia L72 wyposażona jest w następujące stanowiska pomiarowe:

- ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy Ruska typ 2465; medium: gaz; 3 zespoły pomiarowe,
- ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy DH Budenberg typ 5404G; medium: olej; 2 zespoły pomiarowe,
- ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy CPB 6000; medium: olej.

Pracownia Siły i Twardości L73 wyposażona jest we wzorzec odniesienia siły, który składa się z następujących stanowisk:

- stanowiska wzorcowego siły S01 z zestawem obciążników do 500 N,
- stanowiska wzorcowego siły S02 do 500 N,
- stanowiska wzorcowego siły S03 do 5 kN,
- stanowiska wzorcowego siły S04 do 55 kN,
- stanowiska wzorcowego siły S05 do 500 kN,
- stanowiska wzorcowego siły S06 do 3000 kN,

oraz we wzorzec odniesienia twardości, w skład którego wchodzi:

- stanowisko S1 do wzorcowania wzorców twardości Rockwella I – rzędu (wzorzec odniesienia GUM) – skale A, B, C, D, E, F, G, H, K,
- stanowisko S2 do wzorcowania wzorców twardości Rockwella II – rzędu (użytkowych) – skale A, B, C,
- stanowisko S3 do wzorcowania wzorców twardości Vickersa (wzorzec odniesienia GUM) – skale: HV0,05; HV0,1; HV0,2; HV0,3; HV0,5; HV1; HV2; HV3; HV5; HV10; HV30; HV50; HV100,
- stanowisko S4 do wzorcowania twardościomierzy Brinella, Rockwella i Vickersa,
- stanowisko S5 do wzorcowania twardościomierzy Shore’a A i D,

- stanowisko S6 do wzorcowania twardościomierzy opartych o nieznormalizowane metody pomiaru – skale Brinella, Rockwella i Vickersa,
- stanowisko S7 do pomiaru twardości metali (w skalach Rockwella, Brinella i Vickersa),
- stanowisko S9 do wzorcowania wzorców twardości Brinella (wzorzec odniesienia GUM) – skale HBW2,5/31,25; HBW2,5/62,5; HBW2,2/187,5; HBW5/250; HBW5/750; HBW10/250; HBW10/500; HBW10/1000; HBW10/1500; HBW10/3000.

2. Zadania

Dziedzina masa i wielkości pochodne zapewnia wiarygodność, spójność i porównywalność pomiarów we wszystkich obszarach działalności człowieka. Pomiaru masy i wielkości pochodnych są istotne dla sektora rolnego i na potrzeby wymiany handlowej, w obszarze poprawy jakości życia, obejmującym ochronę zdrowia, ochronę środowisk: naturalnego, pracy i domowego.

Najważniejsze zadania GUM w zakresie dziedziny masy i wielkości pochodnych:

- utrzymywanie i doskonalenie państwowego wzorca jednostki masy oraz zapewnienie jego powiązania z wzorcami innych państw poprzez udział w porównaniach międzynarodowych,
- zapewnienie spójności pomiarowej w dziedzinie masy po redefinicji kilograma,
- doskonalenie techniki wzorcowania wzorców masy w próżni i w atmosferze gazów szlachetnych,
- utrzymywanie i doskonalenie państwowego wzorcowego gęstościomierza zbożowego 20 L i zapewnienie jego spójności z wzorcowym gęstościomierzem zbożowym Unii Europejskiej,
- utrzymywanie i doskonalenie wzorców odniesienia: jednostki ciśnienia, jednostki siły, jednostki momentu siły i jednostki twardości,
- przekazywanie jednostek miary w zakresie dziedzin Samodzielnego Laboratorium Masy,
- realizowanie zadań z zakresu prawnej kontroli metrologicznej,
- wykonywanie zadań laboratorium badawczego dla modułu B oceny zgodności – badanie typu, dla wag nieautomatycznych (dyrektywa NAWID) i wag automatycznych (dyrektywa MID),
- współpraca z Głównym Inspektoratem Transportu Drogowego (GITD) i Główną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) w celu opracowania przepisów dla przyrządów do pomiaru gabarytów pojazdów w ruchu, projekt „HS-WIM” (High Speed Weighing in Motion), obecnie e-MIM (electronic measuring in motion),
- współpraca krajowa (w ramach Konsultacyjnego Zespołu Metrologicznego KZM 3 ds. technologii i procesów przemysłowych) z uczelniami i przedsiębiorcami w celu budowy stanowisk pomiarowych dla Świętokrzyskiego Laboratoryjnego Kampusu GUM w Kielcach,
- współpraca zagraniczna w projektach oraz pracach badawczych, z obszaru metrologii masy i wielkości pochodnych,
- wspieranie i rozwój sektora przemysłowego w dziedzinach pomiarowych znajdujących się w kompetencji Samodzielnego Laboratorium Masy.

3. Planowane działania

1. Budowa infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie masy po redefinicji kilograma.

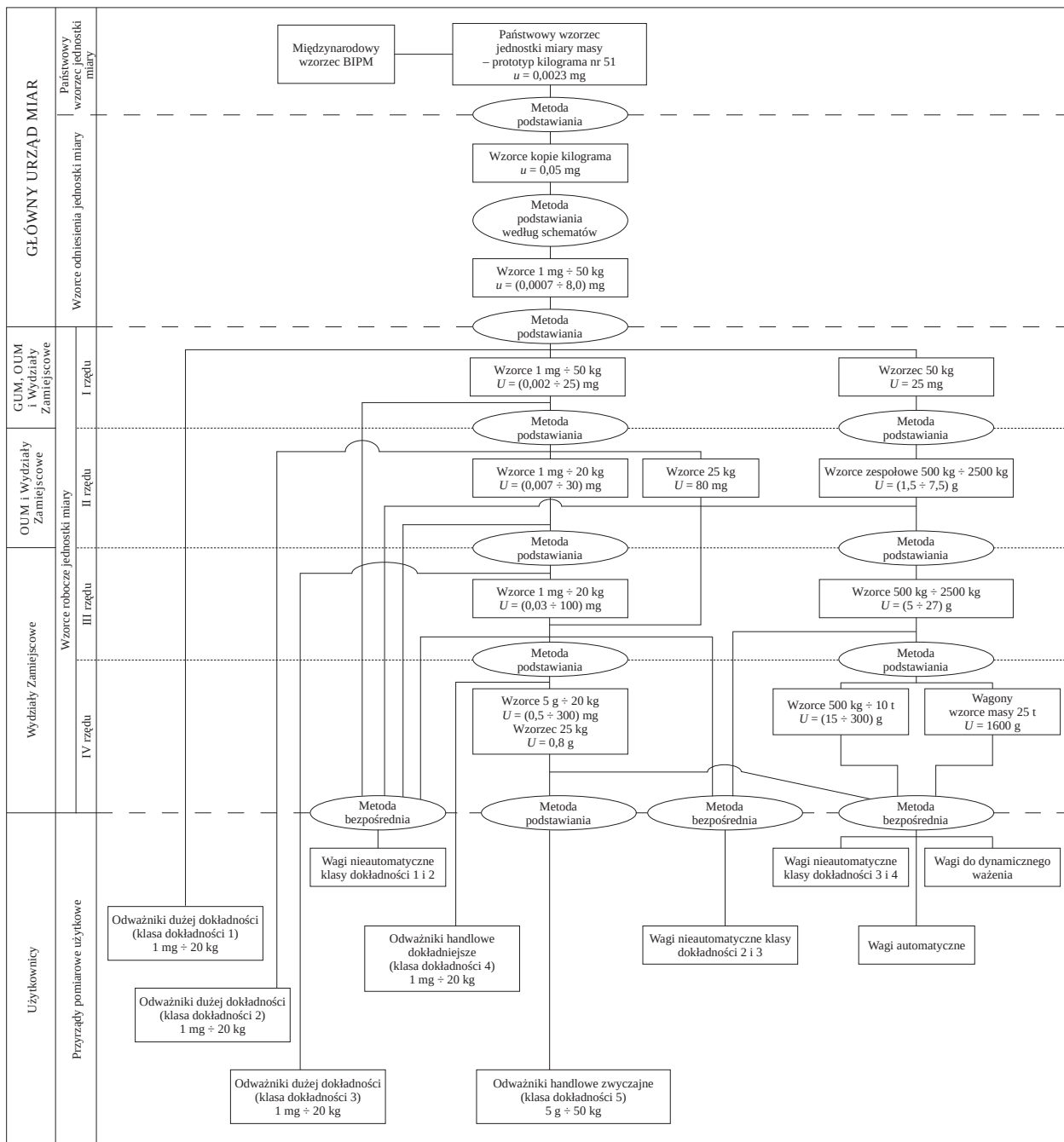
2. Budowa infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie badania wpływu zakłóceń elektrycznych na wskazania wag, w tym zakłóceń od instalacji samochodowej (tzw. badania automotive).
3. Prowadzenie wspólnych badań przyrządów do pomiaru gabarytów pojazdów w ruchu, projekt „HS-WIM”, obecnie eMIM we współpracy z Głównym Inspektorem Transportu Drogowego (GITD) i Główną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA). Projekt realizowany również w ramach Konsultacyjnego Zespołu Metrologicznego ds. Technologii i procesów przemysłowych w zakresie dynamicznych pomiarów masy całkowitej i nacisków osi pojazdów samochodowych.
4. Budowa infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie ciśnienia.
5. Ustanowienie państwowego wzorca jednostki ciśnienia. Zakup zespołów pomiarowych tłok-tuleja o dużych przekrojach czynnych w celu budowy pierwotnego wzorca jednostki ciśnienia.
6. Budowa stanowiska pomiarowego w zakresie mikromanometrii.
7. Budowa stanowiska pomiarowego w zakresie ciśnienia dynamicznego.
8. Modernizacja infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie twardości. Budowa wzorca odniesienia twardości Rockwella dla skal N i T, zakup lub budowa stanowisk do mikrotwardości, nanotwardości, twardości Leeba i twardości Shore’a (po uprzednim stażu pracownika w PTB).
9. Modernizacja infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie siły. Budowa nowego stanowiska wzorcowego/pomiarowego – maszyny obciążnikowej ze wzmocnieniem dźwigniowym oraz automatyzacja sterowania maszyn obciążnikowych w celu usprawnienia procesu wzorcowania.

V Krajowy system metrologiczny dotyczący dziedziny

1. Spójność pomiarowa

a) Pracownia Wag i Wzorców Masy

Hierarchiczny układ sprawdzeń przyrządów do pomiarów masy

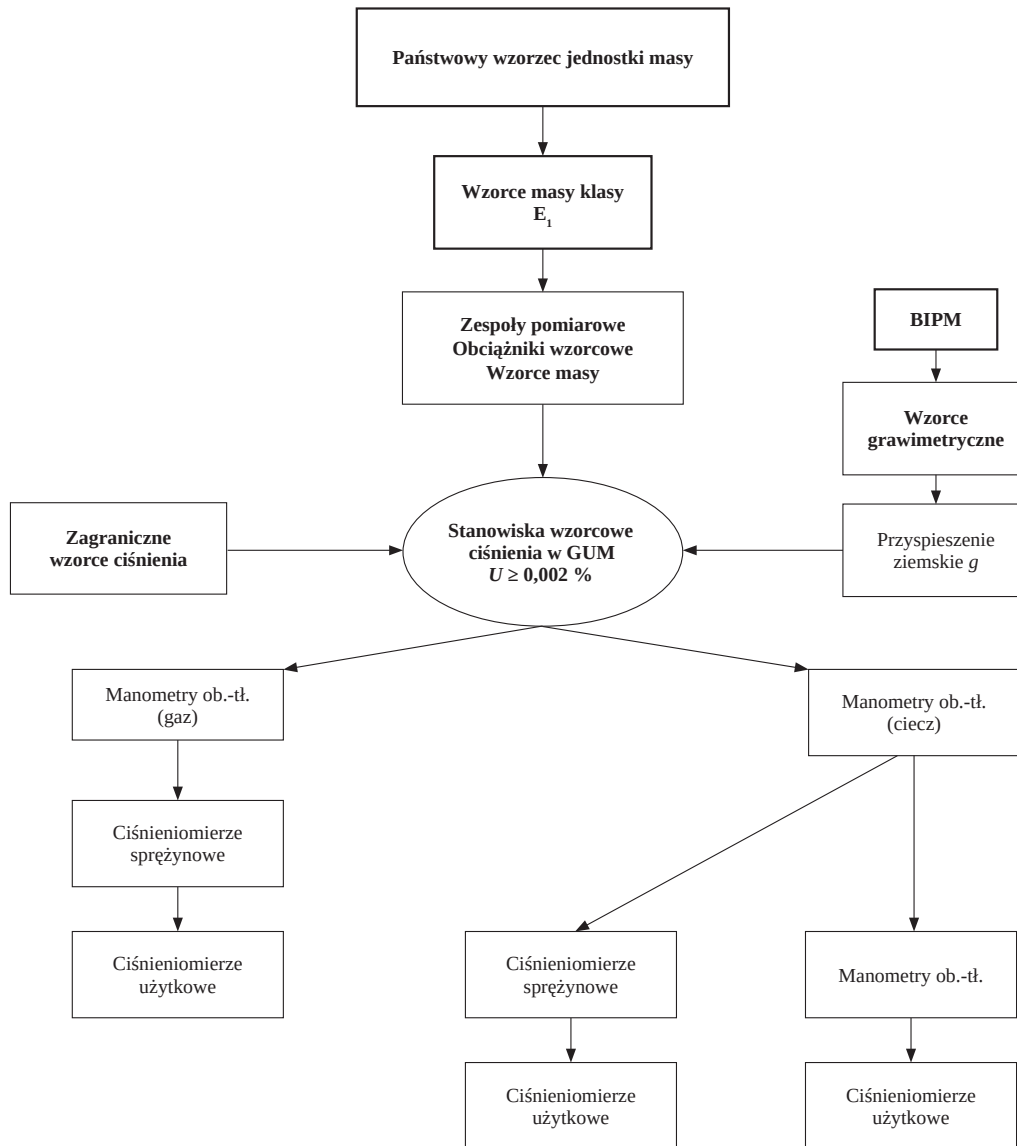


u – niepewność standardowa
 U – niepewność rozszerzona

b) Pracownia Termodynamiki

Dziedzina ciśnienie

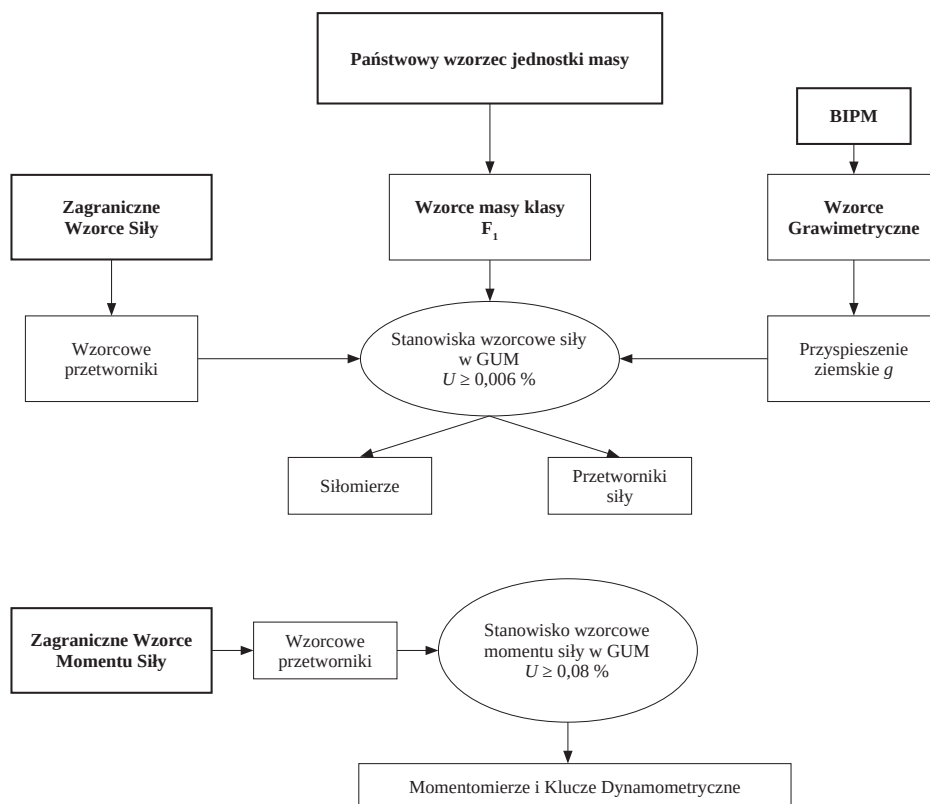
Układ sprawdzeń przyrządów do pomiarów ciśnienia



c) Pracownia Siły i Twardości

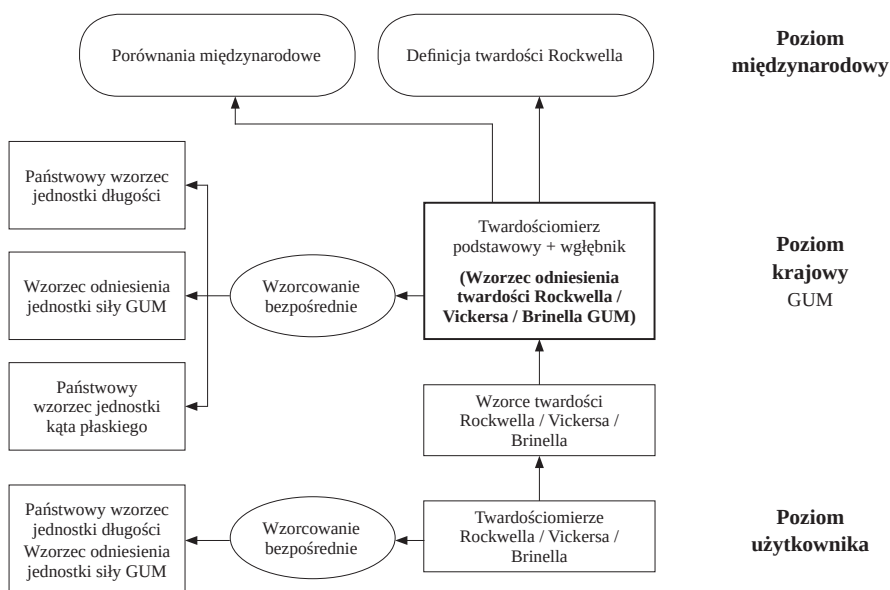
Dziedzina siła

Układ sprawdzian przyrządów do pomiaru siły i momentu siły



Dziedzina twardości

Układ sprawdzian przyrządów do pomiaru twardości



VI Wykaz dokumentów związanych z dziedziną

Pracownia Wąg i Wzorców Masy

1. Zalecenie OIML R 111 – 1 “Weights of classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} and M_3 – Part 1: Metrological and technical requirements” (2004).
2. Dokument EA-4/02 „Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu”, wydanie polskie z 2001 r.
3. Zarządzenie Prezesa Głównego Urzędu Miar Nr 93 poz. 101 z dnia 10 czerwca 1996 r. w sprawie wprowadzenia przepisów metrologicznych o wzorcach masy I rzędu – metody wzorcowania opisane w § od 12 do 16.
4. Zalecenie OIML R 111-2 “Weights of classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} i M_3 – Part 2: Test Report Format” (2004).
5. Zalecenie OIML R 76-1:1992 (E) “Nonautomatic weighing instruments” Part 1: Metrological and technical requirements – Tests, Amendment 1:1994 (E).
6. Zalecenie OIML R 76-2:1993 (E) “Nonautomatic weighing instruments” Part 2: Pattern evaluation report, Amendment 1:1995 (E).
7. Norma PN-EN 45501:2015 – Zagadnienia metrologiczne wag nieautomatycznych.
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 31 stycznia 2008 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać gęstościomierze zbożowe, oraz szczegółowego zakresu badań i sprawozdań wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych.
9. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 lutego 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie uznawania wzorców jednostek miar za państwowe wzorce jednostek miar.
10. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 stycznia 2003 r. w sprawie uznawania wzorców jednostek miar za państwowe wzorce jednostek miar.
11. Zalecenie Międzynarodowe OIML R 15 z 1970 r. „Przyrządy do pomiaru gęstości zboża w stanie zsypanym”.
12. Dyrektywa Rady nr 71/347/EWG z dnia 12 października 1971 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich dotyczących pomiaru gęstości zboża w stanie zsypanym.
13. Zarządzenie Nr 35 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 27 marca 1995 r.
14. ISO 7971-1:2003 Cereals – Determination of bulk density, called “mass per hectolitre”, Part 1: Reference method.
15. Norma PN-EN ISO 7971-2:2010 – Ziarno zbóż – Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym, zwanej masą hektolitra – Część 2: System sprawdzania przyrządów pomiarowych w odniesieniu do międzynarodowego wzorcowego przyrządu pomiarowego.
16. Norma PN-EN ISO 7971-3:2010 – Ziarno zbóż – Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym, zwanej masą hektolitra – Część 3: Metoda rutynowa.
17. Norma PN-73/R-74007 Ziarno zbóż. Oznaczanie gęstości.

18. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2007 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać wagi samochodowe do ważenia pojazdów w ruchu, oraz szczegółowego zakresu badań i sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (Dz. U. z 2007 r. Nr 188, poz. 1345).
19. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 7 stycznia 2008 r. w sprawie prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych (Dz. U. z 2008 r. Nr 5, poz. 29).
20. Zalecenie OIML R 134-1: Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads. Part 1: Metrological and technical requirements – tests (Edition 2006).
21. Zalecenie OIML R 134-2: Automatic instruments for weighing road vehicles in motion Total vehicle weighing. Part 2: Test report format (Edition 2004).
22. Zalecenie OIML R 50-1 Continuous totalizing automating weighing instruments (belt weighers), Part 1 Metrological and technical requirements. Edition 2014 (E).
23. Zalecenie OIML R 50-2 Continuous totalizing automating weighing instruments (belt weighers), Part 2 Test procedures. Edition 2014 (E).
24. OIML R 50-3 Continuous totalizing automatic weighing instruments (belt weighers). Part 3: Test report format.
25. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 2 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla przyrządów pomiarowych (Dz. U. z 2016 r. poz. 815).
26. Dyrektywa 2014/32/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku przyrządów pomiarowych (wersja przekształcona) 2014/32/UE; (Dz. U. UE. L.2014.96.149).
27. Zalecenie OIML R 106-1, Automatic rail weighbridges Part 1: Metrological and technical requirements – Tests, edition 2011.
28. Zalecenie OIML R 106-1, Automatic rail weighbridges, edition 1997.
28. Zalecenie OIML R 106-2, Automatic rail weighbridges Part 2: Test report format, edition 2012.
29. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 2 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla przyrządów pomiarowych (Dz. U. z 2016 r. poz. 815).

Dodatkowo wykorzystane dokumenty przy pisaniu przewodnika:

1. Z. Kwiatkowski: Historia ważenia. Wagi i odważniki. Strona internetowa.
2. A. Barański: Główny Urząd Miar na Elektoralnej. Wydawnictwo GUM 2008.
3. Biuletyn Centralnego Urzędu Jakości i Miar, Rocznik XVII, Zeszyt 6, Warszawa 1968.

Pracownia Ciśnienia

1. PN-EN 472:1998 Ciśnieniomierze – Terminologia.
2. PN-EN 837-1:2000 Ciśnieniomierze z rurką Bourdona. Wymagania i badania.
3. PN-EN 837-2:2000 Zalecenia dotyczące doboru i instalacji ciśnieniomierzy.
4. PN-EN 837-3:2000 Ciśnieniomierze membranowe i puszkowe. Wymagania i badania.
5. PN-EN 12645:2002 Manometry – Przyrządy do sprawdzania ciśnienia i/lub napompowania ogumienia pojazdów mechanicznych – Właściwości metrologiczne, wymagania i badania.
6. PN-EN 60770-1:2011 Przetworniki pomiarowe stosowane w systemach sterowania procesami przemysłowymi – Część 1: Metody wyznaczania właściwości.

7. PN-89/M-42336 Manometry obciążnikowo-tłokowe.
8. EURAMET cg-3, Version1.0, Calibration of Pressure Balances, Calibration Guide 2011.
9. EURAMET cg-17 ver. 2.0 (03/2011) Guidelines on the Calibration of Electromechanical Manometers.
10. OIML R-16 Non-invasive non-automated sphygmomanometers.
11. OIML R-23 Tire pressure measuring instruments, Part 1: Metrological and technical requirements, Part 2: Metrological controls and performance tests
12. OIML R-109 Pressure gauges and vacuum gauges with elastic sensing elements (standard instruments).
13. OIML R-101 "Indicating and recording pressure gauges, vacuum gauges and pressure-vacuum gauges with elastic sensing elements (ordinary instruments).
14. W. Pietraszewicz: Pomiary ciśnienia. Warszawa 1949.
15. Henryk Chmara: Metrologia w Przedsiębiorstwie Przemysłowym, Pomiary ciśnienia. Bydgoszcz 1978.
16. Robert S. Dadson, Sylvia L. Lewis, Graham N. Peggs: The pressure balance, Theory and Practice. National Physical Laboratory 1982.
17. EURAMET cg-3 Version 1.0 (03/2011) Calibration of Pressure Balances.
18. DG1-M.P Stanowisko pomiarowe nr S01 do wzorcowania ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych, sprężynowych, elektronicznych i hydrostatycznych.
19. IW1-M.P Wzorcowanie ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych.
20. DG2-M.P Stanowisko pomiarowe nr S02 do wzorcowania ciśnieniomierzy sprężynowych, elektronicznych i hydrostatycznych.
21. IW2-M.P Wzorcowanie ciśnieniomierzy sprężynowych i elektronicznych.
22. DG3-M.P Stanowisko pomiarowe nr S03 do wzorcowania ciśnieniomierzy hydrostatycznych, sprężynowych i elektronicznych.
23. IW3-M.P Wzorcowanie ciśnieniomierzy hydrostatycznych.

Pracownia Siły i Twardości

Dziedzina siły

1. PN-EN ISO 376:2011 Metale – Wzorcowanie siłomierzy kontrolnych stosowanych do sprawdzania jednoosiowych maszyn wytrzymałościowych.
2. PN-EN ISO 7500-2 Metale – Sprawdzanie statycznych jednoosiowych maszyn wytrzymałościowych. Część 2: Pełzarki. Sprawdzanie przyłożonego obciążenia.
3. PN-EN 12390-4 Badanie betonu Część 4: Wytrzymałość na ściskanie. Wymagania dla maszyn wytrzymałościowych.
4. ASTM E74 – 13a Standard Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines.
5. ASTM E4 – 13 Standard Practices for Force Verification of Testing Machines.
6. PN-EN ISO 6789 Narzędzia montażowe do śrub i nakrętek – Narzędzia dynamometryczne ręczne – Wymagania i metody badań dotyczące zgodności projektu, jakości wyrobu i procedury ponownego wzorcowania.

7. PN-EN ISO 7500-1:2016-02 Metale – Wzorcowanie i sprawdzanie statycznych jednoosiowych maszyn wytrzymałościowych – Część 1: Maszyny wytrzymałościowe rozciągające/ściskające – Wzorcowanie i sprawdzanie układu pomiarowego siły.
8. DIN 51309:2005-12 Materials testing machines – calibration of static torque measuring devices.
9. EURAMET cg-14 Guidelines on the Calibration of Static Torque Measuring Devices, wyd. 2 z 2011 r.

Dziedzina twardości

1. PN-EN ISO 6506-1 Metale – Pomiar twardości metali sposobem Brinella – Część 1: Metoda badań.
2. PN-EN ISO 6506-2 Metale – Pomiar twardości metali sposobem Brinella – Część 2: Sprawdzanie i wzorcowanie twardościomierzy.
3. PN-EN ISO 6506-3 Metale – Pomiar twardości metali sposobem Brinella – Część 3: Kalibracja wzorców odniesienia.
4. PN-EN ISO 6506-4 Metale – Pomiar twardości sposobem Brinella – Tablice wartości twardości.
5. PN-EN ISO 6507-1 Metale – Pomiar twardości metali sposobem Vickersa – Część 1: Metoda badań.
6. PN-EN ISO 6507-2 Metale – Pomiar twardości metali sposobem Vickersa – Część 2: Sprawdzanie i wzorcowanie twardościomierzy.
7. PN-EN ISO 6507-3 Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa – Część 3: Kalibracja wzorców odniesienia.
8. PN-EN ISO 6507-4 Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa – Część 4: Tablice wartości twardości.
9. PN-EN ISO 6508-1 Metale – Pomiar twardości metali sposobem Rockwella – Część 1: Metoda badań.
10. PN-EN ISO 6508-2 Metale – Pomiar twardości metali sposobem Rockwella – Część 2: Sprawdzanie i wzorcowanie twardościomierzy i wgłębników.
11. PN-EN ISO 6508-3 Metale – Pomiar twardości metali sposobem Rockwella – Część 3: – Kalibracja wzorców odniesienia.
12. PN-EN ISO 4545-1 Metale – Pomiar twardości sposobem Knoopa – Metoda badania.
13. PN-EN ISO 4545-2 Metale – Pomiar twardości sposobem Knoopa – Sprawdzanie i wzorcowanie twardościomierzy.
14. PN-EN ISO 4545-3 Metale – Pomiar twardości sposobem Knoopa – Kalibracja wzorców odniesienia.
15. PN-EN ISO 4545-4 Metale – Pomiar twardości sposobem Knoopa – Tablice wartości twardości.
16. PN-EN ISO 868 Tworzywa sztuczne i ebonit. Oznaczanie twardości metodą wciskania z zastosowaniem twardościomierza (twardość metodą Shore'a).

VII Wykaz publikacji pracowników GUM związanych z dziedziną w latach 2006–2018

Pracownia Wąg i Wzorców Masy

1. R. Sarnecki, W. Wiśniewski, W. Ślusarski, P. Wiłkojć: Traceable calibration of automatic weighing instruments operating in dynamic mode. MATEC Web of Conference.
2. J. Wasilewska: Realizacja jednostki masy. Biuletyn GUM Metrologia i Probiernictwo, nr 2/2018.

Pracownia Siły i Twardości

1. M. Woźniak: Wzorcowanie siłomierzy i przetworników siły. Biuletyn GUM Metrologia i Probiernictwo, nr 1/2012.
2. M. Woźniak: Szacowanie niepewności pomiaru siłomierzy zgodnie z nowymi zaleceniami normy PN-EN ISO 376:2011. Materiały konferencyjne, XII Symposium Niepewności Pomiarów, Świnoujście, 2013 r.
3. M. Woźniak: Informacja o przygotowaniu i rozpoczęciu realizacji projektu EMRP SIB63: Force traceability within the meganewton range. Materiały konferencyjne, X Konferencji Naukowo-Technicznej Podstawowe Problemy Metrologii, Kościelisko, 2014 r.
4. M. Woźniak: Informacje dotyczące realizacji projektu badawczego EMRP SIB63 Force traceability within the meganewton range. Biuletyn GUM nr 3/2015.
5. M. Woźniak: Przygotowanie i rozpoczęcie realizacji projektu EMRP SIB63 Force traceability within the meganewton range. PTB Brunshwik, 2013 r.
6. M. Woźniak, D. Röske: Investigation of the calibration and measurement capabilities of the new 5 kN·m torque calibration machine at GUM. Materiały konferencyjne, ACTA IMEKO, 2015 r.

Dziedzina twardość

1. A. Osińska-Karczmarek, J. Kwiatkowski: Porównanie wyników pomiaru średnicy odcisku Brinella przy zastosowaniu metody manualnej i automatycznej. Materiały GUM, 2011.
2. B. Młodzińska: Ocena stabilności wskazań stanowiska pomiarowego twardości Rockwella dla skali C. Materiały GUM, 2012.

Stanowiska pomiarowe

Dziedzina wag i wzorców masy

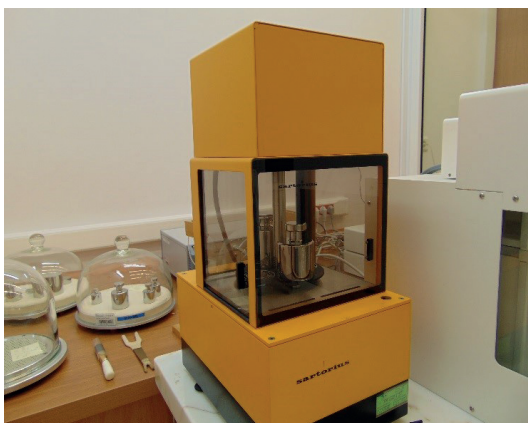


Stanowisko do utrzymywania i przekazywania jednostki miary masy 1 kg

Próżniowy komparator masy AVK-1000 posiada: wiszącą szalkę, która całkowicie eliminuje błędy niecentryczności, powiększoną komorę ważenia, umożliwiającą przekazywanie jednostki masy do podwielokrotności kilograma, próżniomierz i termohigrometr z rozdzielczością: ciśnienia 0,001 hPa, wilgotności 0,01 % oraz temperatury 0,001 °C oraz pozwala na porównanie 6 wzorców masy o kształcie walca lub kuli o maksymalnej masie 1 kg z rozdzielczością 0,1 µg. AVK umożliwia przeprowadzenie pomiarów w powietrzu, w próżni o wartości 0,001 bar lub w atmosferze gazów szlachetnych.



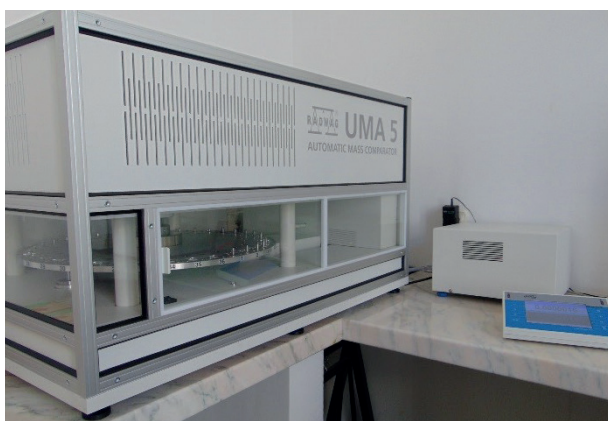
Stanowisko do utrzymywania i przekazywania jednostki miary masy 1 kg od wzorca państwowego



Stanowisko do przekazywania jednostki masy od 1 kg do 100 g

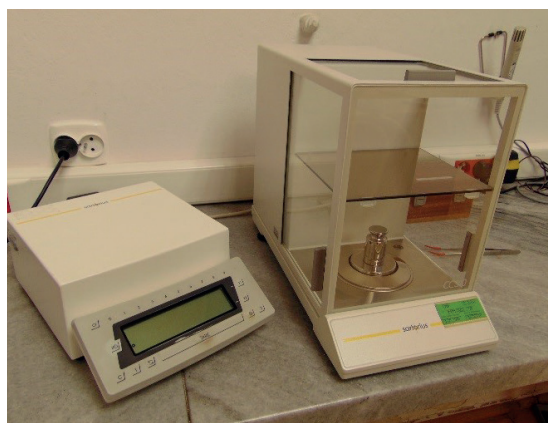
Komparator masy AT 1006 o obciążeniu maksymalnym 1011 g, z działką elementarną $d = 0,001$ mg. Stacja klimatyczna Klimet A30, bezpośrednio współpracująca z komparatorem, której zadaniem jest pomiar temperatury w komorze ważenia komparatora oraz ciśnienia i wilgotności względnej powietrza w odizolowanym pomieszczeniu, w którym usytuowane jest stanowisko pomiarowe.

Automatyczny komparator masy C1000 S klasy 1, działka elementarna $d = 0,002$ mg



Stanowisko do przekazywania jednostki masy od 5 g do 1 mg

Automatyczny komparator masy typu UMA 5, o obciążeniu maksymalnym 5 g, działka elementarna $d = 0,0001$ mg



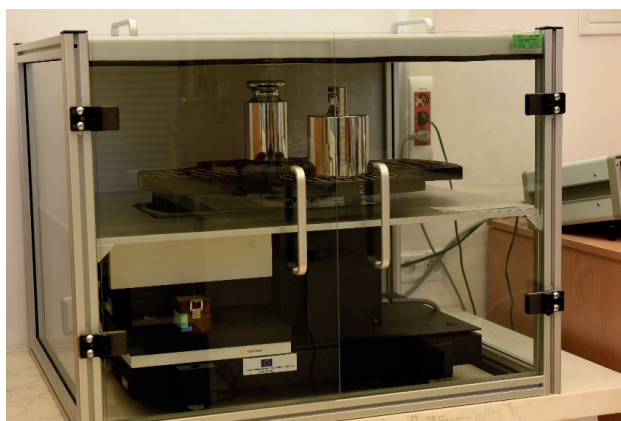
Stanowiska do przekazywania jednostki masy od 200 g do 1 g

Nieautomatyczne komparatory masy o obciążeniu maksymalnym 50 g, działka elementarna $d = 10 \mu\text{g}$ oraz o obciążeniu maksymalnym 200 g i działce elementarnej $d = 1 \mu\text{g}$



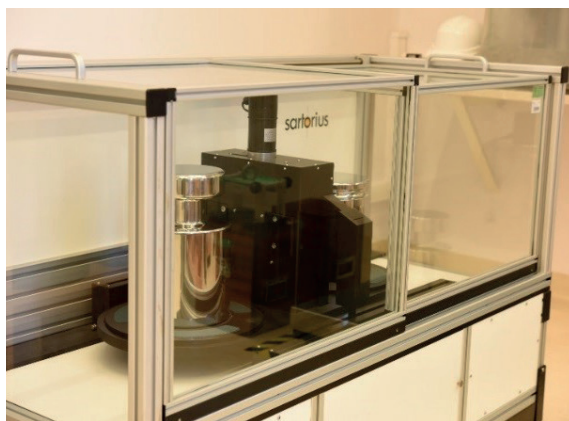
Stanowisko do przekazywania jednostki masy od 1 g do 1 mg

Nieautomatyczny komparator masy, działka elementarna $d = 1 \mu\text{g}$



Stanowisko do przekazywania jednostki masy od 1 kg do 10 kg

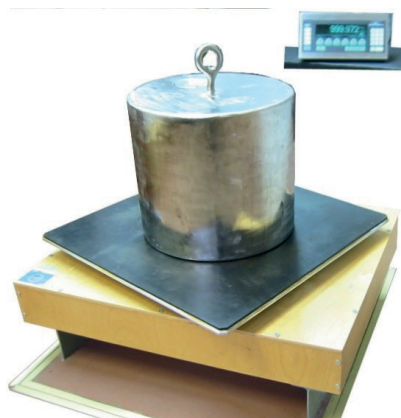
Automatyczny komparator masy typu CC 10000 U-L, działka elementarna $d = 0,01 \text{ mg}$



Stanowisko do przekazywania jednostki masy od 20 kg do 50 kg

Automatyczny komparator masy, działka elementarna $d = 1$ mg

Komparator KA 50-2/P o obciążeniu maksymalnym 50 kg: działka elementarna $d = 5$ mg



Stanowiska pomiarowe do przekazywania jednostki masy od 50 kg do 500 kg i 1000 kg w klasie F_2

Komparator KCC 1000 o obciążeniu maksymalnym 1000 kg: działka elementarna $d = 1$ g

Komparator APP10.14Y.KO o obciążeniu max 10 kg: działka elementarna $d = 0,1$ mg; służy do wzorcowań obciążników (wzorców specjalnych) wykorzystywanych w pomiarach ciśnienia i siły.



Komparator APP10.14Y.KO

Pracownia Wąg i Wzorców Masy posiada łącznie kilkaset wzorców masy w klasach od E_1 do F_2 i różnych nominałach od 1 mg do 1 tony.



Przykładowe wzorce masy

Komory klimatyczne używane do badania wpływu temperatury i wilgotności na działanie wag nieautomatycznych, wag automatycznych oraz mierników wag tensometrycznych. Przy pomocy komór wykonywane są badania błędów wskazań wag i mierników wag w zakresie temperatur stosowania, najczęściej jest to zakres od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Drugim badaniem jest wyznaczenie błędów wskazań w wilgotnej atmosferze, tzn. przy wilgotności 85 % oraz przy maksymalnej temperaturze stosowania, czyli jest to badanie w atmosferze wilgotnego gorąca.

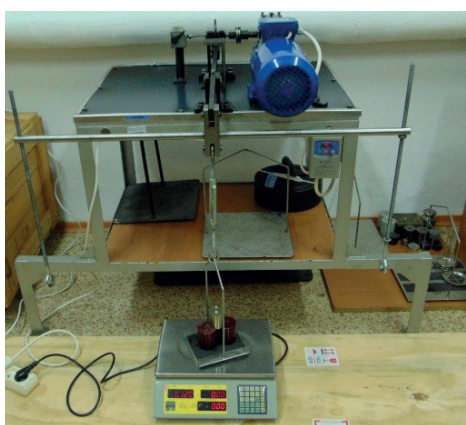


Komora HC 4057



Komora klimatyczna HTZ 3012

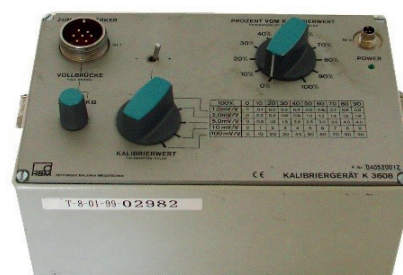
Przyrząd do badania odporności wag i mierników wag na działanie pola elektrostatycznego w zakresie do 8 kV



Przyrząd do badań trwałości wag, który pozwala w sposób automatyczny wykonać 100 000 obciążeń. Badanie to jest wykonywane w ramach oceny zgodności wag.

Symulator obciążenia używany jest podczas badania miernika wagowego. Symuluje on zachowanie przetwornika tensometrycznego. Symulator wykorzystuje się również podczas badań mierników wag nieautomatycznych i automatycznych: porcjujących, dla pojedynczych ładunków i wagonowych podczas badań modułowych tych wag.

Badanie modułowe jest badaniem dwustopniowym dopuszczonym dla wag o dużych gabarytach, drugim stopniem są uzupełniające badania kompletnej wagi.



Dziedzina gęstości zboża

Przyrząd do pomiaru gęstości zboża w stanie zsypanym wyrażony w kg/hL (stosunek masy zboża wypełniającego pojemnik pomiarowy, wyrażonej w kg, do pojemności tego pojemnika, wynoszącej 1 hL). Państwowy wzorcowy gęstościomierz zbożowy 20 L oznaczony numerem 111 składa się z następujących części: pojemnika pomiarowego o pojemności 20 L, urządzenia do napełniania, naczynia do nasypywania zboża o pojemności 24 L, urządzenia odcinającego, wagi nieautomatycznej o obciążeniu maksymalnym 60 kg, podstawy mocującej pojemnik pomiarowy wraz ze specjalną obudową.



Państwowy wzorcowy gęstościomierz zbożowy 20 L oznaczony numerem 111



Gęstościomierze zbożowe wzorcowe 1 L oraz 1/4 L

Dziedzina ciśnienie

Ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy wraz z panelem sterowniczym i próżniomierzem wykorzystywany jest do wzorcowania przyrządów, w których medium manometrycznym jest gaz. Jego konstrukcja pozwala na wymienne stosowanie różnych zespołów pomiarowych, w zależności od potrzebnego zakresu pomiarowego. W posiadaniu laboratorium znajdują się trzy zespoły: TL-1293 o zakresie (3,5–170) kPa, C605 o zakresie (0,012–0,7) MPa oraz V-1278 o zakresie (0,1–7) MPa. Model ten został również wyposażony w napęd elektryczny. Pulpit sterowniczy wchodzący w skład stanowiska pozwala na precyzyjne ustawienie podawanego ciśnienia



Ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy wraz z panelem sterowniczym i próżniomierzem

do wzorca i do ciśnieniomierza wzorcowanego. Do dokładnego obliczenia wytwarzanego ciśnienia służy autoprompter – specjalny konwerter, który uwzględnia masy nałożonych obciążników, dokładki, medium, warunki środowiskowe i temperaturę zespołu pomiarowego. Ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy służy do pomiarów ciśnienia względnego jak i bezwzględnego. W związku z tym w skład stanowiska pomiarowego wchodzi również: próżniomierz model EVT-6B, seria 121 oraz dwie pompy próżniowe. Jedna z nich służy do uzyskania w układzie pomiarowym mierzonego ciśnienia absolutnego niższego niż ciśnienie atmosferyczne, druga zaś do wypompowania gazu spod klosza, co pozwala uzyskać ciśnienie odniesienia bliskie zeru bezwzględnemu.

Ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy model 5404G służy do przekazywania ciśnienia przy pomocy płynu manometrycznego – oleju. Dwa zespoły pomiarowe mogą być wymiennie instalowane na podstawie, w zależności od wymaganego zakresu pomiarowego: zespół nr 9245 dla zakresu (0,2–10) MPa, zaś zespół nr 6664 dla zakresu (4–100) MPa. Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala na wykorzystanie jednego zestawu obciążników do wytwarzania dwóch zakresów ciśnienia. Napęd mechaniczny sprawia, że ruch obrotowy obciążników jest bardzo stabilny, natomiast precyzyjna igła w okienku odczytowym pozwala na dokładne określenie zmian położenia tłoka, co jest istotne zwłaszcza przy wzorcowaniu ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych. Zestaw obciążników wykorzystywanych przy pracy na tym ciśnieniomierzu wykonany został ze stali kwasoodpornej, co gwarantuje wysoką obojętność materiału na warunki środowiskowe. Obciążniki są wzorcowane w Pracowni Wąg i Wzorców Masy.



Ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy

Ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy typ CPB6000 posiada jeden zespół pomiarowy o zakresie (5–250) MPa, w którym czynnikiem przekazującym ciśnienie jest olej. Ciśnieniomierz składa się z podstawy, zespołu pomiarowego nr 13088 oraz z kompletu obciążników ze stali kwasoodpornej.

Dziedzina siły i momentu siły

Przyrządy do pomiaru siły to siłomierze, zwane także czujnikami siły bądź przetwornikami siły. Są to specjalnie zaprojektowane konstrukcje metalowe, które pod wpływem działania siły odkształcają się. Pomiar tego odkształcenia przeprowadza się m.in. mechanicznie, elektrycznie lub optycznie za pomocą urządzenia wskazującego, które może być analogowe (np. czujnik zegarowy w siłomierzach pałkowych) lub cyfrowe (np. miernik rejestrujący sygnał z tensometrycznego przetwornika siły). Po zbadaniu zależności odkształcenia od działającej siły można za pomocą odpowiednich wzorów przeliczyć wskazanie przyrządu na jednostki siły. Ze względu na charakter zastosowania oraz swoją budowę, siłomierze mają różne udźwigi (do 100 kN lub do 500 N) i wymiary (np. siłomierze do pomiaru sił rozciągających o udźwigu 10 MN mogą mieć długość nawet

2 m i ważyć pół tony, podczas gdy wagowe przetworniki siły mają przeważnie rozmiary rzędu kilku centymetrów). Lepsza rozdzielczość, ułatwione wykonywanie pomiarów, doskonalsze konstrukcje i parametry przetworników siły powodują, że stopniowo wypierają one z użytkowania siłomierze pałkowe i im podobne.

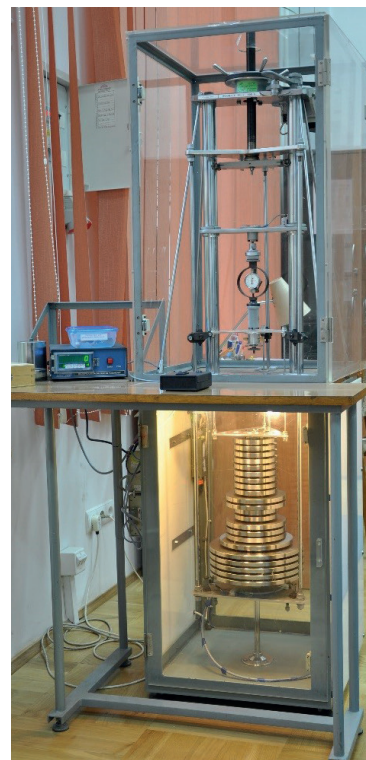
Siłomierze pałkowe i pierścieniowe:
 nr 1 siłomierz pałkowy dla sił rozciągających
 o udźwigu 200 kN,
 nr 2 siłomierz pierścieniowy dla sił ściskających
 o udźwigu 200 N,
 nr 3–5 siłomierze pałkowe dla sił ściskających
 o udźwigach odpowiednio 600 kN, 10 kN i 400 kN

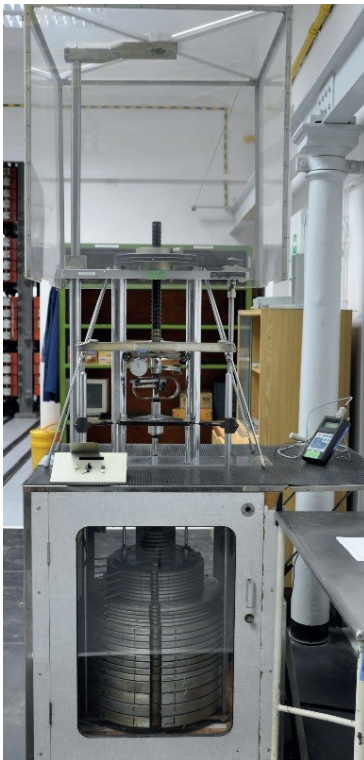


Tensometryczne przetworniki siły:
 nr 1 i 4 przetworniki dla sił ściskających lub
 rozciągających o udźwigach odpowiednio 10 kN
 i 50 kN,
 nr 2 przetwornik dla sił rozciągających o udźwigu
 1 MN,
 nr 3 przetwornik dla sił ściskających o udźwigu 3,5 MN

Stanowisko wzorcowe siły do 500 N (po prawej) jest pierwotnym wzorcem odniesienia.

Głównym elementem stanowiska wzorcowego siły do 500 N (WS-500 N) Nr S01 jest maszyna obciążnikowa z zespołem 23 obciążników, realizujących siły ściskające i rozciągające o wartościach: 10 N, 20 N, 30 N, 40 N, 50 N, 60 N, 70 N, 80 N, 90 N, 100 N, 120 N, 140 N, 150 N, 160 N, 180 N, 200 N, 220 N, 250 N, 300 N, 350 N, 400 N, 450 N, 500 N, z niepewnością rozszerzona względną $6 \cdot 10^{-5}$. Obciążniki te zostały odniesione do państwowego wzorca jednostki miary masy. Maszyna o konstrukcji nośnej pionowej została wykonana w 1980 roku przez Politechnikę Warszawską, Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa.





Stanowisko wzorcowe siły do 5 kN (po lewej) jest pierwotnym wzorcem odniesienia.

Głównym elementem stanowiska wzorcowego siły do 5 kN (WS-5 kN) nr S02 jest maszyna obciążnikowa z zespołem 31 obciążników, realizujących siły ściskające i rozciągające o wartościach: 100 N, 150 N, 200 N, 250 N, 300 N, 350 N, 400 N, 450 N, 500 N, 600 N, 700 N, 800 N, 900 N, 1000 N, 1250 N, 1500 N, 1750 N, 2000 N, 2250 N, 2500 N, 2750 N, 3000 N, 3500 N, 4000 N, 4500 N, 5000 N z niepewnością rozszerzoną względną $6 \cdot 10^{-5}$. Obciążniki te zostały odniesione do państwowego wzorca jednostki miary masy. Maszyna o konstrukcji nośnej pionowej została wykonana w 1977 roku przez Politechnikę Warszawską, Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa.

Stanowisko wzorcowe siły do 55 kN jest pierwotnym wzorcem odniesienia.

Głównym elementem stanowiska wzorcowego siły do 55 kN (WS-55 kN) nr S03 jest maszyna obciążnikowa z zespołem 55 obciążników, realizujących siły ściskające i rozciągające o wartościach: 1 kN, 2 kN, 3 kN, 4 kN, 5 kN, 6 kN, 7 kN, 8 kN, 9 kN, 10 kN, 12 kN, 15 kN, 18 kN, 20 kN, 21 kN, 24 kN, 25 kN, 27 kN, 30 kN, 35 kN, 40 kN, 45 kN, 50 kN, 55 kN z niepewnością rozszerzoną względną 10^{-4} . Obciążniki te zostały odniesione do państwowego wzorca jednostki miary masy. Maszyna o konstrukcji nośnej pionowej, dwukondygnacyjnej została wykonana w 1966 roku przez Politechnikę Warszawską, Zakład Miernictwa Wielkości Dynamicznych przy Katedrze Teorii Maszyn i Mechanizmów, modernizowana w latach 1979–1982 oraz 2002–2003.





Stanowisko wzorcowe siły do 500 kN (po lewej) jest pierwotnym wzorcem odniesienia.

Głównym elementem stanowiska wzorcowego siły do 500 kN (WS-500 kN) nr S04 jest maszyna obciążnikowa z zespołem 34 obciążników, realizujących siły ściskające i rozciągające o wartościach: (10–500) kN, co 10 kN z niepewnością rozszerzoną względną $6 \cdot 10^{-5}$. Obciążniki te zostały odniesione do państwowego wzorca jednostki miary masy. Maszyna o konstrukcji nośnej pionowej, dwukondygnacyjnej została wykonana w 1950 roku w Wlk. Brytanii; następnie dwukrotnie zmodernizowana przez Politechnikę Warszawską, Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa.

Obciążenie żeliwne o masie ponad 50 ton do stanowiska wzorcowego siły do 500 kN



Obciążenie żeliwne o masie ponad 50 ton do stanowiska wzorcowego siły do 500 kN

Stanowisko wzorcowe siły do 3000 kN (po prawej) jest wtórnym wzorcem odniesienia.

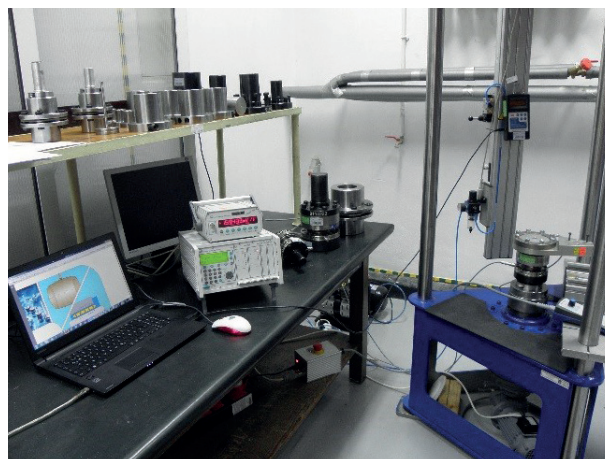
Głównym elementem stanowiska wzorcowego siły do 3000 kN (WS-3000 kN) nr S05 jest maszyna hydrauliczna z układem trzech przetworników siły o udźwigu 1000 kN każdy. Przetworniki te wzorcowane są w zagranicznym instytucie metrologicznym i odniesione do tamtejszego wzorca jednostki miary siły. Na tym stanowisku można realizować dowolne siły ściskające i rozciągające z zakresu (100–3000) kN z niepewnością rozszerzoną względną $5 \cdot 10^{-4}$. Maszyna została wykonana w 1970 roku w Niemczech, a następnie dwukrotnie zmodernizowana w 1980 oraz 2006 roku.



Stanowisko wzorcowe momentu siły do 5 kN·m

Stanowisko stanowi maszyna TCM 5000 N·m / TWCM 3000 Nm (Torque Calibration Machine / Torque Wrench Calibration Machine), wykonana w 2014 roku w Niemczech.

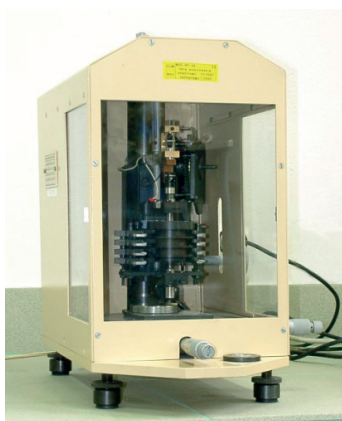
Układ odniesienia stanowiska, składa się z zestawu trzech przetworników odniesienia, wzmacniaczy pomiarowych oraz komputera ze specjalnym oprogramowaniem. Przetworniki odniesienia to precyzyjne tensometryczne przetworniki momentu siły TB2 typu kołnierzowego (flange type) z cylindrycznymi trzonami, wyposażone dodatkowo w płyty z wpustami kwadratowymi. Przetworniki te działają w zakresach pomiarowych: (10–200) N·m, (50–1000) N·m i (200–5000) N·m.



Dziedzina twardości

Wzorzec odniesienia twardości Rockwella

Stanowisko służy do wzorcowania wzorców twardości Rockwella I rzędu w zakresie skal A, B, C, D, E, F, G, H, K zgodnie z normą PN-EN ISO 6508-3. Układ pomiarowy stanowi interferometr laserowy na bazie lasera He-Ne. Zainstalowany program komputerowy umożliwia dodatkowo wizualizację przebiegu cyklu pomiarowego.



Wzorzec odniesienia twardości Vickersa

Układ obciążający stanowiska wzorcowego twardości Vickersa, wchodzący wraz z mikroskopem cyfrowym w skład wzorca odniesienia twardości Vickersa GUM. Przeznaczony jest do wzorcowania wzorców twardości w zakresie skal HV0,05; HV0,1; HV0,2; HV0,3 i HV0,5 zgodnie z normą PN-EN ISO 6507-3.

Układ obciążający stanowiska wzorcowego twardości Vickersa w zakresie skal od HV1 do HV10 oraz mikroskop wraz oprogramowaniem do pomiaru przekątnych odcisków Vickersa.



Stanowiska wzorca odniesienia twardości Brinella

Przyrząd przeznaczony jest do wykonywania odcisków przy wzorcowaniu wzorców twardości Brinella w zakresie skal HBW5/250; HBW10/500; HBW5/750; HBW10/1000; HBW10/1500; HBW10/3000 zgodnie z normą PN-EN ISO 6506-3. Do pomiarów średnic wykonanych odcisków służy mikroskop cyfrowy wraz z oprogramowaniem specjalistycznym. Istnieje możliwość pomiaru automatycznego i manualnego średnic odcisków Brinella w zakresie od 1 mm do 6 mm.



Stanowiska wzorca odniesienia twardości Brinella wraz z mikroskopem

Przyrząd przeznaczony jest do wzorcowania wzorców twardości Brinella w zakresie skal HBW1/10; HBW1/30; HBW2,5/31,25; HBW2,5/62,5; HBW2,5/187,5 zgodnie z normą PN-EN ISO 6506-3. Twardościomierz zintegrowany jest z mikroskopem pomiarowym, umożliwiającym pomiar średnic wykonanych odcisków w zakresie do 1,5 mm.



Warszawa, 2019