



Główny
Urząd
Miar

METROLOGIA I PROBIERNICTWO

ISSN 2300-8806

Biuletyn Głównego Urzędu Miar

vol. 28, nr 1/2022

Uogólniona metoda
najmniejszych kwadratów

Badanie mostków
termometrycznych przy
wykorzystaniu kalibratora RBC

Znowelizowane wydanie
zalecenia Międzynarodowej
Organizacji Metrologii Prawnej
OIML R 126:2021 dotyczące
dowodowych analizatorów
wydechu

Ultradźwięki w zastosowaniach
medycznych – nowe możliwości
pomiarowe Zakładu Mechaniki
i Akustyki

Szkolenie dotyczące
niepewności pomiaru
w Europejskiej Sieci
Metrologicznej MATHMET

100 lat Okręgowego Urzędu
Miar w Poznaniu



gum.gov.pl

Spis treści

Wydarzenia	3
Uogólniona metoda najmniejszych kwadratów Jacek Puchalski	9
Badanie mostków termometrycznych przy wykorzystaniu kalibratora RBC Katarzyna Kur, Emil Burcon, Marek Kozicki, Aleksandra Kowal, Justyna Dobosz, Henryk Manuszkiewicz	17
Znowelizowane wydanie zalecenia Międzynarodowej Organizacji Metrologii Prawnej OIML R 126:2021 dotyczące dowodowych analizatorów wydechu Piotr Janko	21
Ultradźwięki w zastosowaniach medycznych – nowe możliwości pomiarowe Zakładu Mechaniki i Akustyki Danuta Dobrowolska, Katarzyna Falińska	37
Szkolenie dotyczące niepewności pomiaru w Europejskiej Sieci Metrologicznej MATHMET Paweł Fotowicz, Jacek Puchalski	43
100 lat Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu Agnieszka Kałek-Skraburska	49

Wydawca: Główny Urząd Miar
ul. Elektoralna 2, 00-139 Warszawa, tel. 22 581 95 18, 22 581 95 31, fax: 22 581 90 91.

Redakcja: dr inż. Paweł Fotowicz (red. naczelny), Adam Żeberkiewicz (sekretarz red.).

Skład: Piotr Ozga

Wszystkie prawa zastrzeżone.

Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów i zmian tytułów zgłaszanych do publikacji artykułów.

Pytania i uwagi do redakcji: biuletyn@gum.gov.pl

Wydarzenia

19.01.2022 ROBOCZE SPOTKANIE DOTYCZĄCE UTWORZENIA NARODOWEGO CENTRUM SZTUCZNEJ INTELIGENCJI I CYBERBEZPIECZEŃSTWA Z UDZIAŁEM MINISTRA EDUKACJI I NAUKI

Koncepcję Narodowego Centrum (Sieci) Sztucznej Inteligencji i Cyberbezpieczeństwa przedstawił wczoraj, podczas roboczego spotkania w Ministerstwie Edukacji i Nauki, prof. dr hab. inż. Teofil Jesionowski, Rektor Politechniki Poznańskiej. Działalność planowanego centrum to dla polskich ośrodków akademickich i instytucji publicznych szansa na podniesienie konkurencyjności na arenie międzynarodowej oraz na rozwój i wykorzystanie sztucznej inteligencji w takich dziedzinach jak medycyna, inżynieria, analityka ekonomiczna, przemysł, handel, usługi i metrologia.

W spotkaniu wzięli udział m.in. Minister Edukacji i Nauki Przemysław Czarnek, Prezes GUM prof. Jacek Semaniak i Pełnomocnik Prezesa GUM ds. badań i rozwoju Andrzej Kurkiewicz.

3.02.2022 ROZPOCZĘCIE WSPÓŁPRACY GUM Z NARODOWĄ AGENCJĄ WYMIANY AKADEMICKIEJ (NAWA)

Podpisana przez Prezesa GUM prof. dr hab. Jacka Semaniaka i Dyrektora NAWA dr Grażynę Żebrowską umowa ma na celu współpracę przy tworzeniu wspólnych instrumentów finansowania i innych mechanizmów wspierających ciągłość i spójność realizowanych – przez obie instytucje niezależnie – działań. Dzięki współpracy pomiędzy instytucjami możliwe będzie efektywne wspieranie umiędzynarodowienia naszych projektów oraz wspólna promocja nauki, innowacji oraz polskich jednostek systemu nauki i szkolnictwa wyższego zorientowanych na kwestie związane z metrologią.

8.02.2022 POWOŁANIA DLA CZŁONKÓW ZESPOŁU DO SPRAW PROGRAMU „POLSKA METROLOGIA”

Wiceminister Edukacji i Nauki Włodzimierz Bernacki wręczył powołania członkom zespołu do spraw programu „Polska Metrologia”. Do zadań zespołu będzie należała m.in. ocena merytoryczna wniosków złożonych w ramach programu.

Powołania otrzymali:

Przewodniczący Zespołu – dr Andrzej Kurkiewicz, Uniwersytet Jagielloński, nauki humanistyczne,

pozostali członkowie:

- prof. dr hab. Ewa Joanna Bulska, Uniwersytet Warszawski, nauki chemiczne,
- dr hab. inż. Jerzy Józwik, Politechnika Lubelska, nauki techniczne,
- dr hab. inż., prof. PB Wojciech Walendziuk, Politechnika Białostocka, nauki techniczne,
- prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski, Politechnika Poznańska, nauki techniczne,
- prof. dr hab. inż. Paweł Pawlus, Politechnika Rzeszowska, nauki techniczne,
- dr hab. prof. UP Wojciech Bąk, Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, nauki techniczne,
- prof. dr hab. Grzegorz Królczyk, Politechnika Opolska, nauki techniczne.

22.03.2022 PIERWSZE POSIEDZENIE RADY KOORDYNACYJNEJ DS. GOSPODARKI WODOROWEJ

Prezes GUM prof. Jacek Semaniak wzięł udział w pierwszym posiedzeniu Rady Koordynacyjnej ds. Gospodarki Wodorowej. Do zadań Rady Koordynacyjnej należy w szczególności:

1. zarządzanie, koordynacja i monitorowanie działań wynikających z Porozumienia,
2. powołanie grup roboczych zapewniających współpracę Stron w zakresie celów strategicznych,
3. przygotowywanie corocznych sprawozdań w zakresie wykonania postanowień Porozumienia.

Przypominamy, że przedstawiciele administracji rządowej, środowiska przedsiębiorców, nauki oraz jednostek otoczenia biznesu podpisali w dniu 14 października 2021 r. w Warszawie „Porozumienie sektorowe na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce”, a GUM jest jednym z sygnatariuszy Porozumienia.

25.03.2022 JEDENASTE POSIEDZENIE RADY METROLOGII

W siedzibie Głównego Urzędu Miar odbyło się 11. posiedzenie Rady Metrologii, działającej przy Prezesie GUM. Głównym przedmiotem obrad było zaopiniowanie przez Członków Rady Metrologii projektów dokumentów: „Sprawozdania z realizacji planu działania Głównego Urzędu Miar na 2021 rok” oraz „Planu działania Głównego Urzędu Miar na rok 2022”. Podczas spotkania omówione zostały również zmiany organizacyjne w związku ze zmianą statutu GUM oraz etapy realizacji programu Polska Metrologia. Spotkanie odbyło się w formule hybrydowej.

1.04.2022 URUCHOMIENIE SYSTEMU „ŚWITEŻ”

Pierwszego kwietnia system został uruchomiony w całej administracji miar w Polsce, czyli w 10 okręgowych urzędach miar oraz w 50 wydziałach zamiejscowych. Zapowiedziano również jego uruchomienie w Głównym Urzędzie Miar, na późniejszym etapie.

„ŚWITEŻ” umożliwia klientom GUM zlecenie usług z dowolnego miejsca i w dowolnym czasie, nawet przy użyciu smartfonu. Proces w całości odbywa się cyfrowo – od wyboru miejsca, czasu, jakości i kosztów zlecanej usługi, aż po dokonanie płatności. System łączy w sobie funkcjonalności służące pracownikom i klientom zewnętrznym, m.in. możliwość złożenia wniosku, wymiany korespondencji, dokonywania płatności czy monitorowania ważnych terminów. Wiele spraw, dotąd załatwianych w urzędzie i jego biurach terenowych, będzie można sfinalizować bez wychodzenia z domu.

Platforma jest dostępna pod adresem: www.switez.gum.gov.pl

4-6.04.2022 JUBILEUSZOWE XXX TARGI PRZEMYSŁOWEJ TECHNIKI POMIAROWEJ CONTROL-STOM

Targi, podczas których swoją ofertę zaprezentowało prawie 400 wystawców z całego świata, w tym Główny Urząd Miar, są jednym z najważniejszych wydarzeń przemysłu pomiarowego w Europie Środkowo-Wschodniej.

6 kwietnia 2022 r., podczas targów, w pierwszej części Kongresu „Metrologia - szansa i wyzwanie przyszłości”, 32 podmioty podpisały deklarację o współpracy w celu utworzenia Klastra Metrologicznego, który jest dedykowany głównie potrzebom przedsiębiorców. Chodzi o działanie na rzecz szeroko pojętej innowacyjności, tworzenie nowoczesnych rozwiązań w sektorze metrologii dla polskiego przemysłu i wyznaczanie nowych trendów metrologicznych, które będą służyły polskiej gospodarce.

Na uroczystość podpisania Deklaracji w sprawie utworzenia Klastra Metrologicznego licznie przybyli przedsiębiorcy, przedstawiciele organizacji biznesowych, uczelni wyższych, instytucji naukowych, a także Rządu RP i władz samorządowych.

Więcej informacji na temat Klastra znajduje się na stronie internetowej GUM:
<https://www.gum.gov.pl/pl/aktualnosci/5067,Startuje-Klaster-Metrologiczny.html>

29.04.2022 WIZYTA DELEGACJI KRAJOWEGO INSTYTUTU METROLOGICZNEGO (INM) z MOŁDAWII w GUM

Delegację z Mołdawii stanowili Alexei Pianih – szef Krajowego Instytutu Metrologicznego (INM) oraz Natalia Covalciuc – przedstawicielka mołdawskiego banku, zaangażowana w system pomocy uchodźcom. Podczas spotkania omówiono szereg tematów, dotyczących między innymi prawnej kontroli metrologicznej, obecnych i przyszłych prac metrologicznych GUM, związanych ze sztuczną inteligencją oraz intensyfikacją wzajemnych wizyt studyjnych i szkoleń w ramach naszych instytucji. Przedstawiciele delegacji zapoznali się z krótką prezentacją, dotyczącą struktury polskiej administracji miar, zadań Urzędu, utrzymywania państwowych wzorców jednostek miar oraz budowanego Kampusu Laboratoryjnego GUM.

GUM reprezentowali: Rafał Kępka, Wiceprezes GUM, dr Andrzej Kurkiewicz, Pełnomocnik Prezesa GUM ds. badań i rozwoju oraz dr Marcin Mikiel – Naczelnik Wydziału Współpracy Międzynarodowej DWM.

14.05.2022 Noc Muzeów w GUM

W nocy z 14 na 15 maja GUM otworzył swoje podwoje dla zwiedzających w ramach Nocy Muzeów. Na gości czekała moc atrakcji. Przy wejściu odwiedzający mogli obejrzeć plansze z archiwalnymi zdjęciami i dokumentami przedstawiającymi historię, wpisanej do rejestru zabytków, siedziby GUM. Udostępnione zostały też laboratoria przepływów, temperatury, czasu i częstotliwości oraz długości. W holu głównym i na pierwszym piętrze dyżurowali nasi eksperci gotowi odpowiedzieć na wszystkie pytania z zakresu probierstwa, czasu, masy, fotometrii i bezpieczeństwa transportu drogowego.

11-13.05.2022 TRZECIE SPOTKANIE KOMITETU WELMEC E.V.

Z udziałem przedstawiciela GUM odbyło się trzecie spotkanie Komitetu WELMEC e.V. (Europejskiej Współpracy w Dziedzinie Metrologii Prawnej). Podczas obrad omówiono szereg spraw z zakresu funkcjonowania organizacji, dotyczących zarówno kwestii ściśle metrologicznych, jak i z zakresu finansów, przywództwa WELMEC oraz szeroko pojętych kwestii administracyjnych. W trakcie posiedzenia wybrano na kolejną kadencję dotychczasowego przewodniczącego, przedstawiciela Czech, p. Pavla Klenovskiego, a także przyjęto uchwałę potępiającą agresję Rosji i Białorusi na Ukrainę oraz zawieszającą współpracę z instytucjami metrologicznymi z tych krajów.

20.05.2022 ŚWIATOWY DZIEŃ METROLOGII

Tematem tegorocznych obchodów była „Metrologia w erze cyfrowej”. Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych rewolucjonizuje obecnie nasze życie i jest jednym z najbardziej ekscytujących trendów we współczesnym społeczeństwie.

Więcej informacji: www.worldmetrologyday.com

23.05.2022 JUBILEUSZ 100-LECIA UTWORZENIA URZĘDU MIAR w BIAŁYMSTOKU

W gmachu Politechniki Białostockiej, w obecności przedstawicieli administracji rządowej i samorządu województwa, pracownicy Okręgowego Urzędu Miar w Białymstoku otrzymali złote i srebrne medale za długoletnią służbę, honorową odznakę województwa podlaskiego, awanse i pamiątkowe gawertony. W ramach zaplanowanych obchodów 100-lecia utworzenia Urzędu Miar w Białymstoku uroczystego odsłonięcia tablicy pamiątkowej w hołdzie wszystkim białostockim metrologom dokonał Prezes GUM prof. Jacek Semaniak.

Rozstrzygnięto również I edycję Konkursu Wiedzy o Metrologii "METROLIGA", skierowanego do uczniów podlaskich szkół średnich, którego organizatorami byli Okręgowy Urząd Miar w Białymstoku i Politechnika Białostocka. Laureatom konkursu gratulacje przekazali

między innymi Prezes GUM oraz Dyrektor Okręgowego Urzędu Miar w Białymstoku. Nagrody wręczył Prorektor ds. Rozwoju Politechniki Białostockiej.

Więcej informacji można znaleźć na stronie internetowej: bialystok.gum.gov.pl.

27.05.2022 NOWELIZACJA USTAWY PRAWO O MIARACH PODPISANA PRZEZ PREZYDENTA RP

Prezydent Rzeczypospolitej Polskiej Andrzej Duda podpisał ustawę z dnia 12 maja 2022 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz niektórych innych ustaw, w tym ustawy z dnia 11 maja 2001 r. – Prawo o miarach, na mocy której podstawowe zadania Prezesa Głównego Urzędu Miar zostały rozszerzone o prowadzenie badań naukowych i prac rozwojowych.

Prezes GUM będzie mógł występować jako wnioskodawca, również w konsorcjum z innymi podmiotami, w konkursach na realizację projektów badawczych ogłaszanych przez Narodowe Centrum Nauki i Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Ustawa weszła w życie 9 czerwca 2022 roku.

3.06.2022 PODPISANIE POROZUMIENIA GUM z CWOM

Prof. Jacek Semaniak, Prezes GUM oraz płk Tomasz Litwinko, Dyrektor Centralnego Wojskowego Ośrodka Metrologii (CWOM) podpisali porozumienie o współpracy w zakresie realizacji usług: wzorcowania przyrządów pomiarowych, porównań międzylaboratoryjnych, usług szkoleniowych personelu CWOM, konsultacji technicznych.

30.05-2.06.2022 POSIEDZENIE ZGROMADZENIA OGÓLNEGO EURAMET

W Wiedniu odbyło się 16. Zgromadzenie Ogólne EURAMET, połączone z posiedzeniami Komitetu EMPIR i Komitetu Partnerstwa w Dziedzinie Metrologii.

Podczas spotkania omówiono szereg istotnych kwestii, dotyczących działań ściśle merytorycznych, jak zatwierdzenie nowych Europejskich Sieci Metrologicznych (Food Safety oraz Pollution Monitoring), kwestii administracyjnych, finansowych i personalnych. Na wiceprzewodniczącą EURAMET wybrano przedstawicielkę Belgii, p. Mirunę Dobrę, na członków Rady Dyrektorów wybrano przedstawicieli Szwajcarii, Wielkiej Brytanii, Estonii i Norwegii. Dokonano także wyboru przedstawiciela Wewnętrznego Komitetu Audytu oraz przewodniczącego Komitetu Promieniowania Jonizującego.

13.06.2022 ZAKOŃCZYŁA SIĘ PIERWSZA KADENCJA RADY METROLOGII

Podczas ostatniego Posiedzenia, w dniu 13 czerwca 2022 r. w Kielcach, Przewodnicząca Rady prof. Ewa Bulska z Uniwersytetu Warszawskiego w krótkim wystąpieniu podsumowała pięcioletnią działalność Rady, jednocześnie dziękując jej członkom za aktywne uczestnictwo w posiedzeniach i za zaangażowanie w opiniowanie działalności merytorycznej administracji miar, a Kierownictwu i pracownikom GUM za owocną współpracę, organizację posiedzeń i przygotowywanie merytorycznych materiałów. Prezes GUM prof. Jacek Semaniak przekazał podziękowania Przewodniczącej i członkom Rady za ich pracę oraz wkład w określanie kierunków rozwoju krajowej metrologii. Wyraził przekonanie, że wypracowane podczas trwania kadencji wysokie standardy działań trwale wpłynęły na rozwój polskiej administracji miar oraz, że z doświadczeń i dorobku Rady będą czerpać w przyszłości inspirację nie tylko jej następcy, ale cała służba miar.

Łącznie w Radzie Metrologii zasiada 16 osób reprezentujących struktury państwowe, przemysł i naukę. Podczas 12 posiedzeń Rada podjęła uchwały dotyczące m.in. zaopiniowania czteroletnich strategicznych planów działania Głównego Urzędu Miar na lata 2022–2025 i 2018–2021 oraz planów i sprawozdań rocznych, dotyczących działalności urzędu w latach 2018–2021.

21-22.06.2022 SPOTKANIE MIĘDZYLABORYJNEJ GRUPY DS. PORÓWNAŃ KRAJOWYCH ATOMOWYCH WZORCÓW CZASU I CZĘSTOTLIWOŚCI

Główny Urząd Miar był gospodarzem cyklicznego 37. Spotkania Międzylaboratoryjnej Grupy ds. Porównań Krajowych Atomowych Wzorców Czasu i Częstotliwości.

Spotkanie stanowiło dobrą okazję do omówienia roli nowopowstającego Świętokrzyskiego Kampusu Laboratoryjnego GUM w Kielcach w rozwoju badań z obszaru czasu i częstotliwości. Prezes GUM prof. Jacek Semaniak podkreślił, że nowo budowane laboratoria GUM, wraz z planowanym doposażeniem w optyczny wzorzec częstotliwości (docelowo) i fontannę cezową, stworzą lepsze warunki do rozwoju technologii pomiarowych i współpracy z nauką oraz przemysłem w dziedzinie metrologii czasu i częstotliwości.

Na Spotkaniu przedstawiono m.in. najnowsze prace Komitetu Konsultacyjnego Czasu i Częstotliwości (CCTF) w zakresie przygotowywanej redefinicji sekundy w układzie SI oraz rewizji definicji międzynarodowego Uniwersalnego Czasu Koordynowanego (czasu UTC), prace ośrodków krajowych związane z zegarami optycznymi i charakterystyką fontann cezowych, światłowodowym transferem czasu i częstotliwości, synchronizacją sieci telekomunikacyjnej i sieci energetycznych, rozwojem produktów synchronizacji czasu i precyzyjnych pomiarów czasu oraz realizowanymi projektami i prowadzoną działalnością w tym obszarze.

Pełną relację ze spotkania można znaleźć na stronie internetowej GUM.

21.06.2022 ROZSTRZYGNĘTO PIERWSZY KONKURS PROGRAMU „POLSKA METROLOGIA”

Ministerstwo Edukacji i Nauki ogłosiło wyniki pierwszego konkursu w ramach programu „Polska Metrologia”. Do konkursu zgłoszono 83 wnioski. Minister Edukacji i Nauki zakwalifikował do finansowania 26 projektów o łącznej wartości 21 229 839,60 zł.

Minister Edukacji i Nauki ustanowił program pod nazwą „Polska Metrologia” w listopadzie 2021 r. Pierwszy nabór wniosków trwał od 2 listopada 2021 r. do 23 grudnia 2021 r.

W ramach programu przewidziane jest wspieranie realizacji projektów służących podniesieniu poziomu zdolności badawczych instytucji metrologicznych, wzmocnieniu kapitału intelektualnego, zwiększeniu konkurencyjności polskiej gospodarki w strategicznych dla kraju obszarach, rozwojowi nowoczesnych technologii, stymulowaniu rozwoju metrologii, w szczególności w obszarach zdrowia, środowiska, energii oraz zaawansowanych technik pomiarowych, a także rozwoju technologii cyfrowych. Warunkami formalnymi konkursu są m.in. pozytywna opinia Prezesa GUM w zakresie celowości i użyteczności dla rozwoju metrologii krajowej i polskiej gospodarki oraz współpraca z Prezesem GUM przy wdrażaniu wyników badań naukowych lub prac rozwojowych.

Wyniki są dostępne na stronie internetowej Ministerstwa Edukacji i Nauki
<https://programy.nauka.gov.pl/wyniki/>

27.06.2022 ROZPOCZĄŁ DZIAŁALNOŚĆ KLASTER METROLOGICZNY

W Centrum Kongresowym Targów Kielce przedstawiciele 35 polskich przedsiębiorstw oraz organizacji i instytucji naukowo-badawczych podpisało umowy o współpracy w ramach Klastra Metrologicznego, rozpoczynając tym samym oficjalną działalność.

Wśród członków Klastra Metrologicznego znajdują się przedsiębiorstwa komercyjne, organizacje naukowo-badawcze, przedstawiciele środowisk akademickich oraz instytucje otoczenia sektora biznesowego. Umowę o współpracy w ramach Klastra podpisali między innymi Regionalne Centrum Naukowo-Technologiczne w Podzamczu Chęcińskim, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Politechnika Świętokrzyska, Wojskowa Akademia Techniczna, a także firmy Formaster Group, ITA, Oberon, Polska Grupa Zbrojeniowa, Smart Solutions oraz Staropolska Izba Przemysłowo-Handlowa w Kielcach oraz Świętokrzyski Związek Pracodawców Prywatnych Lewiatan.

Najważniejsze zadania Klastra to m.in. działanie na rzecz szeroko pojętej innowacyjności, tworzenie nowoczesnych rozwiązań w sektorze metrologii dla polskiego biznesu oraz opiniowanie planów rozwoju polskiej metrologii i wsparcie przemysłu i gospodarki w zakresie usług metrologicznych.

W uroczystości udział wzięli: prof. Jacek Semaniak – Prezes GUM, Piotr Ziółkowski – Dyrektor Generalny GUM, prof. dr hab. inż. Zbigniew Koruba – Rektor Politechniki Świętokrzyskiej, prof. dr hab. nauk med. Stanisław Głuszek – Rektor Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach oraz przedstawiciele firm i instytucji podpisujących umowy.

29.06.2022 WIZYTA PRZEDSTAWICIELI SŁOWACKICH INSTYTUCJI METROLOGICZNYCH

W siedzibie GUM odbyła się wizyta kierownictwa słowackich instytucji metrologicznych: Słowackiego Urzędu ds. Wzorców, Metrologii i Badań (ÚNMS SR), Słowackiego Instytutu Metrologicznego (SMU) oraz Słowackiego Urzędu ds. Metrologii Prawnej (SLM). Podczas spotkania poruszono szereg spraw dotyczących bieżącej oraz przyszłej współpracy pomiędzy instytucjami, włączając wspólny udział w przyszłych europejskich projektach badawczych. W trakcie dyskusji zaprezentowano strukturę GUM, omówiono zadania i główne obszary działalności urzędu. Przedstawiciele delegacji byli zainteresowani procesem certyfikacji GUM, zadaniami i specyfiką pracy laboratorium masy, jak również organizacją probiernictwa w Polsce.

6.07.2022 POROZUMIENIE O WSPÓŁPRACY POMIĘDZY GUM A POLSKĄ WYTWÓRNIĄ PAPIERÓW WARTOŚCIOWYCH S.A.

Umowę podpisali Prezes GUM prof. Jacek Semaniak oraz Członek Zarządu PWPW Pan Mariusz Kujawski.

Celem współpracy jest podniesienie skuteczności i efektywności działań ustawowych obydwu instytucji w obszarze tachografów. W ramach współpracy planowana jest:

- wymiana wiedzy oraz doświadczenia w obszarze tachografów stosowanych w transporcie drogowym,
- udostępnianie infrastruktury technicznej i badawczej,
- inicjowanie działań legislacyjnych wspierających zwiększenie bezpieczeństwa w transporcie drogowym.

Uogólniona metoda najmniejszych kwadratów

Generalized least squares method

Jacek Puchalski
Główny Urząd Miar

Artykuł przedstawia uogólnione podejście dla dobrze znanej metody najmniejszych kwadratów stosowanej w praktyce metrologicznej. Wyznaczone niepewności punktów pomiarowych i korelacje między mierzonymi zmiennymi tworzą symetryczną macierz kowariancji, której odwrotność mnożona jest lewostronnie i prawostronnie przez wektory błędów obu zmiennych losowych i stanowi funkcję kryterialną celu. Aby uzyskać maksymalną wartość funkcji największej wiarygodności i rozwiązać złożony problemu minimalizacji funkcji kryterialnej, zaprezentowano oryginalny sposób wyznaczenia funkcji kryterialnej do postaci jednoargumentowej zależności obliczanej numerycznie, w której jedyną zmienną jest poszukiwany współczynnik kierunkowy prostej regresji. Artykuł zawiera podstawowe informacje o tego typu regresji liniowej, dla której najlepiej dopasowana prosta minimalizuje funkcję celu. Na przykładzie obliczeniowym pokazana jest pełna procedura dopasowania numerycznego prostej do danego zestawu punktów pomiarowych o zadanych niepewnościach i współczynnikach korelacji tworzących macierz kowariancji.

The paper presents a generalized approach for the well-known least squares method used in metrological practice. In order to solve the complex problem of minimizing the objective function to obtain the maximum value of the likelihood function, the original way of determining this function in the form of a unary relationship calculated numerically was presented. The article presents borderline cases with analytical solutions. The computational example shows the full procedure of numerical adjustment of a straight line to a given set of measurement points with given uncertainties and correlation coefficients forming the covariance matrix.

Słowa kluczowe: metoda najmniejszych kwadratów, regresja liniowa, niepewność, macierz kowariancji
Keywords: least square method, linear regression, uncertainty, covariance matrix

Wprowadzenie

Metoda najmniejszych kwadratów to metoda dopasowania na ogół modelu liniowego do danych pomiarowych, znana już od początku XIX wieku, a jej prekursorami byli francuski matematyk Adrien Marie Legendre oraz niemiecki matematyk i astronom Carl Friedrich Gauss. Początkowo stosowano ją w geodezji i astronomii, a obecnie we wszystkich pomiarach fizycznych, które wymagają zastosowania szeroko pojętego modelu liniowego. W tych rozważaniach skoncentrujemy się wyłącznie na dopasowaniu liniowej charakterystyki, opisanej linią prostą w kartezjańskim układzie współrzędnych: $y = ax + b$, gdzie x jest zmienną niezależną, a jest współczynnikiem kierunkowym prostej oraz b jest wyrazem wolnym, co ma najczęściej miejsce w praktyce metrologicznej [1, 2], gdy dokonujemy pomiarów w wybranych punktach charakterystyki parametru fizycznego, np. rezystancji elementu oporowego w funkcji zmiennej niezależnej jaką jest np. temperatura otoczenia, którą regulujemy w określonym zakresie. A zatem jest to regresja prosta, tj. y względem x , gdzie x jest zmienną niezależną,

w której, stosując metodę najmniejszych kwadratów, wyznaczamy parametry prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych. Rezultatem tego dopasowania jest wyznaczenie wartości y w dowolnym punkcie charakterystyki z niepewnością rozszerzoną:

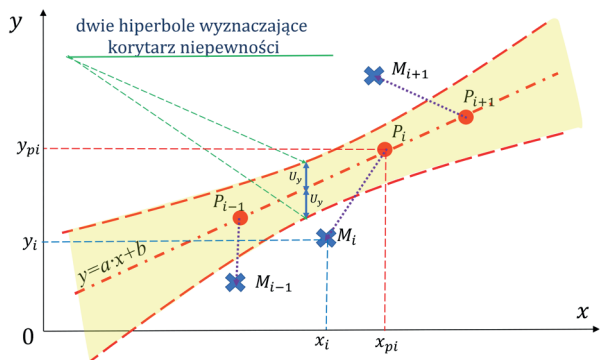
$$y = ax + b \pm U_y \quad (1)$$

Ze względu na fakt, że podczas wielokrotnych pomiarów współrzędne punktów są obciążone błędami powodującymi ich „rozmycie”, to oszacowane standardowe niepewności pomiarów obu zmiennych losowych reprezentowanych przez współrzędne x_i i y_i , z odpowiednimi niepewnościami $u(x_i)$ i $u(y_i)$, skutkują tym, że precyzyjnie wyznaczone parametry prostej też ulegają „rozmyciu” odzwierciedlone w standardowych niepewnościach u_a i u_b oraz, w ogólności, we współczynniku korelacji ρ_{ab} między zmiennymi losowymi a i b . Niepewność rozszerzona dla prostej regresji wyraża się poprzez sumę skorelowanych rozkładów dla parametrów prostej a (rozkład dla a jest mnożony przez określoną wartość x) i b mnożoną przez

współczynnik rozszerzenia wynikający z rozkładu t -Studenta dla prawdopodobieństwa $p = 0,95$ ($\alpha = 1 - p = 0,05$) i $n - 2$ stopniami swobody:

$$U_y = t_{1-\alpha/2, n-2} \sqrt{x^2 u_a^2 + 2\rho_{ab} x u_a u_b + u_b^2} \quad (2)$$

Nietrudno jest wykazać, że „korytarz” niepewności jest ograniczony dwoma hiperbolami, tak jak na rys. 1.



Rys. 1. Punkty pomiarowe i ich projekcje

Jak widać z powyższego każdemu punktowi pomiarowemu M_i o parze współrzędnych (x_i, y_i) odpowiada punkt P_i o parze współrzędnych (x_{pi}, y_{pi}) , który powstaje w wyniku rzutowania, pod odpowiednio dobranym kątem, punktu pomiarowego na prostą regresji $y_{pi} = ax_{pi} + b$, po to aby wyznaczyć błędy związane z jej dopasowaniem, tj. $\Delta x_i = x_i - x_{pi}$ oraz $\Delta y_i = y_i - y_{pi}$. W przyjętym modelu założymy również, w ogólności, że powstałe w ten sposób błędy są skorelowane i to nie tylko w obrębie jednej współrzędnej x czy też y , ale skorelowane są również między sobą błędy w obu współrzędnych. Zastosowana tu metoda o akronimie WTLS (Weighted Total Least Square) jest uogólnieniem metody WLS (Weighted Least Square), tzw. ważonej metody najmniejszych kwadratów, gdzie minimalizowana jest suma kwadratów błędów normalizowanych do kwadratów niepewności odpowiednio dla obu współrzędnych (wagi są równe odwrotności kwadratów niepewności). Metoda WTLS, w przeciwieństwie do WLS, wymaga zastosowania rachunku wektorowego z zakresu algebry liniowej i uwzględnienia macierzy kowariancji występujących tu korelacji, podczas gdy w metodzie WLS, gdzie nie uwzględnia się korelacji współrzędnych, macierz kowariancji redukuje się do wyrazów na przekątnej, wystarcza zastosowanie rachunku algebraicznego w postaci sum. Przy okazji należy wspomnieć, że najbardziej znaną metodą najmniejszych kwadratów jest szczególnie przypadek metody WLS o akronimie OLS (Ordinary Least Square), w której zakłada się, że wszystkie niepewności są identyczne (wagi są równe jeden), co prowadzi bezpośrednio do minimalizacji sumy kwadratów odległości od prostej regresji [1, 2].

Efektywna macierz kowariancji U_{yeff}

W tej części zostanie przedstawiony sposób zastąpienia macierzy kowariancji uwzględniającej losowy charakter obu współrzędnych kartezjańskich i ich korelację przez zastosowanie efektywnej macierzy kowariancji dla regresji prostej y względem zmiennej niezależnej x [3]. W tym celu utworzymy zmienną losową wektorową o rozmiarze $2n$ obejmującą wszystkie współrzędne punktów pomiarowych $Z = [X^T, Y^T]^T$, gdzie wektory współrzędnych punktów pomiarowych są określone przez $X = [x_1, \dots, x_i, \dots, x_n]^T$ i $Y = [y_1, \dots, y_i, \dots, y_n]^T$ są rozmiaru n oraz wartości współrzędnych na prostej regresji spełniają warunek $Y_p = aX_p + bQ = aX_p + b$, gdzie oznaczono jednostkowy wektor $Q = Q_{n \times 1} = [1, \dots, 1]^T$ rozmiaru n , które tworzą $2n$ -wymiarową wektorową wartość oczekiwaną $Z_p = [X_p^T, Y_p^T]^T$ wielowymiarowego rozkładu Gaussa, stanowiącego funkcję największej wiarygodności:

$$f(\Delta Z) = \frac{1}{(2\pi)^n \sqrt{\det(U_Z)}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \phi(\Delta Z)\right\} \quad (3)$$

gdzie funkcja kryterialna $\phi(\Delta Z) = \Delta Z^T U_Z^{-1} \Delta Z$, a wektor $\Delta Z = Z - Z_p$ jest łącznym wektorem błędów zawierającym błędy obu współrzędnych, zaś symetryczna macierz kowariancji U_Z o rozmiarze $2n \times 2n$ jest zdefiniowana następująco ($\det(U_Z) > 0$):

$$U_Z = \begin{bmatrix} u^2(z_1) & \dots & \rho_{1,2n} u(z_1) u(z_{2n}) \\ \dots & \cdot & \dots \\ \rho_{1,2n} u(z_{2n}) u(z_1) & \dots & u^2(z_{2n}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Oczywiście $u(z_i) = u(x_i)$ dla $0 \leq i \leq n$ oraz $u(z_i) = u(y_i)$ dla $n+1 \leq i \leq 2n$, a symbolem $-1 \leq \rho_{kl} \leq 1$ oznaczono współczynniki korelacji Pearsona korelujących zmiennych losowych z_k i z_l , $1 \leq k, l \leq 2n$. W postaci skonsolidowanej, uwzględniającej wydzielone bloki symetryczne, macierze: U_Z i jej odwrotność U_Z^{-1} mogą być zapisane:

$$U_Z = \begin{bmatrix} U_X & U_{XY} \\ U_{XY}^T & U_Y \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$U_Z^{-1} = \begin{bmatrix} V_1 & V_3 \\ V_3^T & V_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

W ogólności macierze $U_X, U_Y (V_1, V_2)$ o rozmiarze $n \times n$ są symetryczne – powinny być pozytywnie określone, natomiast korelacje krzyżowe zawarte w macierzy w U_{XY} mogą prowadzić do warunku $U_{XY} \neq U_{XY}^T$ (analogicznie $V_3 \neq V_3^T$), co oznacza, że te wyszczególnione wyżej bloki macierzowe nie zawsze są symetryczne.

Uzyskanie warunku maksymalizacji funkcji największej wiarygodności $f(\Delta Z)$, która jest wielowymiarowym rozkładem Gaussa prowadzi do minimalizacji wykładnika potęgi tej funkcji, tj. funkcji kryterialnej $\phi(\Delta Z) = \Delta Z^T U_Z^{-1} \Delta Z$ oraz zapisanego wektorami równania prostej regresji, spełniającej rolę wartości oczekiwanej:

$$\begin{cases} \phi(\Delta Z) \rightarrow \min \\ Y_p = aX_p + b \end{cases} \quad (7)$$

Po zastąpieniu drugiego z równań przez wprowadzenie wektorów błędów ΔX i ΔY , tj. $Y - Y_p - Y = aX - aX_p - b - aX$, a stąd $\Delta Y = a\Delta X + E$, gdzie oznaczono $E = Y - aX - b$ i po wstawieniu tej zależności do zależności na $\phi(\Delta Z)$, pamiętając że $\Delta Z = [\Delta X^T, \Delta Y^T]^T$, otrzymuje się następującą zależność:

$$\phi(\Delta X, a, b) = \Delta X^T V \Delta X + 2E^T (V_3^T + aV_2) \Delta X + E^T V_2 E \quad (8)$$

if symetryczna macierz V jest zdefiniowana $V = V_1 + a(V_3^T + V_3) + a^2 V_2$. Okazuje się, że dla nieskorelowanych wielkości, gdy macierz U_Z jest diagonalna, macierz V jest również diagonalna z elementami dodatnimi na przekątnej. W rezultacie funkcja kryterialna $\phi(\Delta X, a, b)$ jest sumą form kwadratowych i ta hiperparaboliczna zależność osiąga minimum w wierzchołku hiperparaboli, tj. we wszystkich punktach dla których poszczególne formy kwadratowe osiągają minima. Analogiczny dowód dla niediagonalnej macierzy V , którą diagonalizujemy, można odnaleźć w [3]. W rezultacie, jeśli macierz V jest pozytywnie określona, tzn. wszystkie wartości własne są dodatnie, to minimum znajdujące się w wierzchołku hiperparaboli występuje dla warunku zerowego n -wymiarowego gradientu

$\nabla \phi(\Delta X, a, b) = \mathbf{0}_{n \times 1}$, tj. dla $\Delta X^T = -E^T (V_3^T + aV_2) V^{-1}$. Spełniona jest zatem relacja:

$$\phi(\Delta X, a, b) \geq \phi(a, b) = E^T [V_3 - (V_3^T + aV_2) V^{-1} (V_3 + aV_2)] E \quad (9)$$

Funkcja kryterialna $\phi(a, b)$ może być zinterpretowana jako funkcja wyznaczona dla regresji prostej y względem x , przy czym występuje w niej efektywna odwrotna do macierzy kowariancji macierz symetryczna, zależna od współczynnika kierunkowego prostej regresji, określona jako:

$$U_{\text{eff}}^{-1} = V_2 - (V_3^T + aV_2) V^{-1} (V_3 + aV_2) \quad (10)$$

W szczególnym przypadku, gdy macierz V_3 jest symetryczna, tj. $V_3 = V_3^T$, wówczas $U_{\text{eff}}^{-1} = (V_1 V_2 - V_3 V_3) V^{-1}$ oraz gdy $V_3 = \mathbf{0}_{n \times n}$ (macierz zerowa o rozmiarze $n \times n$), wtedy $U_{\text{eff}}^{-1} = a^2 U_X + U_Y$. W rezultacie dla nieskorelowanych wielkości, kiedy macierze U_X i U_Y są diagonalne, U_{eff} posiada wyłącznie niezerowe wartości na przekątnej równe: $[U_{\text{eff}}]_{ii} = a^2 u^2(x_i) + u^2(y_i)$.

Konsekwencje wyboru punktów na prostej regresji

Minimalizacja związana z wyborem punktów na prostej, który minimalizuje funkcję kryterialną, prowadzi do liniowej zależności między błędami w kierunku OX $\Delta X = -V^{-1} (V_3 + aV_2) E$ i błędami w kierunku OY $\Delta Y = -V^{-1} (V_1 + aV_3^T) E$, poprzez macierz współczynników wagowych:

$$\beta = -(V_1 + aV_3^T) (V_3 + aV_2)^{-1} \quad (11)$$

lub

$$\beta^{-1} = -(V_1 + aV_3^T)^{-1} (V_3 + aV_2)$$

Wówczas prawdziwe są zależności: $\Delta Y = \beta \Delta X$ i $\Delta X = \beta^{-1} \Delta Y$.

Odpowiednio rozwiązanie dla regresji prostej y , względem zmiennej niezależnej x , otrzymujemy gdy $\beta^{-1} \rightarrow \mathbf{0}_{n \times n}$ ($U_X \rightarrow \mathbf{0}_{n \times n}$, np. zakładając bliskie zera wartości na przekątnej tej macierzy, co oznacza, że wartości odwrotne na przekątnej dążą do nieskończoności), natomiast rozwiązanie dla regresji odwrotnej x , względem zmiennej niezależnej y , otrzymujemy gdy $\beta^{-1} \rightarrow \mathbf{0}_{n \times n}$ ($U_Y \rightarrow \mathbf{0}_{n \times n}$, np. dotyczy to bliskich zera wartości na przekątnej tej macierzy, powodując że wartości odwrotne dążą do nieskończoności).

Należy zauważyć, że dla całkowicie nieskorelowanych danych macierz β zawiera wyłącznie wartości niezerowe na przekątnej, które wynoszą: $-a^{-1} u^2(y_i) u^{-2}(x_i)$ i stanowią współczynniki kierunkowe prostych przechodzących przez punkty pomiarowe i przecinających prostą regresji w punktach względem których obliczane są poszczególne błędy będące składowymi wektorów ΔX i ΔY .

Wzór na jednoargumentową funkcję kryterialną

Wprowadzając oznaczenia w postaci parametrów, tj. wielkości skalarnych otrzymanych przez obustronne mnożenie macierzy wektorami:

$$\begin{aligned} S &= Q^T U_{\text{eff}}^{-1} Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [u_{\text{eff}}^{-1}]_{ij} \\ S_X &= X^T U_{\text{eff}}^{-1} Q = Q^T U_{\text{eff}}^{-1} X \\ S_Y &= Y^T U_{\text{eff}}^{-1} Q = Q^T U_{\text{eff}}^{-1} Y \\ S_{XX} &= X^T U_{\text{eff}}^{-1} X \\ S_{YY} &= Y^T U_{\text{eff}}^{-1} Y \\ S_{XY} &= X^T U_{\text{eff}}^{-1} Y = Y^T U_{\text{eff}}^{-1} X \end{aligned} \quad (12a-f)$$

gdzie symbolem $[u_{\text{eff}}^{-1}]_{ij}$ oznaczono elementy macierzy U_{eff}^{-1} , możemy funkcję kryterialną przedstawić w postaci formy kwadratowej względem współczynnika kierunkowego i wyrazu wolnego prostej regresji:

$$\begin{aligned} \phi(a,b) &= a^2 S_{XX} + 2ab S_{XY} - 2a S_{XY} \\ &+ b^2 S - 2b S_Y + S_{YY} \end{aligned} \quad (13)$$

Przy założeniu, że parametr skalarny $S > 0$, zależność kwadratowa od b prowadzi do lokalnego minimum przy warunku:

$$\frac{\partial \phi(a,b)}{\partial b} = 0 \quad (14)$$

W związku z tym powyższy warunek prowadzi do zależności między a i b :

$$b = (S_Y - a S_X) / S \quad (15)$$

W rezultacie, po podstawieniu, otrzymujemy funkcję zależną od jednej zmiennej a , gdyż parametry z (12a-f) zależą, poprzez $\mathbf{U}_{\text{Yeff}}^{-1}$, wyłącznie od współczynnika kierunkowego prostej regresji:

$$\begin{aligned} \phi(a) &= a^2 (S_{XX} - S_X^2 / S) + 2a (S_X S_Y / S - S_{XY}) + \\ &+ S_{YY} - S_Y^2 / S \end{aligned} \quad (16)$$

która spełnia warunek:

$$\phi(\Delta \mathbf{X}, a, b) \geq \phi(a, b) \geq \phi(a) \quad (17)$$

W związku z powyższym, aby odnaleźć maksimum funkcji największej wiarygodności wystarczy odnaleźć minimum funkcji $\phi(a)$, co analitycznie jest możliwe, ale tylko w szczególnych przypadkach. W ogólności należy w zadanym przedziale przewidywanych wartości współczynnika kierunkowego znaleźć numerycznie wartości tej funkcji, generując serie punktów z krokiem np. Δa , a następnie wykreślić charakterystykę tej funkcji. Wykorzystać do tego można skoroszyt z arkuszami EXCEL, środowisko programistyczne MATLAB czy R albo inne dedykowane.

Algorytm numeryczny

Wyznaczenie charakterystyki $\phi(a)$, która to funkcja ma uwidocznic minimum dla poszukiwanego a , wymaga wyznaczenia jej wartości w zadanym przedziale zmienności $[a_L, a_H]$, np. przez zastosowanie inkrementacji od przyjętej dolnej wartości przedziału a_L z odpowiednio dobranym krokiem Δa : $a = a_L + i \Delta a$, gdzie liczba i kroków zawarta jest w przedziale: $0 \leq i \leq [(a_H - a_L) / \Delta a]$, aby osiągnąć górną wartość przedziału a_H , próbując cały zadany przedział. Z kolei korzystając z (15) możemy wyznaczyć analogiczną charakterystykę $\phi(b)$.

Końcowym efektem numerycznych obliczeń jest uzyskanie charakterystyk $\phi(a)$ i $\phi(b)$, z których odczytujemy wartości minimalizujące funkcję $\phi(\Delta \mathbf{X}, a, b)$, przez relację (17) w punktach a_N i b_N z błędami numerycznymi określonymi w [3].

Dodatkowo z prawa propagacji niepewności otrzymujemy zależność:

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_{ab} &= \mathbf{C} \mathbf{U}_Z \mathbf{C}^T \\ \text{i } \mathbf{U}_{ab} &= \begin{bmatrix} u_a^2 & \rho_{ab} u_a u_b \\ \rho_{ab} u_a u_b & u_b^2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (18a-b)$$

gdzie macierz wrażliwości \mathbf{C} o rozmiarze $2n \times 2n$ jest określona przez:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \frac{\partial a}{\partial \mathbf{Z}}, \frac{\partial b}{\partial \mathbf{Z}} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial a}{\partial x_1} \dots \frac{\partial a}{\partial x_n}, \frac{\partial a}{\partial y_1} \dots \frac{\partial a}{\partial y_n} \\ \frac{\partial b}{\partial x_1} \dots \frac{\partial b}{\partial x_n}, \frac{\partial b}{\partial y_1} \dots \frac{\partial b}{\partial y_n} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Wyznaczenie macierzy \mathbf{C} , tj. pochodnych cząstkowych, zrealizowane jest przez numeryczne różniczkowanie przy wykorzystaniu formuł:

$$\frac{\partial c}{\partial z_i} \cong \frac{c_N(z_i + h) - c_N(z_i - h)}{2h} \quad (20)$$

gdzie $c = a$ albo $c = b$, które wymagają wyznaczenia $4 \times n$ rozwiązań dla współczynnika kierunkowego a i wyrazu wolnego b po modyfikacji współrzędnych o niewielki przyrost h , tj. $x_i \pm h$ i $y_i \pm h$.

Graniczne przykłady regresji dwóch współrzędnych obciążonych błędami pomiarów

W sytuacji gdy jedna z macierzy \mathbf{U}_X lub \mathbf{U}_Y posiada bliskie zeru wartości na przekątnej, tj. kwadraty niepewności, przy założeniu, że macierz $\mathbf{U}_{XY} = \mathbf{0}_{n \times n}$, tzn. brak jest korelacji krzyżowych między zmiennymi losowymi reprezentowanymi przez obie współrzędne x_i i y_i , mamy do czynienia z granicznym przejściem do regresji prostej albo odwrotnej, w której tylko jedna ze współrzędnych jest wyznaczana z pomiarów.

Rozwiązanie dla prostej regresji y względem zmiennej niezależnej x

W tym przypadku zmienna x jest zmienną niezależną, a y jest zmienną zależną i jej wartości są mierzone z błędami pomiaru odzwierciedlone w niepewnościach i współczynnikach korelacji opisanych przez macierz kowariancji \mathbf{U}_Y . Wtedy w granicy przy $\mathbf{U}_X \rightarrow \mathbf{0}_{n \times n}$ macierz efektywna $\mathbf{U}_{\text{Yeff}}^{-1} \rightarrow \mathbf{U}_Y^{-1}$, a macierz współczynników wagowych $\boldsymbol{\beta}^{-1} \rightarrow \mathbf{0}_{n \times n}$ i funkcja kryterialna przyjmuje postać:

$$\phi(a,b) = \mathbf{E}^T \mathbf{U}_Y^{-1} \mathbf{E} \quad (21)$$

Należy zauważyć, że wektor błędów \mathbf{E} z pomiarów zawiera wartości błędów w kierunku $0\mathbf{Y}$, tj. $\mathbf{E} = \Delta\mathbf{Y}$. Korzystając z oznaczeń z (12a-f), po zamianie efektywnej macierzy kowariancji na macierz \mathbf{U}_Y , otrzymuje się z (13) rozwiązanie w postaci wyznaczników na wierzchołek dwu-parametrowej paraboli zależnej od \mathbf{a} i \mathbf{b} :

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta_a}{\Delta}, \quad \mathbf{b} = \frac{\Delta_b}{\Delta} \quad (22a-b)$$

gdzie: $\Delta_a = SS_{XY} - S_X S_Y$, $\Delta_b = S_Y S_{XX} - S_X S_{XY}$ i $\Delta = SS_{XX} - (S_X)^2$ (zakładamy $\Delta > 0$).

Z kolei parametry macierzy kowariancji \mathbf{U}_{ab} wyrażają się poprzez wzory:

$$u_a^2 = \frac{S}{\Delta}, \quad u_b^2 = \frac{S_{XX}}{\Delta} \quad (23a-d)$$

$$\rho_{ab} u_a u_b = -\frac{S_X}{\Delta} \quad \text{i} \quad \rho_{ab} = -\frac{S_X}{\sqrt{SS_{XX}}}$$

Rozwiązanie dla regresji odwrotnej x względem zmiennej niezależnej y

W tym przypadku zmienna y jest zmienną niezależną, a x jest zmienną zależną i jej wartości są mierzone z błędami pomiaru odzwierciedlone w niepewnościach i współczynnikach korelacji opisanych przez macierz kowariancji \mathbf{U}_X . Wtedy w granicy przy $\mathbf{U}_Y \rightarrow \mathbf{0}_{n \times n}$ macierz efektywna $\mathbf{U}_{Y\text{eff}}^{-1} \rightarrow \mathbf{U}_X^{-1} \mathbf{a}^{-2}$, a macierz współczynników wagowych $\boldsymbol{\beta} \rightarrow \mathbf{0}_{n \times n}$ i funkcja kryterialna przyjmuje postać:

$$\phi(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \mathbf{E}^T \mathbf{U}_X^{-1} \mathbf{a}^{-2} \mathbf{E} = (-\mathbf{a}^{-1} \mathbf{E}^T) \mathbf{U}_X^{-1} (-\mathbf{a}^{-1} \mathbf{E}) \quad (24)$$

Minimalizacja (24) w tym przypadku jest wykonywana ze względu na błędy pomiarów występujące wyłącznie w kierunku $0\mathbf{X}$, tj. błędy $\Delta\mathbf{X} = \mathbf{X} + \mathbf{a}^{-1}\mathbf{b} - \mathbf{a}^{-1}\mathbf{Y} = -\mathbf{E}\mathbf{a}^{-1}$. A zatem z punktu widzenia oznaczeń i rozwiązania problemu minimalizacji (21) i (24) dokonujemy minimalizacji analogicznej do regresji y względem niezależnej zmiennej x , opisanej wyżej poprzez zamianę oznaczeń \mathbf{Y} na \mathbf{X} oraz macierzy \mathbf{U}_Y na \mathbf{U}_X . W efekcie otrzymujemy rozwiązanie, które opisywane jest prostą $\mathbf{X}_p = \mathbf{a}_x \mathbf{Y}_p + \mathbf{b}_x$ w postaci analogicznej do (22):

$$\mathbf{a}_x = \frac{\Delta_{ax}}{\Delta_x}, \quad \mathbf{b}_x = \frac{\Delta_{bx}}{\Delta_x} \quad (25a-b)$$

gdzie zastosowano nowe oznaczenia: $\Delta_{ax} = WW_{XY} - W_X W_Y$, $\Delta_{bx} = W_X W_{YY} - W_Y W_{XY}$ i $\Delta_x = WW_{YY} - (W_Y)^2$ (zakładamy $\Delta_x > 0$).

Zwróćmy uwagę, że niepewności charakteryzują wyłącznie zmienną \mathbf{X} . Stąd parametry macierzy kowariancji \mathbf{U}_{axbx} są analogicznie do (23a-d):

$$u_{ax}^2 = \frac{W}{\Delta_x}, \quad u_{bx}^2 = \frac{W_{YY}}{\Delta_x} \quad (26a-d)$$

$$\rho_{abx} u_{ax} u_{bx} = -\frac{W_Y}{\Delta_x} \quad \text{i} \quad \rho_{abx} = -\frac{W_Y}{\sqrt{WW_{YY}}}$$

W tym momencie należy zauważyć, że w naszym przykładzie pomiary wykonujemy mierząc wartości rezystancji w funkcji temperatury (regresja y – *mierzona rezystancja* względem niezależnej zmiennej x – *mierzona temperatura*), to temperatura jest zmienną niezależną. Zastosowane poniżej matematyczne rozwiązanie dotyczy sytuacji, gdy w trakcie pomiarów niepewności temperatury są dominujące w porównaniu do niepewności rezystancji i dlatego też stosuje się dla regresji x względem zmiennej niezależnej y powyższe, z punktu widzenia algebry łatwiejsze, rozwiązanie. Aby stwierdzić, jak dominujące niepewności temperatury wpływają na korytarz niepewności mierzonej rezystancji, należy zastosować macierzowe prawo propagacji niepewności korzystając z zależności:

$$\mathbf{U}_{ab} = \begin{bmatrix} \frac{\partial a}{\partial a_x} & \frac{\partial a}{\partial b_x} \\ \frac{\partial b}{\partial a_x} & \frac{\partial b}{\partial b_x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{ax}^2 & \rho_{abx} u_{ax} u_{bx} \\ \rho_{abx} u_{ax} u_{bx} & u_{bx}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial a}{\partial a_x} & \frac{\partial b}{\partial a_x} \\ \frac{\partial a}{\partial b_x} & \frac{\partial b}{\partial b_x} \end{bmatrix} \quad (27)$$

gdzie: $\mathbf{a} = \mathbf{a}_x^{-1} = \Delta_x / \Delta_{ax}$ i $\mathbf{b} = -\mathbf{b}_x \mathbf{a}_x^{-1} = -\Delta_{bx} / \Delta_{ax}$, co po uproszczeniu prowadzi do następujących formuł:

$$u_a = \mathbf{a}^2 u_{ax} = \mathbf{a}^2 \sqrt{\frac{W}{\Delta_x}}$$

$$u_b = \mathbf{a} \sqrt{\frac{b^2 W + W_{YY} - 2W_Y b}{\Delta_x}} \quad (28a-c)$$

$$\rho_{ab} u_a u_b = \mathbf{a}^3 \frac{b W - W_Y}{\Delta_x}$$

Przykład obliczeniowy

Symulacje wykonano na przykładzie wzorcowania pirometru radiacyjnego, dla którego zmierzono charakterystykę w pięciu punktach pomiarowych. Wzorcowe wartości mierzone reprezentuje współrzędna x wraz z niepewnościami $\mathbf{u}(x)$, a mierzone przez wzorcowany pirometr współrzędna y i niepewności $\mathbf{u}(y)$ (wyniki zawiera tab. 1). Dodatkowo przyjęto, że pomiary są skorelowane, tzn. istnieje niewielka, słaba korelacja $\rho_{xy} = 0,2$. Należy zauważyć że w tym przypadku macierze kowariancji są diagonalne, a próba rozwiązania analitycznego tego problemu nie powiedzie się, gdyż rozwiązanie dla skorelowanych zmiennych wymaga zastosowania numerycznej metody iteracyjnej Yorka [1]. Implementacji ww. proponowanego algorytmu numerycznego dokonano w środowisku MATLAB, choć równie dobrze może być to MATHCAD, STATISTICA, R czy nawet EXCEL.

Tab. 1. Współrzędne punktów pomiarowych wraz z niepewnościami z opcjonalną słabą korelacją

Numer punktu pomiarowego	x_i °C	$u(x_i)$ °C	y_i °C	$u(y_i)$ °C	ρ_{xy}
1	30	0,577	29,8	0,115	0,2
2	50	0,577	51,4	0,808	
3	70	0,577	70,3	0,173	
4	90	0,577	89,1	0,520	
5	110	0,577	108,4	0,924	

Zastosowany skrypt w MATLAB odczytuje dane wielkości wejściowych z arkusza EXCEL (tab. 1), a następnie wyznacza charakterystykę funkcji $\phi(a)$, opcjonalnie $\phi(b)$ oraz umożliwia określenie minimum w środowisku MATLAB, np. użycie funkcji Zoom In. Na rys. 2 wykreślono dwie charakterystyki bez uwzględnienia korelacji ze wskazaniem minimum wartości funkcji i odpowiadających im parametrów a i b .

Następnie drugi skrypt wyznacza z (18) macierz kowariancji U_{ab} , używając numerycznego różniczkowania (20) w celu wyznaczenia współczynników wrażliwości (19). Analogicznych obliczeń wykonano z uwzględnieniem korelacji.

Wyniki obliczeń podano w poniższych tabelkach, ograniczając liczbę poprawnych cyfr znaczących z uwzględnieniem oszacowanych błędów numerycznych.

Wyniki w tab. 2 uwidaczniają nieznaczne zmiany w parametrach prostej, a także zmniejszenie parametrów niepewności współczynnika kierunkowego i wyrazu wolnego oraz zwiększenia wartości bezwzględnej współczynnika korelacji. Występuje tu silniejsza ujemna korelacja, dla uwzględnienia dodatniej korelacji mierzonych

współrzędnych. Oznacza to, że korytarz niepewności będzie węższy dla wartości mierzonych z uwzględnieniem korelacji.

W tab. 3 zaprezentowano porównanie wartości parametrów prostej wyznaczonych numerycznie z wartościami obliczonymi z analitycznych formuł. Zerowe wartości niepewności dla macierzy U_x i U_y zostały zasymulowane przez wstawienie dla zerowych wartości niepewności $u^2(x_i) = 10^{-10}$ lub $u^2(y_i) = 10^{-10}$, aby można było odwrócić macierz U_z .

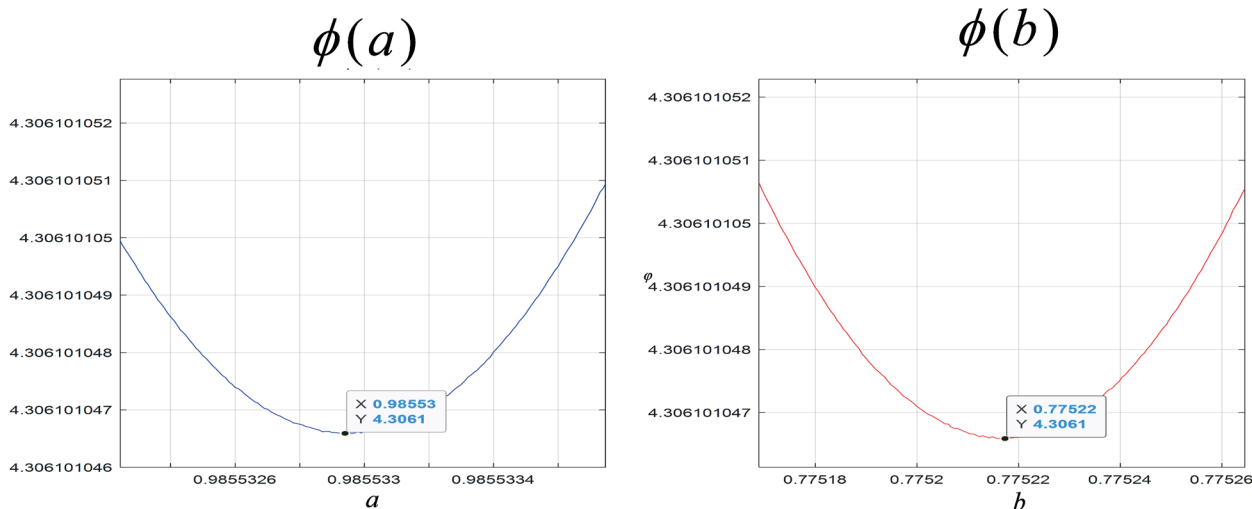
Z tab. 3 wynika, że uzyskano zbieżność rozwiązań zgodnymi z prawie czterema cyframi dziesiętnymi. Z kolei w tab. 4 ujęto wartości zmierzone przez wzorcowany pirometr z niepewnościami rozszerzonymi.

Jak pokazano w tab. 4 korytarz niepewności jest nawet do 20 % szerszy dla pomiarów bez uwzględnienia korelacji, w porównaniu do pomiarów uwzględniających płytką korelacją.

W tab. 4 zawarte są również wyniki niepewności rozszerzonej dla uwzględnienia niepewności tylko jednej zmiennej x albo y . Przy uwzględnieniu wyłącznie niepewności zmiennej y , przy bliskich zera niepewnościach wzorca otrzymano najwęższy korytarz niepewności.

Podsumowanie

Przedstawiono nowe podejście do regresji liniowej reprezentującej optymalną prostą regresji w ogólnym przypadku, gdy obie zmienne (losowe), reprezentowane przez obie współrzędne kartezjańskie, są wyznaczane z pomiarów z odpowiednimi niepewnościami, a także z uwzględnieniem korelacji między błędami poszczególnych zmiennych. Całkowita informacja o niepewnościach pomiaru i współczynnikach korelacji zawarta jest w macierzy U_z , a uogólniona wektorowa zmienna Z zawiera wektory



Rys. 2. Charakterystyki funkcji $\phi(a)$ oraz $\phi(b)$ dla danych pomiarowych z tab. 1 bez uwzględnienia korelacji współrzędnych w punktach pomiarowych

Tab. 2. Wyznaczone numerycznie parametry prostej regresji bez i uwzględnieniem korelacji

Parametr	Rozwiązanie numeryczne WTLS bez uwzględnienia korelacji	Rozwiązanie numeryczne WTLS z uwzględnieniem korelacji (0,2)
$a / (^{\circ}\text{C} / ^{\circ}\text{C})$	0,9855	0,9844
$b / ^{\circ}\text{C}$	0,7752	0,8550
$u_a / (^{\circ}\text{C} / ^{\circ}\text{C})$	0,0121	0,0112
$u_b / ^{\circ}\text{C}$	0,8189	0,7704
ρ_{ab}	-0,9169	-0,9189

Tab. 3. Porównanie metody numerycznej z wynikami analitycznych obliczeń dla rozwiązań regresji prostej y względem x i regresji odwrotnej x względem y

Parametr	Dominacja macierzy U_y rozwiązanie analityczne $\beta^{-1} = \Theta_{n \times n}$	WTLS rozwiązanie numeryczne $U_y \rightarrow \Theta_{n \times n}$ $\beta^{-1} \rightarrow \Theta_{n \times n}$	Dominacja macierzy U_x rozwiązanie analityczne $\beta = \Theta_{n \times n}$	WTLS rozwiązanie numeryczne $U_x \rightarrow \Theta_{n \times n}$ $\beta = \Theta_{n \times n}$
$a / (^{\circ}\text{C} / ^{\circ}\text{C})$	1,0042	1,0042	0,9752	0,9752
$b / ^{\circ}\text{C}$	-0,2594	-0,2594	1,5372	1,5370
$u_a / (^{\circ}\text{C} / ^{\circ}\text{C})$	0,0045	0,0045	0,0089	0,0089
$u_b / ^{\circ}\text{C}$	0,2194	0,2194	0,6760	0,6760
ρ_{ab}	-0,9055	-0,9055	-0,9242	-0,9280

Tab. 4. Niepewności rozszerzone wyznaczone w punktach pomiarowych

Lp.	$x_i / ^{\circ}\text{C}$	Bez uwzględnienia korelacji $y_i / ^{\circ}\text{C}$	Uwzględnienie korelacji (0,2) $y_i / ^{\circ}\text{C}$	Dominacja macierzy U_x $y_i / ^{\circ}\text{C}$	Dominacja macierzy U_y $y_i / ^{\circ}\text{C}$
1	30	30,34 ± 1,62	30,39 ± 1,53	29,26 ± 1,40	29,87 ± 0,36
2	50	50,05 ± 1,14	50,07 ± 1,08	48,76 ± 1,00	49,95 ± 0,31
3	70	69,76 ± 1,08	69,76 ± 1,00	68,26 ± 0,82	70,04 ± 0,47
4	90	89,47 ± 1,49	89,45 ± 1,35	87,77 ± 0,99	90,12 ± 0,71
5	110	109,18 ± 2,10	109,14 ± 1,92	107,27 ± 1,39	110,21 ± 0,97

współrzędnych punktów pomiarowych \mathbf{X} i \mathbf{Y} . Zaproponowane podejście umożliwia zredukowanie dość złożonego zagadnienia numerycznej minimalizacji funkcji kryterialnej, które realizowane było w różny sposób, do numerycznego wyznaczenia minimum jedno argumentowej funkcji zależnej od współczynnika kierunkowego prostej regresji. W przypadku gdy jedna z macierzy U_x lub U_y jest bliska zeru, proponowana metoda numeryczna WTLS, jak wynika z przedstawionych wyników symulacji, jest zbieżna do klasycznych rozwiązań analitycznych dla

regresji prostej y względem x i regresji odwrotnej x względem y . Na przykładzie wzorcowania pirometru radiacyjnego wyznaczono tą metodą niepewności rozszerzone nieskorelowanych i skorelowanych współrzędnych pomiarowych, przy czym zawężenie korytarza niepewności występuje dla wielkości skorelowanych.

Bibliografia

- [1] D. York, N. M. Evensen, M. L. Martinez, J. De Basabe Delgado: Unified equations for the slope, intercept and standard errors for the best straight line. *American Journal of Physics*, vol. 72 (2004), s. 367-375.
- [2] N. R. Draper, H. Smith: *Applied Regression Analysis*. 3rd Edition, Wiley, New York 1998.
- [3] J. Puchalski: A new algorithm for generalization of least square method for straight line regression in Cartesian system for fully correlated both coordinates. *International Journal of Automation, Artificial Intelligence and Machine Learning*, vol. 2 (2021), s. 20-54.

Badanie mostków termometrycznych przy wykorzystaniu kalibratora RBC

Testing thermometry bridges using the Resistance Bridge Calibrator

Katarzyna Kur, Emil Burcon, Marek Kozicki
Główny Urząd Miar

Aleksandra Kowal, Justyna Dobosz, Henryk Manuskiewicz
Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN

Międzynarodowa Skala Temperatury z 1990 roku definiuje punkty stałe oraz liczbowe wartości ich temperatury. Dla zakresu temperatury, od punktu potrójnego wodoru w równowadze do punktu krzepnięcia srebra, jako termometry interpolacyjne stosuje się platynowe czujniki termometru rezystancyjnego (SPRT). W tego typu czujnikach do pomiaru temperatury wykorzystuje się zmianę rezystancji czujnika zależną od zmiany temperatury. Wartości temperatury definicyjnych punktów stałych MST-90 określane są z błędem do 0,1 mK. Osiągnięcie takiej dokładności pomiaru temperatury wymaga pomiaru rezystancji termometru platynowego z błędem nie większym niż $10 \mu\Omega$ w całym zakresie jego stosowalności. Dokładność realizacji skali temperatury w dużej mierze zależy od dokładności pomiaru rezystancji. W pracy przedstawione są wyniki związane z wyznaczeniem błędów pomiaru mostków termometrycznych.

The International Temperature Scale of 1990 defines temperature fixed points and their numerical values. For the temperature range from the triple point of equilibrium hydrogen to the freezing point of silver, standard platinum resistance thermometers (SPRT) are used as interpolation instruments. In this type of thermometers, the temperature measurement is based on the change of sensor resistance which is dependent of the change of temperature. The temperature values of the ITS-90 fixed points are specified with the error of 0,1 mK. Achieving such an accuracy requires the error of thermometer resistance measurement not worse than $10 \mu\Omega$ in its entire temperature range. The accuracy of the temperature scale realization depends largely on the accuracy of resistance measurement. This paper presents the results of determination of the measurement errors of thermometry bridges.

Słowa kluczowe: mostki termometryczne, kalibrator RBC, nieliniowość

Keywords: : thermometry bridges, Resistance Bridge Calibrator, nonlinearity

Wprowadzenie

Międzynarodowa Skala Temperatury z 1990 roku [1] definiuje punkty stałe oraz liczbowe wartości ich temperatury. Dla zakresu temperatury od punktu potrójnego wodoru w równowadze ($13,8033 \text{ K}$) do punktu krzepnięcia srebra ($961,78 \text{ }^\circ\text{C}$) jako termometry interpolacyjne stosuje się platynowe czujniki termometru rezystancyjnego, tzw. czujniki SPRT. W tego typu czujnikach do pomiaru temperatury wykorzystuje się zmianę rezystancji czujnika zależną od zmiany temperatury.

Pomiary rezystancji realizowane są za pomocą dedykowanych termometrycznych mostków rezystancyjnych. Mierzonym parametrem jest iloraz rezystancji: $X = R_T/R_S$, gdzie R_T to rezystancja czujnika SPRT w danej temperaturze, a R_S to rezystancja opornika wzorcowego.

Wartości temperatury definicyjnych punktów stałych MST-90 określane są z błędem 0,1 mK. Osiągnięcie takiej dokładności pomiaru temperatury wymaga dokładności pomiaru rezystancji termometru platynowego (o czułości $dR/dT = 0,1 \text{ } \Omega/\text{K}$) z błędem nie większym niż $10 \mu\Omega$ w całym zakresie jego stosowalności. W tym miejscu widać wyraźnie, że dokładność realizacji skali temperatury w dużej mierze zależy od dokładności pomiaru rezystancji.

Ważnym zagadnieniem zatem jest sprawdzanie dokładności używanych mostków. Do ich sprawdzania wykorzystuje się komercyjne urządzenie: kalibrator RBC (Resistance Bridge Calibrator). Urządzenie to złożone jest z połączonych ze sobą, w systemie Hamonda, czterech bazowych rezystorów ($R_1 \div R_4$) o nominalnych wartościach rezystancji wynoszących odpowiednio: $79,3316 \text{ } \Omega$, $47,4995 \text{ } \Omega$, $36,5896 \text{ } \Omega$ i $28,2421 \text{ } \Omega$. Rezystory te można

łączyć zarówno szeregowo, jak i równolegle, uzyskując 35 współzależnych wartości rezystancji. Błąd pomiaru jest na poziomie 0,1 ppm, pod warunkiem stabilizacji temperatury otoczenia w zakresie ± 1 °C.

Wspólny projekt badawczy realizowany przez GUM i INTiBS skupiał się na badaniu dokładności różnego rodzaju, dostępnych w obu instytucjach, mostków termometrycznych przy wykorzystaniu RBC [2, 3]. Badano wpływ zmiany temperatury RBC na niepewność wzorcowania, w celu wyznaczenia optymalnych warunków pracy RBC.

Metoda pomiarowa

Zdaniem producenta na dokładność kalibratora RBC mają wpływ głównie trzy czynniki, są to: stabilizacja termiczna rezystorów bazowych, błędy związane ze złączem czterozaciskowym oraz z siecią rezystorów. Jednakże, ze względu na budowę urządzenia, dwa ostatnie czynniki mają mały wpływ na jego dokładność [4].

Jeden z najbardziej znaczących czynników wpływających na niepewność wzorcowania mostka przy pomocy kalibratora RBC związany jest ze współczynnikami temperaturowymi jego rezystorów bazowych i zmiennością ich rezystancji w zależności od temperatury otoczenia. Biorąc to pod uwagę, podjęto badania związane ze znalezieniem zależności niepewności wzorcowania mostka ze zmianą temperatury RBC, a dzięki temu wyznaczenie najbardziej optymalnych warunków pracy urządzenia RBC.

Do pomiarów użyto dwóch kalibratorów RBC model 100M (wersja manualna). Jednakże w każdym z nich zastosowano inny sposób stabilizacji temperatury urządzenia. W urządzeniu będącym na wyposażeniu Laboratorium Wzorca Temperatury INTiBS PAN rezystory bazowe zostały umieszczone w miedzianym bloku, do którego podłączony został grzejnik i czujnik temperatury (typu Pt-100). Całość sterowana była przy pomocy zewnętrznego regulatora PID. Urządzenie będące na wyposażeniu Laboratorium Temperatury Zakładu Chemii Fizycznej i Środowiska GUM zostało umieszczone w styropianowej osłonie wraz z czujnikiem do monitorowania temperatury, a stabilizacja temperatury była uzyskana poprzez odpowiedni dobór temperatury w pokoju laboratoryjnym sterowanej przez klimatyzator.

Wykonano pomiary dla dwóch mostków, Isotech MicroK 70 i ASL F900, dla trzech różnych wariantów stabilizacji temperatury kalibratora. W pierwszym przypadku kalibrator znajdował się w pokoju, w którym temperatura zmieniała się w zakresie ± 1 °C. W drugim przypadku ten sam kalibrator umieszczono w osłonie izolacyjnej, co pozwoliło na zmienność temperaturową nie przekraczającą $\pm 0,05$ °C. Następnie zastosowano kalibrator INTiBS, którego temperatura była sterowana przez zewnętrzny regulator PID ze zmiennością: $(26 \pm 0,002)$ °C.

Kolejnym krokiem było wykonanie wzorcowania mostków z wykorzystaniem kalibratora RBC ze stabilizacją PID. Pomiary wykonano dla 44 kombinacji układu rezystorów bazowych, w tym 35 kombinacji dla połączenia prostego i 9 kombinacji dla połączenia odwrotnego. Mierzony zakres stosunków rezystancji zawierał się w przedziale od 0,15 do 1,26. Zakres ten odpowiada zakresowi ilorazów rezystancji uzyskiwanych podczas pomiarów temperatury czujnikiem SPRT w przedziale temperatur od $-189,3442$ °C (punkt potrójny argonu) do $961,78$ °C (punkt krzepnięcia srebra). Za wzorcowy opornik służył rezystor 100Ω .

Wyniki z pomiarów opracowano za pomocą oprogramowania dołączonego do kalibratora RBC. Uzyskane wartości ilorazów rezystancji dla różnych kombinacji połączenia rezystorów bazowych RBC pozwoliły, za pomocą odpowiedniego algorytmu, na wyznaczenie wartości bazowych ilorazów rezystancji: R_1/R_S , R_2/R_S , R_3/R_S , R_4/R_S . Algorytm ten, wykorzystujący metodę najmniejszych kwadratów, tak dobiera wartości bazowych ilorazów rezystancji, aby występowała dla nich jak najmniejsza wariancja różnic pomiędzy zmierzonymi i wyliczonymi wartościami ilorazów rezystancji dla wszystkich zrealizowanych kombinacji połączenia rezystorów bazowych RBC zgodnie ze wzorem:

$$s^2 = \frac{1}{N - \rho} \sum_{i=1}^N (X_{i,\text{meas}} - X_{i,\text{calc}})^2 \quad (1)$$

gdzie:

s^2 – wariancja różnic pomiędzy zmierzonymi i wyliczonymi wartościami ilorazów rezystancji dla wszystkich zrealizowanych kombinacji połączenia rezystorów bazowych RBC,

N – liczba pomiarów,

ρ – liczba dopasowanych parametrów, $\rho = 4$ gdy wartości wszystkich rezystancji oporników bazowych nie są znane,

$X_{i,\text{meas}}$ – zmierzony iloraz rezystancji dla i -tej kombinacji połączenia rezystorów bazowych,

$X_{i,\text{calc}}$ – iloraz rezystancji wyliczony z dopasowanych wartości bazowych ilorazów rezystancji: R_1/R_S , R_2/R_S , R_3/R_S , R_4/R_S dla i -tej kombinacji połączenia rezystorów bazowych.

Wyznaczane jest odchylenie standardowe różnic pomiędzy zmierzonymi i wyliczonymi wartościami ilorazów rezystancji oraz niepewność rozszerzona mostka dla prawdopodobieństwa 95 %:

$$U = \pm k s \sqrt{1 + \frac{\rho}{N}} \quad (2)$$

gdzie s to odchylenie standardowe, a k to współczynnik rozszerzenia.

Program umożliwia również obliczenie poprawki wskaźników mostka, wówczas równanie (1) przyjmuje postać:

$$s^2 = \frac{1}{N - \rho} \sum_{i=1}^N (X_{i,\text{meas}} + \Delta X(X_{i,\text{meas}}) - X_{i,\text{calc}})^2 \quad (3)$$

gdzie $\Delta X(X)$ oznacza równanie poprawkowe, ρ to ilość parametrów wyznaczonych metodą najmniejszych kwadratów (przyjmuje wartość 4, plus liczba dopasowanych stałych w równaniu poprawkowym).

Ogólne, równanie poprawkowe można zapisać przy pomocy równania [4]:

$$\Delta X(X) = A + BX + CX^2 + DX^3 \quad (4)$$

gdzie:

- A – błąd związany z offsetem wskazań mostka,
- BX – błąd związany z liniowością,
- CX² – błąd nieliniowości rzędu parzystego,
- DX³ – błąd nieliniowości rzędu nieparzystego.

Wyniki pomiarów

W tab. 1 przedstawiono wyniki uzyskane podczas badań wpływu zmiany temperatury kalibratora na niepewność wzorcowania/sprawdzania mostka Fluke Hart Scientific 1595A. Można zauważyć, że poprawa stabilności temperaturowej kalibratora wpływa na poprawę otrzymywanych wyników. Zmiana dryfu temperatury kalibratora z 1 °C/h na 0,5 °C/h spowodowała dwukrotne zmniejszenie otrzymanej niepewności sprawdzenia mostka, a stabilizacja temperatury w zakresie ±0,002 °C, podczas trwania pomiaru, doprowadziła do 8-krotnego zmniejszenia otrzymanej niepewności, z 0,262 ppm do 0,032 ppm.

Tab. 1. Wpływ zmienności temperatury kalibratora RBC z zastosowanym regulatorem PID na wyniki pomiarów mostka Fluke Hart Scientific 1595A

Fluke Hart Scientific 1595A	
Warunki temperaturowe kalibratora RBC	Niepewność standardowa mostka (ppm)
dryf 1 °C/h	0,262
dryf 0,5 °C/h	0,109
(26 ± 0,002) °C	0,032

Wyniki sprawdzania mostków Isotech MicroK 70 oraz ASL F900 przedstawiono w tab. 2. Podobnie jak dla pomiarów mostka Fluke Hart Scientific, zwiększenie stabilności temperaturowej doprowadziło do poprawy uzyskiwanych wyników – zmniejszenia niepewności standardowej sprawdzenia mostków, z (0,051 ÷ 0,056) ppm do (0,015 ÷ 0,020) ppm. Dodatkowo wykazano, że niezależnie od zastosowanej metody stabilizacji temperatury kalibratora, aktywnej (zewnętrzny regulator PID) czy też

pasywnej (osłona izolacyjna), wyniki sprawdzeń mostków są porównywalne dla tych metod.

Tab. 2. Wpływ zmienności temperatury kalibratora RBC na wyniki pomiarów mostków Isotech MicroK 70 i ASL F900 w zależności od sposobu jej stabilizacji

Warunki temperaturowe kalibratora RBC	Isotech MicroK 70	ASL F900
	Niepewność standardowa mostka (ppm)	Niepewność standardowa mostka (ppm)
±1 °C	0,051	0,059
osłona izolacyjna (±0,05 °C)	0,015	0,017
(26 ± 0,002) °C	0,020	0,020

Po zbadaniu wpływu zmienności temperatury kalibratora i wyznaczeniu najbardziej optymalnych warunków prowadzenia badań przystąpiono do sprawdzenia pozostałych mostków, będących na wyposażeniu laboratoriów GUM i INTIBS. Pomiaru zostały wykonane przy pomocy kalibratora z zewnętrznym regulatorem PID, a ich wyniki przedstawiono w tab. 3. Wyniki dotyczące nieliniowości mostków odnoszą się tylko do pomiarów wykonanych dla 35 kombinacji rezystorów bazowych kalibratora dla połączenia prostego, zaś niepewność standardowa do wyników wykonanych dla wszystkich 44 kombinacji zarówno dla połączenia prostego, jak i odwrotnego.

Wszystkie badane mostki charakteryzują się nieliniowością poniżej 0,1 ppm, a w większości przypadków wynik ten jest podobny do tego uzyskanego dla pełnego sprawdzenia.

Tab. 3. Wyniki pomiarów przy użyciu kalibratora RBC dla różnych typów mostków

Mostek	Nieliniowość (ppm)	Niepewność standardowa (ppm)	Błąd deklarowany przez producenta (ppm)
MI 6015T	0,057	0,371	0,02
Fluke Hart Scientific 1595A	0,031	0,032	0,2
ASL F18	0,049	0,442	0,1
ASL F900	0,020	0,020	0,02
Isotech MicroK70	0,017	0,020	0,07

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że przy użyciu manualnej wersji kalibratora RBC można wzorcować mostki rezystancyjne o wysokiej dokładności. Kluczowym aspektem pomiarów jest utrzymanie stabilnej temperatury kalibratora. Zbyt duża zmienność temperaturowa urządzenia

wpływa na otrzymywanie zawyżonych wartości niepewności sprawdzania mostka. W pracy przedstawiono dwa sposoby stabilizacji temperatury kalibratora (osłona izolacyjna, regulator PID) i każdy z nich prowadził do znaczącej poprawy i otrzymywania satysfakcjonujących, powtarzalnych wyników. Wyniki uzyskiwane przy pomocy starszej, manualnej wersji urządzenia, będącego na wyposażeniu GUM i INTiBS, po stabilizacji termicznej są porównywalne z wynikami uzyskiwanymi przy pomocy nowszego, automatycznego typu kalibratora, który można stabilizować termicznie w specjalnych wannach olejowych dla rezystorów wzorcowych. Wyniki sprawdzania mostków przeprowadzone za pomocą kalibratora automatycznego zostały przedstawione w artykule [5].

Bibliografia

- [1] Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990, Sèvres, Bureau International des Poids et Mesures, 1990.
- [2] G. F. Strouse, K. D. Hill: Performance assessment of resistance ratio bridges used for the calibration of SPRTs. AIP Conference Proceedings, vol. 684, no. 1, 2003.
- [3] T. Podgornik i in: Nonlinearity testing of equipment used in temperature measurements, 2009.
- [4] Resistance Bridge Calibrators Model RBC100M & RBC 400M. User Maintenance Manual/Handbook (RBC Iss. 02-03/11), ISOTECH, 2011.
- [5] J. V. Pearce, J. Gray, R. I. Veltcheva: Characterisation of a selection of AC and DC resistance bridges for standard platinum resistance thermometry. International Journal of Thermophysics (2016), 37-109.

Znowelizowane wydanie zalecenia Międzynarodowej Organizacji Metrologii Prawnej OIML R 126:2021 dotyczące dowodowych analizatorów wydechu

Revision of International Organization of Legal Metrology Recommendation OIML R 126:2021 Evidential Breath Analyzers

Piotr Janko
Główny Urząd Miar

Analizatory wydechu są przyrządami do pomiaru stężenia masowego alkoholu w wydychanym powietrzu i stosowane są na całym świecie do kontroli trzeźwości. Wymagania i metody badań analizatorów wydechu stosowanych do celów dowodowych zostały przedstawione w zaleceniu Międzynarodowej Organizacji Metrologii Prawnej OIML R 126. W artykule przedstawiono omówienie znowelizowanego wydania zalecenia OIML R 126:2021. W jego opracowaniu, podobnie jak w przypadku poprzednich wydań, uczestniczył przedstawiciel GUM.

Breath analyzers are instruments for measuring the mass concentration of alcohol in exhaled air and are used worldwide for sobriety checks. The requirements and test methods for evidential breath analyzers are described at the Recommendation OIML R 126 issued by the International Organization for Legal Metrology. A discussion of the revised edition of OIML Recommendation R 126:2021 was presented in the paper. A GUM representative participated, like in the case of previous editions, in the development of the new edition of the document.

Słowa kluczowe: dowodowe analizatory wydechu, zalecenie OIML
Keywords: : evidential breath analyzers, OIML Recommendation

Wprowadzenie

Międzynarodowa Organizacja Metrologii Prawnej (OIML) jest światową organizacją, powstałą 12 października 1955 r. w Paryżu. Głównym celem OIML jest harmonizacja przepisów i zasad prawnej kontroli metrologicznej stosowanych przez państwa członkowskie. Jedną z kilku kategorii dokumentów wydawanych przez OIML są Zalecenia Międzynarodowe OIML R, które są modelowymi przepisami określającymi charakterystyki metrologiczne wymagane dla niektórych przyrządów pomiarowych oraz metody i wyposażenie do sprawdzania ich zgodności z tymi wymaganiami. Państwa członkowskie OIML powinny wdrożyć te Zalecenia w możliwie jak najszerszym zakresie i mają obowiązek uwzględniać je przy tworzeniu krajowych przepisów w zakresie metrologii prawnej [1].

Zalecenia OIML R stanowią też fundament dla systemu certyfikacji OIML-CS [2-4]. Obecny system certyfikacji OIML-CS został wprowadzony w 2018 r. i obejmował wówczas dwa programy: A (zastępujący wcześniejszy system MAA [5]) i B (zastępujący wcześniejszy system podstawowy [6]), przy czym docelowo wszystkie przyrządy pomiarowe miały być objęte programem A (obecnie już tylko OIML R150, do końca 2022 r., jest objęty programem B). W przypadku programu B instytucja wydająca certyfikaty musiała jedynie zadeklarować spełnianie wymagań systemu certyfikacji OIML-CS i dostarczyć dowody na potwierdzenie tego stanu rzeczy. W przypadku programu A spełnianie wymagań musi zostać potwierdzone przez akredytację lub w toku równorzędnej oceny. Udział w systemie certyfikacji OIML-CS jest całkowicie dobrowolny.

Wyróżnia się dwa typy uczestników OIML-CS: jednostki wydające certyfikaty (Issuing Authorities) oraz jednostki wykorzystujące przy zatwierdzeniu typu certyfikaty wydane przez jednostki certyfikujące (Utilizers lub Associates). Uczestniczące w systemie kraje zobowiązane są do akceptowania certyfikatów zatwierdzenia typu OIML, wydanych przez instytucje wystawiające certyfikaty w ramach OIML-CS. Polska jak dotąd nie uczestniczy w tym systemie.

Analizatory wydechu są przyrządami służącymi do pomiaru stężenia masowego alkoholu w wydychanym powietrzu i stosowane są na całym świecie do kontroli trzeźwości. W zależności od przewidywanego zastosowania przyrządy do ilościowego oznaczania alkoholu w wydychanym powietrzu można podzielić na następujące grupy, dla których określono wymagania i metody badań:

1. analizatory wydechu do celów dowodowych (EBA), dla których wymagania i metody badania opisano w zaleceniu międzynarodowym OIML R 126 [7-8],
2. testery do badań wstępnych (przesiewowych), dla których wymagania i metody badania opisano w normie PN-EN 15964:2011 [9],
3. testery do użytku powszechnego, dla których wymagania i metody badania opisano w normie PN-EN 16280:2013 [10],
4. blokady alkoholowe:
 - stosowane z nakazu sądu wobec osób, które prowadziły pojazd w stanie nietrzeźwym, dla których wymagania i metody badania opisano w normie PN-EN 50436-1:2014 [11],
 - stosowane w celach prewencyjnych, dla których wymagania i metody badania opisano w normie PN-EN 50436-2:2014 [12].

Wymienione wyżej przyrządy wymagają użycia jednorazowego ustnika. Dla przyrządów bezustnikowych nie ma obecnie dokumentu, który określałby wymagania jakie muszą one spełnić.

Uzgodnione na poziomie międzynarodowym podstawy prawnej kontroli metrologicznej analizatorów wydechu do celów dowodowych (zatwierdzenie typu i legalizacja) zapewnia OIML poprzez kolejne wydania zalecenia OIML R 126 „Evidential breath analyzers”. Zalecenie jest przedmiotem prac podkomitetu SC7 „Breath testers” komitetu TC17 „Instruments for physico-chemical measurements” OIML, którego Polska jest członkiem uczestniczącym (z prawem głosu).

W aspekcie historycznym polski udział przedstawia się następująco. W 1986 r. Polska jako obserwator przystąpiła do prac w Sekretariacie Sprawozdawczym OIML SP30-Sr17 „Breath testers”. W latach 1987–1988 pojawiły się pierwsze projekty zalecenia OIML R 126 „Przyrządy do pomiaru ilości alkoholu w wydychanym powietrzu

– Etylometry”, które opiniował Instytut Ekspertyz Sądowych (IES). W 1994 r. Polska została członkiem podkomitetu technicznego OIML TC 17/SC7 „Breath testers”, a w latach 1996–1997 przedstawiciel GUM wziął udział w międzynarodowym posiedzeniu i głosowaniu dotyczącym zalecenia OIML R 126:1998 [7], które ukazało się w 1998 roku, i które stało się podstawowym dokumentem dotyczącym wymagań dla dowodowych analizatorów wydechu. Polskie przepisy w tym zakresie [13–16], obowiązujące w latach 2000–2007, były oparte na wymaganiach OIML R 126:1998. Drugie, znowelizowane wydanie zalecenia R 126, ukazało się w 2012 roku [8]. Również w pracach nad tym wydaniem uczestniczył przedstawiciel GUM.

Wydanie z 2012 r. nie zostało jednak nigdy w praktyce wdrożone. W zasadzie natychmiast po publikacji stwierdzono konieczność jego nowelizacji. Kraje posiadające swoje przepisy metrologiczne odnośnie prawnej kontroli metrologicznej analizatorów wydechu opierają je na wydaniu z 1998 r. Podobnie jest z systemem certyfikacji OIML – poprzednim i obecnym. W dalszym ciągu jako dokument odniesienia figuruje tam wydanie z 1998 r., ignorując tym samym obowiązujące wydanie z 2012 r. Obecnie, na liście analizatorów wydechu z certyfikatem OIML znajduje się tylko 7 przyrządów [17], z czego dwa nie są już produkowane. Wszystkie są certyfikowane na zgodność z OIML R 126:1998 w ramach poprzedniego systemu certyfikacji.

Listę uczestników systemu certyfikacji OIML-CS, którzy deklarują w swoim zakresie zalecenie R 126:1998, przedstawia tab. 2 [18]. Na liście tej znajdują się tylko 4 kraje europejskie.

Jedyną instytucją certyfikującą w systemie OIML-CS przyrządy wg OIML R 126:1998 jest obecnie francuska instytucja metrologiczna Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE).

Najnowsza nowelizacja zalecenia R 126 została zatwierdzona przez Międzynarodowy Komitet Metrologii Prawnej (CIML) na 56 posiedzeniu CIML w dniach 18–22 października 2021 r. poprzez przyjętą rezolucję CIML/2021/18 (punkt 9.1.1.2 porządku obrad) [19–20] oraz usankcjonowana przez 16 Międzynarodową Konferencję Metrologii Prawnej, która odbyła się w dn. 20–21 października 2021 r. [21]. Znowelizowany dokument został opublikowany na stronie OIML [22] w dn. 3.12.2021 r. W pracach grupy projektowej przygotowującej wydanie z 2021 r. uczestniczyli w latach 2015–2021 przedstawiciele GUM, m.in. poprzez udział w kolejnych posiedzeniach: w 2015 r. w Delft, w 2016 r. w Berlinie, w 2017 r. w Paryżu, w 2018 r. w Warszawie i w 2019 r. w Paryżu.

Tab.1. Zarejestrowane certyfikaty OIML – Zalecenie R 126:1998

Numer	Typ analizatora	Aplikujący	Rok wydania	Status
R 126/1998-ES1-2008.01	Etilometro/evidential breath analyzer. New battery pack model VLT 80, 80W, power supply	Gruppo Itturi S.A.	2008	Ważny
R 126/1998-ES1-2009.02	Evidential breath analysers SAF'IR Evolution	SERES Environnement	2009	Ważny
R 126/1998-ES1-2009.02 Rev. 1	Evidential breath analysers SAF'IR Evolution	ACS (Alcohol Countermeasures Systems)	2010	Ważny
R 126/1998-ES1-2009.02 Rev. 2	Evidential breath analysers SAF'IR Evolution	ACS (Alcohol Countermeasures Systems)	2012	Ważny
R 126/1998-FR2-2000.01 Rev. 1	Type 679E	SERES Environnement	2001	Ważny*
R 126/1998-FR2-2010.01	Evidential breath analyser SERES type 679E	ACS (Alcohol Countermeasures Systems)	2010	Ważny*
R 126/1998-FR2-2010.02	Evidential breath analyser DRAGER pattern 7110 MKIII	Drager Safety AG & Co. KGAA	2010	Ważny*
R 126/1998-DE1-2011.01	Evidential breath alcohol analyzer Type: Alcotest 7510	Drager Safety AG & Co. KGAA	2011	Ważny
R 126/1998-FR2-2012.01	Evidential breath analyser: ALCOTEST 9510	Drager Safety AG & Co. KGAA	2012	Ważny
R 126/1998-FR2-2013.01	Evidential Breath Analyzer Type: INTOX EC/IR II.t	Intoximeters, Inc	2013	Ważny

* Ten typ nie jest już produkowany

Tab. 2. Lista uczestników Systemu Certyfikacji (OIML-CS) deklarujących wykorzystywanie certyfikatów OIML wg R 126:1998

Kraj	Instytucja	Program
Kraje europejskie		
CH	Federal Institute of Metrology (METAS)	A
FR	Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE)	A
LV	LNMC Lid. Metrology Bureau	A i B
NL	NMi Cerlin B.V.	A i B
Pozostałe kraje		
CO	Superintendencia de Industria y Comercio (SIC)	A i B
CU	Oficina Nacional de Normalizacion (NC)	A i B
KE	Weights and Measures Department	A i B
KH	National Metrology Centre (NMC)	A i B
NA	Namibian Standards Institution	A i B
RW	Rwanda Standards Board	A i B
TN	National Agency of Metrology (ANM)	A i B
ZA	NRCS: Legal Metrology	A i B
ZM	Zambia Metrology Agency	A i B

Tab. 3. Największy błąd dopuszczalny (MPE)

Stężenie masowe alkoholu β / mg/L	Zatwierdzenie typu i legalizacja pierwotna	Legalizacja ponowna i EBA w eksploatacji
(0,000; 0,400)	0,020 mg/L	0,030 mg/L
(0,400; 2,000)	5 % β	7,5 % β
> 2,000	$\frac{1}{2} \beta - 0,9$ mg/L	$\frac{3}{4} \beta - 1,35$ mg/L

Omówienie aktualnego wydania OIML R 126

Nowa struktura dokumentu

Strukturę dokumentu dostosowano do aktualnych wytycznych zawartych w [1]. Trzy części zalecenia OIML R 126:2021 stanowią trzy oddzielne dokumenty:

- R 126-1:2021 „Dowodowe analizatory wydechu Część 1: Wymagania metrologiczne i techniczne”,
- R 126-2:2022-2 „Dowodowe analizatory wydechu Część 2: Kontrola metrologiczna i badania funkcjonalne”,
- R 126-3:2021-3 „Dowodowe analizatory wydechu Część 3: Format Sprawozdania z badań”.

Ta ostatnia część jest całkowicie nowym dokumentem – w poprzednim wydaniu nie uwzględniono formatu raportu (choć występował w wydaniu R 126:1998 w załączniku E). Tak, jak to jest wymagane w przypadku nowelizacji zalecenia OIML [1], nowe wydanie zawiera w każdej z dwóch pierwszych części tabelę identyfikującą wprowadzone zmiany w stosunku do poprzedniego wydania (jako załączniki informacyjne). Dokument ma przejrzysty układ, jest jasny i zrozumiały, wyeliminowano wiele wad, błędów oraz niejasne i nieprecyzyjne sformułowania z poprzedniego wydania. Wyraźnie oddzielone zostały wymagania (część 1) od opisu metod badań (część 2), tj. wyeliminowano przypadki, gdy wymagania były definiowane poprzez opis badania. Wydanie R 126:1998 liczyło 39 stron, wydanie R 126:2012 liczyło 69 stron, a trzy części obecnego wydania z 2021 r. liczą odpowiednio: 48, 89 i 63 strony (przy czym bibliografia w dwóch pierwszych częściach powtarza się).

Zmiany w R 126-1:2021 [23]

Dodano nowy Rozdział 1 *Wprowadzenie*. Krótko opisano w nim ideę analizy alkoholu w wydychanym powietrzu.

Przeredagowano Rozdział 2 *Zakres*. Umieszczono tu jednoznaczny zapis, że zakres dokumentu jest ograniczony wyłącznie do EBA, w których do pobrania próbki wydychanego powietrza wykorzystywany jest jednorazowy ustnik. Rozdział 3 *Terminologia* rozbudowano i zaktualizowano umieszczając tam, gdzie to możliwe odnośniki źródłowe. W wydaniu z 1998 r. podano 13 definicji, a w wydaniu z 2012 r. było ich 20. Rozdział został podzielony na 3 części w celu usystematyzowania stosowanych terminów oraz dla wygody i przejrzystości w punkcie 3.1 *Terminy ogólne metrologii i metrologii prawnej* przywołano dokumenty, z których zaczerpnięto terminologię: przede wszystkim międzynarodowe słowniki metrologii VIM [24] i VIML [25] oraz dokumenty OIML [26-27]. Podano też definicje dla 25 wybranych terminów. W pkt. 3.2 *Terminy specyficzne* podano 15 definicji terminów dotyczących analizy alkoholu w wydychanym powietrzu, a w pkt. 3.3 podano 13 definicji dotyczących terminologii związanej z oprogramowaniem. Punkt 3.4 *Wykaz akronimów, skrótów i symboli* jest nowy. Zawiera wszystkie symbole użyte w tekście. Ograniczono ich liczbę (w poprzednim wydaniu było stosowanych wiele symboli dla tej samej wielkości) i uproszczono. Dla stężenia masowego alkoholu w fazie gazowej zastosowano symbol β [28], zaś dla stężenia masowego etanolu w roztworze wodnym symbol γ [29]. W całym dokumencie zastąpiono nazwę dowodowe analizatory wydechu akronimem EBA. Rozdział 4 *Opis przyrządu* został przeredagowany i uporządkowany. Wyodrębniono podpunkt 4.1 opisujący schemat przyrządu z podaniem typowych elementów składowych, dodano też nowy podpunkt 4.5 *Cykl pomiarowy* opisujący typowe kroki składające się na pomiar. Do Rozdziału 5 *Jednostki miary i znak dziesiętny* nie zostały wprowadzone istotne zmiany wymagań. Zmieniono termin określający tryb pracy przyrządu w czasie, gdy jest on poddawany kontroli metrologicznej: zastąpiono „tryb serwisowy” (maintenance mode) terminem „tryb metrologiczny” (metrological test mode). Dodano nowe zdanie, zawierające

Tab. 4. Zmiany wymagań odnośnie warunków użytkowania znamionowych analizatora

a	Temperatura otoczenia	od 0 °C do 40 °C dla analizatorów stacjonarnych od -5 °C do 45 °C dla analizatorów przewoźnych od -10 °C do 45 °C dla analizatorów przenośnych
b	Wilgotność względna otoczenia	Do 85 % w maksymalnej temperaturze użytkowania znamionowej
k	Ułamek molowy CO₂ w wydychanym powietrzu	do 80 mmol/mol

wymaganie, aby EBA przynajmniej w trybie metrologicznym podawał wyniki w mg/L. Wymagania metrologiczne opisane w Rozdziale 6 uległy pewnym zmianom. W pkt. 6.3 znalazło się jednoznaczne wymaganie, aby wszystkie pomiary w ramach kontroli metrologicznej były wykonywane w trybie pokazującym wynik pomiaru do trzeciego miejsca dziesiętnego. Nie zmieniły się wymagania odnośnie: zakresu pomiarowego, wartości największego dopuszczalnego błędu (tab. 3), powtarzalności, dryfu zera, dryfu krótkoterminowego, efektów pamięciowych.

Granica zakłócenia wskazania (granica błędu dodatkowego) została inaczej wyrażona, zamiast MPE podano wartość liczbową 0,02 mg/L (6.6.3). Nowe jest stwierdzenie, że MPE dla zatwierdzenia typu i legalizacji pierwotnej mogą też być wprowadzone do przepisów krajowych w zastosowaniu do legalizacji ponownej (obowiązkowej legalizacji okresowej, legalizacji po naprawie, legalizacji na życzenie). Użyte w poprzednim wydaniu pojęcie „EBA w eksploatacji” mogło być różnie interpretowane, nie było jasne, czy dotyczy to również legalizacji ponownej. Obecnie uściślono wymagania tak, że obejmują legalizację ponowną. Zmianie uległo wymaganie dotyczące okresu badania dryfu długoterminowego. Obecnie nie może on przekraczać wartości 0,02 mg/L w dłuższym czasie (6 miesięcy zamiast 2 miesięcy), przy pomiarach wykonywanych co 2 tygodnie (6.8.3). Dodano nowe wymaganie dotyczące wpływu kondensacji pary wodnej – nie może on przekraczać wartości MPE w minimalnej temperaturze użytkowania znamionowej. Dodanie tego wymagania wynika z faktu, iż występuje ono w normach europejskich [9–10] dotyczących analizatorów „niższego rzędu”, w związku z tym uznano za konieczne jego wprowadzenie także do wymagań dla EBA. Zmieniono wymagania odnośnie warunków użytkowania znamionowych (6.10.1). Zmiany te przedstawiono w tab. 4 i wyróżniono pogrubionym drukiem. Zmieniono wymagany zakres temperatur pracy (podwyższono górny zakres temperatur, obniżono dolną granicę zakresu dla EBA stacjonarnych, a podwyższono dla przewoźnych). Zmniejszono maksymalną zawartość ditlenku węgla (CO₂) w wydychanym powietrzu, zmieniając przy tym jednostkę

miary z % vol. na mmol/mol. Zmniejszenie jest uzasadnione występującą w praktyce zawartością maksymalną CO₂ w oparciu o dostępne wyniki badań. Wymagania co do wilgotności względnej zostały rozszerzone także na analizatory stacjonarne.

Zmienione zostały wymagania dotyczące warunków wydechu (6.10.2), tj. skrócono minimalny czas wydechu do 3 sekund.

Jak każdy przyrząd pomiarowy, EBA musi być odporny (w granicach wyspecyfikowanych w zaleceniu) na zakłócenia czyli wielkości wpływające, których wartość wykracza poza warunki użytkowania znamionowe. W pkt. 6.11.1 podano interpretację pojęcia „odporny”. Należy rozumieć to tak, że nie występuje znaczne zakłócenie wskazania (znaczny błąd dodatkowy) lub też wbudowany w EBA układ sprawdzający wykrywa znaczne zakłócenia wskazania i na nie reaguje. Zjawiska mogące powodować zakłócenia oraz wymagany stopień odporności na nie EBA przedstawiają tab. 5 i 6. Zmiany wymagań wyróżnione zostały pogrubionym drukiem.

W tab. 5 zostały celowo pominięte wymagania zalecenia (wiersz f) dotyczące przyrządów zasilanych z sieci prądu stałego (DC), ponieważ nie jest to sytuacja spodziewana w Polsce. Dla porządku należy jednak odnotować, że w OIML R 126-1:2021 wprowadzone zostały nowe wymagania w tym zakresie. Zostało przy tym wyjaśnione, jak należy rozumieć zasilanie z sieci. Dotyczy to wyłącznie zasilania energią elektryczną bezpośrednio z sieci (nielokalnej). Tym samym korzystanie z energii elektrycznej ze źródeł przenośnych lub ruchomych, takich jak akumulatory samochodowe lub generatory, nie jest uważane za zasilanie z sieci. Pojęcie sieć DC nie stosuje się także do zasilacza AC/DC, stosowanego do zasilania EBA w energię elektryczną. W tym przypadku zasilacz jest uważany za część EBA i dlatego stosuje się wymagania dotyczące sieci prądu zmiennego. Zwiększenie zakresu częstotliwości dla odporności EBA na pola elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej wynika z wprowadzenia technologii 5G w telefonii komórkowej. Wymagania w wierszach g i h pozostały niezmienione, chociaż są opisane w inny sposób. W wierszu

Tab. 5. Wymagania odporności na zakłócenia podczas narażenia, gdy przyrząd jest włączony i wykonywane są pomiary (wyciąg)

	Zakłócenia	Stopień narażenia			
a	Pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej	Zakres częstotliwości od 80 MHz do 6000 MHz, 10 V/m, AM 80 %, modulacja sinusoidalna			
b	Wyładowania elektrostatyczne	6 kV dla wyładowań kontaktowych lub 8 kV dla wyładowań w powietrzu			
c	Seria szybkich elektrycznych stanów przejściowych w liniach zasilania	Amplituda 1 kV częstotliwość powtórzeń 5 kHz			
d	Udary elektryczne w liniach zasilania	Linia do linii 1 kV Linia do uziemienia 2 kV			
e	Seria szybkich elektrycznych stanów przejściowych w liniach sygnałowych, danych i sterowania	Amplituda 1 kV częstotliwość powtórzeń 5 kHz			
g	Zapady, krótkie przerwy i zmiany napięcia zasilania AC		Amplituda napięcia nominalnego	Czas trwania	
		Spadki napięcia	0 % 70 %	0,5 i 1 cykl 25 cykli	
		Krótkie przerwy	0 %	250 cykli	
h	Udary elektryczne w liniach sygnałowych, danych i sterowania	Linie	Linia do linii	Linia do uziemienia	Ekran do uziemienia
		Niesymetryczne	1 kV	2 kV	
		Symetryczne	-	2 kV	
		Ekranowane linie I/O	-	-	2 kV
i	Elektryczne stany przejściowe przewodzone przez przewody zasilania z akumulatora pojazdu	Napięcie na akumulatorze	$U_{nom} = 12 \text{ V}$	$U_{nom} = 24 \text{ V}$	
		Impuls 2a	+112 V	+112 V	
		Impuls 2b	+10 V	+20 V	
		Impuls 3a	-220 V	-300 V	
		Impuls 3b	+150 V	+300 V	
j	Elektryczne stany przejściowe przewodzone przez przewody inne niż przewody zasilania	Napięcie na akumulatorze	$U_{nom} = 12 \text{ V}$	$U_{nom} = 24 \text{ V}$	
		Impuls a	-60 V	-80 V	
		Impuls b	+40 V	+80 V	

Tab. 6. Wymagania odporności na zakłócenia po narażeniu na nie EBA

a	Udary mechaniczne	Analizator	Stacjonarny	Przewoźny	Przenośny
		Wysokość upadku	25 mm	50 mm	1 m
		Liczba upadków (na każdą z dolnych krawędzi)	1	1	6
b	Wstrząsy	10 g, 6 ms, 2 Hz, w 3 osiach, 1000 wstrząsów na oś			
c	Wilgotne gorąco, cykliczne (z kondensacją)	Analizator	Stacjonarny	Przewoźny	Przenośny
		Temperatura	Nie dotyczy	55 °C	55 °C
		Liczba cykli		2 cykle	4 cykle
d	Temperatura przechowywania	-25 °C przez 6 godzin, +70 °C przez 6 godzin			
e	Drgania przypadkowe (tylko analizatory stacjonarne)	10 Hz do 150 Hz, 1,6 m s⁻², 0,05 m² s⁻³, -3 dB/oktawę			

Tab. 7. Odporność EBA na substancje interferujące

Substancja interferująca	Czułość (zmiana (±) wskazania w mg/L w stosunku do stężenia masowego w fazie gazowej)
aceton	0,2
metanol	1
2-propanol	1
tlenek węgla	0,5

g zamiast redukcji napięcia wprowadzono pojęcie amplitudy, zaś w wierszu h zamiast pojęć: linia zbalansowana i niezbalansowana użyto pojęć: linia symetryczna i niesymetryczna. Wymagania w zakresie odporności na elektryczne stany przejściowe przewodzone przez przewody zasilania z akumulatora pojazdu (wiersz i) oraz przez przewody inne niż przewody zasilania (wiersz j) zostały całkowicie zmienione.

Zwiększono do 6 liczbę upadków dla analizatorów przenośnych. Dla analizatorów stacjonarnych dodano wymaganie odporności na drgania. Tu słowo wyjaśnienia. Dla

analizatorów przewoźnych i przenośnych drgania przypadkowe są uwzględnione jako wielkość wpływająca w warunkach użytkowania znamionowych. W przypadku analizatorów stacjonarnych nie występują drgania w czasie wykonywania pomiarów, stąd nie są uwzględnione w warunkach użytkowania znamionowych. EBA może jednak być narażony na drgania w trakcie transportu, więc jest to potraktowane jako zakłócenie, na które EBA musi być odporny. Wprowadzone zmiany mają na celu zgodność z aktualnym wydaniem OIML D11 [26].

Wymagania co do odporności na obecne w wydychanym powietrzu substancje fizjologiczne nie zostały w praktyce zmienione, choć opis wymagań jest nowy (tab. 7). Posłużono się koncepcją czułości (pkt. 4.12 w [24]), przy czym czułość odnosi się tu nie do menzurandu, ale do substancji interferującej. Dla metanolu i 2-propanolu np. wymaganie, aby czułość nie była większa niż 1, oznacza tyle, że EBA nie może być czulszy w stosunku do nich niż w stosunku do etanolu. Należy także zwrócić uwagę na nagłówek drugiej kolumny tab. 7, gdzie jest mowa o zmianie \pm , czyli uwzględniona jest także możliwość obniżenia sygnału przez interferent.

Pozostały te same 4 substancje interferujące co w wydaniu z 2012 r. (w wydaniu z 1998 r. było ich 9), choć odbyła się dyskusja nt. przywrócenia na tę listę aldehydu octowego. Argumentem za tym jest fakt, że jest on bezpośrednim metabolitem utleniania etanolu z udziałem dehydrogenazy alkoholowej. W kolejnym (szybszym) etapie reakcji aldehyd jest utleniany do kwasu octowego z udziałem dehydrogenazy aldehydowej i dalej do dwutlenku węgla i wody. U części ludności świata występuje jednak deficyt tego enzymu, co skutkuje obecnością aldehydu w organizmie. Także pewne środki farmakologiczne, stosowane w leczeniu alkoholizmu, blokują działanie tego enzymu. Z drugiej strony, podobnie jak w poprzednim wydaniu, zalecenie dopuszcza, aby krajowe regulacje prawne wymagały dodatkowo innych substancji. Nic zatem nie stoi na przeszkodzie, aby kraje, które uważają to za stosowne, uwzględniły w swoich przepisach aldehyd octowy. Propozycja jego dodania nie uzyskała jednak większości, więc lista interferentów pozostała niemieniona. Było to powodem głosowania przeciw znowelizowanemu zaleceniu przez Niderlandy. Zupełnie nowym jest pkt. 6.11.3, w którym określono opcjonalne wymagania co do odporności przenośnych EBA na zakłócenia możliwe w szczególnych warunkach otoczenia, które to wymagania mogą być wprowadzane do krajowych przepisów. Te szczególne warunki to: wysokie zapylenie (np. piasek, kurz – w warunkach pustynnych), słona mgła (np. na pokładach statków morskich), deszcze i rozpryski wody. EBA, co do których deklaruje się, że są w stanie działać zgodnie z wymaganiami w tych bardziej surowych warunkach, muszą być odpowiednio oznakowane.

Rozdział 7 *Wymagania techniczne* został podzielony na dwie części. W pierwszej (pkt. 7.1) opisano wymagania podstawowe, które muszą spełniać wszystkie EBA, a w drugiej (pkt. 7.2) wymagania opcjonalne, które mają zastosowanie tylko do przyrządów wyposażonych w funkcje dodatkowe, wymagane przez przepisy krajowe. Pojawił się nowy podpunkt 7.1.13 dotyczący przedstawiania wyników w trybie metrologicznym. Muszą one być jednoznacznie rozróżnialne od wyników prezentowanych w zwykłym trybie pomiarowym. Maksymalny dopuszczalny czas

nagrzewania (7.1.4) został zróżnicowany w zależności od rodzaju EBA. Dla analizatorów stacjonarnych i przenośnych wynosi on jak poprzednio 15 minut, dla przyrządów przenośnych wynosi 5 minut. Nowy jest pkt. 7.1.6, określający minimalną liczbę pomiarów bez wymiany lub ładowania baterii dla przenośnych EBA zasilanych wyłącznie z baterii. W ramach porządkowania struktury dokumentu do pkt. 7.1.9 przeniesione zostały wymagania dotyczące ustników jednorazowych i ich stosowania. Znaczące zmiany wprowadzono do pkt. 7.1.10 *Oprogramowanie*. Wymagania dla oprogramowania zostały dostosowane do aktualnego wydania dokumentu OIML D31 [27] i dotyczą: identyfikacji oprogramowania, prawidłowości algorytmów i funkcji, zapobiegania niewłaściwemu użyciu, ochrony przed fałszerstwem, wykrywania błędów, interfejsów, konserwacji i weryfikacji oprogramowania oraz dokumentacji oprogramowania. Opcjonalne wymagania opisane w pkt. 7.2 obejmują: trwałość zapisu wyników pomiarów (drukowanie, przechowywanie i transmisję danych) oraz redundancję (konfiguracja przyrządu, wyniki pomiarów). W wymaganiach dotyczących drukarki (7.2.1) usunięto sformułowanie z poprzedniego wydania dotyczące drukarek nie objętych prawną kontrolą jako wykraczające poza zakres zalecenia. Lista informacji wymaganych na wydruku została poszerzona o dane EBA oraz dane osoby badanej, jeżeli to wymagane jest przez krajowe przepisy. Punkt 7.2.2 *Redundancja* jest nowym wymaganiem. Obejmuje on 3 przypadki konfiguracji analizatora zgodnie z wymaganiem krajowych przepisów: cyklu pomiarowego składającego się z 2. lub więcej powtórzeń wydechu osoby badanej, użycia wzorca gazowego do weryfikacji poprawności wyniku lub dwóch niezależnych czujników pomiarowych w EBA. W tym ostatnim przypadku każdy układ pomiarowy powinien spełniać wymagania dotyczące dokładności i precyzji, a zakłócenie pracy jednego układu pomiarowego nie może wpływać na drugi układ pomiarowy w granicach MPE. Kryteria jakie należy przyjąć przy akceptacji wyniku pomiaru w każdym z 3. ww. przypadków omówiono w pkt. 7.2.2.2 zalecenia.

W rozdziale 8 *Instrukcje obsługi* umieszczono wymaganie, aby instrukcje zawierały wytyczne dotyczące stosowania ustnika (z uwzględnieniem aspektu higienicznego). W rozdziale 9 *Oznaczenia i plomby* usunięty został tekst dotyczący filtrów powietrza.

Zmiany w R 126-2:2021 [30]

Część 2 zalecenia została znacząco przeredagowana. W rozdziale 1 *Kontrola metrologiczna* uściślono zakres tej części. Przedstawia ona opis oględzin i badań przy ewaluacji typu, legalizacji i podczas nadzoru, służących do weryfikacji zgodności przyrządu z wymaganiami określonymi w części 1 [24]. Dodano także akapit dotyczący

Tab. 8. Procedury walidacji oprogramowania

	Procedura walidacji*	Poziom badania	Uwagi
Identyfikacja oprogramowania	AD + VFTSw	A	Jeśli wymagany jest wyższy poziom (B), należy również wykonać CIWT
Prawidłowość algorytmów i funkcji			Jeśli wymagany jest wyższy poziom (B), należy również wykonać CIWT/ SMT
Zapobieganie niewłaściwemu użyciu			Zakłada się niskie ryzyko niewłaściwego użycia
Ochrona przed fałszerstwem			Zakłada się niskie ryzyko fałszerstwa
Wykrywanie błędów			
Interfejsy			
Konserwacja oprogramowania	AD + VFTSw + VFTM		Dla zweryfikowanych procedur aktualizacji
Przechowywanie danych	AD + VFTSw		Dla przechowywania danych w EBA
	AD + VFTSw CIWT/SMT ⁽¹⁾	B	Jeżeli wymagane przez przepisy krajowe, dla przechowywania w środowisku niezabezpieczonym
Automatyczny zapis w pamięci	AD + VFTSw		Jeśli wymagany jest wyższy poziom (B), należy również wykonać SMT
Transmisja danych	AD + VFTSw CIWT/SMT ⁽¹⁾		Transmisja do otwartych systemów, jeżeli wymagana przez przepisy krajowe

* objaśnienie skrótów procedur walidacji oprogramowania

Skrót	Opis	Zastosowanie	Dla poziomu
AD	Analiza dokumentacji sprawdzenie rozwiązań projektowych	Zawsze	A (poziom normalny)
VFTM	Sprawdzenie przez testy funkcjonalne funkcji metrologicznych	Poprawność algorytmów, niepewność, algorytmy kompensujące i korygujące	
VFTSw	Sprawdzenie przez testowanie funkcji oprogramowania	Prawidłowość funkcjonowania komunikacji, wskazań, ochrona przed oszustwami, ochrona przed błędami w obsłudze, ochrona parametrów, wykrywanie błędów	
CIWT	Inspekcja i analiza kodu	Do wszystkich celów	B (poziom podwyższony)
SMT	Badanie modułów oprogramowania	Do wszystkich celów, gdy wejście i wyjście można jednoznacznie zdefiniować	

⁽¹⁾ Procedura SMT stosowana tylko w przypadkach, gdy funkcje modułu oprogramowania nie mogą być zbadane wg procedury CIWT

niepewności wyników, mówiący, że niepewność metody badań należy brać pod uwagę przy decyzji o możliwości zastosowania danej metody i wskazano publikacje OIML dotyczące zagadnienia niepewności. Tytuł rozdziału 2. i punktu 2.1 został poprawiony, słowo „egzemplarz” zastąpiono słowem „przyrząd”. Uwzględniono w opisie zakresu ewaluacji (badania) typu podział wymagań na podstawowe i opcjonalne. Uściślono, poprzez wskazanie konkretnych punktów w dokumencie, które z badań muszą być wykonywane na tym samym przyrządzie, a które mogą być wykonane z użyciem dodatkowych (1–2) przyrządów. Akapit dotyczący adjustacji przed baniem typu przeniesiono do pkt. 2.5.1. Punkt 2.3 *Oględziny i badania* został znacząco zmodyfikowany dla lepszej jasności i uzupełniony o nowe badania wynikające z nowych wymagań w [23]. Zakres oględzin (2.3.1) nie uległ w zasadzie zmianom, zmiany mają charakter redakcyjny. Uwzględniono wspomniany wcześniej podział na wymagania podstawowe i opcjonalne, dla tych ostatnich wprowadzając warunek „o ile dotyczy”. Zastąpiono dwa terminy stosowane w [8] „urządzenia do dokonywania regulacji” i „urządzenia sprawdzające” wspólnym terminem „czynności sprawdzające”.

Procedury walidacji oprogramowania (2.3.2) zostały rozszerzone i dostosowane do obowiązującego wydania [27]. Przedstawia je tab. 8. Zmiany w stosunku do [8] wyróżniono pogrubionym drukiem.

Nowy pkt. 2.3.3 *Badania funkcjonalne* został wyodrębniony z pkt. 2.3 dla bardziej logicznego układu tekstu. Punkt 2.4 otrzymał nowy tytuł *Warunki badań i generator wzorca gazowego*. Warunki odniesienia w których mają być wykonywane badania (2.4.1) rozszerzono o wymagania dotyczące dopuszczalnego dryfu temperatury ($< 3 \text{ }^\circ\text{C/h}$), a charakterystykę wydychanego powietrza (2.4.2) uzupełniono o temperaturę i wilgotność względną. Tytuły w pkt. 2.4.3 zostały poprawione i ich treść odpowiednio przeorganizowana. Parametry gazów testowych zostały zestawione w tabeli w podpunkcie 2.4.3.1. Zmieniono wymagany czas wydechu z $(5 \pm 0,5) \text{ s}$ na $\geq 5 \text{ s}$, dodano dopuszczalne odchylenie stężenia we wzorcu gazowym od nominalnego ($\pm 2\%$ MPE) oraz zmieniono opis wymaganej zawartości CO_2 we wzorcu: zamiast $(5 \pm 0,5) \%$ objętościowych jest $(50 \pm 5) \text{ mmol/mol}$. Pozostała treść podpunktu 11.4.3.2 z [8] została przeniesiona do podpunktów 2.4.3.2 i 2.4.3.3. Podano więcej informacji na temat różnych typów generatorów wzorców gazowych, a w tabeli zestawiono cechy poszczególnych typów generatorów (2.4.3.2) (tab. 9).

Załącznik A, który został całkowicie przeredagowany i otrzymał nowy tytuł *Ogólne przykłady generatorów wzorców gazowych*, zawiera zmienioną treść załącznika C z [8] oraz załącznika G z [7]. Symbole wielkości, rysunki

przykładowych generatorów wzorców gazowych zostały zmienione. Równanie Dubowskiego zapisane jest w postaci:

$$\beta_{(t)} = 0,04145 \times 10^{-3} \gamma_{(t)} e^{0,06583t} \quad (1)$$

Jednoznacznie wynika z niego, że oba stężenia: w fazie gazowej (β) i wodnej (γ) odnoszą się tej samej temperatury t . Usunięta została zatem pewna niejednoznaczność poprzedniego zapisu prowadząca do różnej interpretacji stężenia etanolu w fazie wodnej. Analogiczna zmiana dotyczy także formuły Hargera. Dodany został wykres zmiany stężenia w połączonych szeregowo 3. naczyniach barbożowych, uzasadniający konieczność stosowania kilku połączonych szeregowo naczyń (symulatorów). W załączniku A znalazły się także ogólne informacje na temat profili wydechu z załącznika G w [8], przy czym usunięto jeden z rysunków.

W podpunkcie 2.4.3.2 znajdziemy tabelaryczne zestawienie możliwości stosowania uproszczonych sposobów generowania wzorca gazowego do poszczególnych badań (tab. 10).

Opis przebiegu wszystkich badań został przedstawiony w tabelach o ujednoczonym układzie dla wszystkich badań. Kolejne wiersze tabel zawierają: tytuł metody badań, odwołanie do mających zastosowanie norm (ISO, IEC), informację co do rodzaju analizatorów, do których badanie ma zastosowanie, przedmiot badania (jakie wymaganie jest potwierdzane z odwołaniem do odpowiednich punktów [25]), stan analizatora podczas badania (włączony, wyłączony), skrócony opis procedury badania (sekwencja pomiarów), poziom badania, warunki pomiaru, działanie przyrządu (liczba pomiarów, przebieg w czasie, zapisy) oraz kryteria akceptacji wyniku. Aby uniknąć w opisie każdego z badań powtarzających się wymagań odnośnie zapisów wprowadzono nowy podpunkt 2.5.3, definiujący co muszą zawierać zapisy w każdym badaniu. W 2.5.5.1 najwyższe stężenie (wzorzec nr 8) zostało zmniejszone z $1,95 \text{ mg/L}$ do $1,90 \text{ mg/L}$. Zmiana spowodowana jest tym, że w przypadku przyrządów o zakresie pomiarowym do 2 mg/L mogą one nie podawać wyniku powyżej $2,000 \text{ mg/L}$, tylko wyświetlać komunikat o przekroczeniu zakresu. Biorąc pod uwagę, że MPE dla $1,95 \text{ mg/L}$ wynosi $0,098 \text{ mg/L}$, czyli poprawne wskazania mogą być wyższe niż $2,000 \text{ mg/L}$ (do $2,048 \text{ mg/L}$), nie byłoby możliwe określenia dokładności dla tego stężenia. W przypadku użycia wzorca o stężeniu $1,90 \text{ mg/L}$, wartość po dodaniu MPE nie przekroczy $2,000 \text{ mg/L}$ ($1,995 \text{ mg/L}$). Zmieniono opis badania dryfu długoterminowego (2.5.5.2), dostosowując go do zmienionych wymagań (pomiar wykonywane przez 6 miesięcy co 2 tygodnie). Dodatkowo zaleca się, aby laboratorium wykonujące badanie odnotowało wszystkie przypadki wyłączenia przyrządu lub też jego przechodzenia w stan czuwania w czasie trwania badania. W 2.5.5.3

Tab. 9. Typy generatorów wzorca gazowego i ich cechy

Cecha	Typ 2	Typ 1	Uproszczone		
			Typ 1 bez CO ₂	Gaz suchy z CO ₂	Gaz suchy bez CO ₂
Zdolność do generowania zadanych profili wydechu (stężenia etanolu)	✓				
Temperatura gazu (34 ± 0,5) °C	✓	✓	✓		
Wilgotność względna (95 ± 5) %	✓	✓	✓	✓	
Ułamek molowy CO ₂ (50 ± 5) mmol/mol	✓	✓		✓	
Generowanie różnych wartości strumienia objętości	✓	✓	✓		✓

Tab. 10. Dopuszczalność stosowania uproszczonych wzorców gazowych do badań

Punkt w [30]	Badania	Dozwolony wzorzec suchy	Dozwolony wzorzec bez CO ₂
2.5.5.1 do 2.5.5.3	Dokładność, powtarzalność, dryf, efekty pamięci	NIE	NIE
2.5.5.4	Wpływ kondensacji pary wodnej	NIE	TAK
2.5.6.1	Zmiany parametrów wzorca	TAK	TAK
2.5.6.2	Wpływ alkoholu zalegającego	NIE	TAK
2.5.7.1, 2.5.7.2, 2.5.8.15, 2.5.8.16	Wpływ temperatury i wilgotności	NIE	TAK
2.5.7.3 do 2.5.7.10, 2.5.8.1 do 2.5.8.14, 2.5.8.17	Fizyczne czynniki wpływające i zakłócenia (elektryczne, elektromagnetyczne i mechaniczne)	TAK	TAK
2.5.7.11	Wpływ węglowodorów w otoczeniu	TAK	TAK
2.5.7.12	Podwyższona zawartość CO ₂ we wzorcu gazowym	TAK	NIE
2.5.9	Interferencje powodowane przez związki chemiczne	TAK	TAK
2.5.6.1 do 2.5.6.3	Opcjonalnie: wpływ zapylenia, słonej mgły i wody	NIE	TAK

zmodyfikowano stężenie we wzorcu nr 8 zgodnie z 2.5.5.1. Nowe jest, wynikające z wprowadzenia nowego wymagania w punkcie 6.9.3 w [23], badanie wpływu kondensacji pary wodnej (2.5.5.4). Badanie polega na sekwencji 10 pomiarów stężenia 0,00 mg/L i 5 pomiarów stężenia 0,40 mg/L w temperaturze odpowiadającej dolnej granicy zakresu temperatur znamionowego, a kryterium oceny wyników jest MPE. Podpunkt 2.5.6 zawiera opis badania wpływu parametrów wzorców gazowych (2.5.6.1) oraz alkoholu zalegającego (resztkowego) w jamie ustnej. To ostatnie (2.5.6.2) pojawiło się w części 2 [30], aby każdemu wymaganiu z części 1 [23] odpowiadało badanie opisane w [30]. Podpunkt 2.5.6.2 zawiera jednak tylko podstawowe informacje i tak jak poprzednio, szczegółowe opisy przykładowych procedur znajdują się w załączniku B. Przeredagowano go (nowe symbole, opisy badań s tabelaryzowane wg przyjętego wzoru) i poprawiono błędy załącznika A w [8]. W badaniach wpływu parametrów wzorców gazowych (2.5.6.1) zmniejszono wymaganą liczbę pomiarów z 10 do co najmniej 5. W opisie warunków generowania wzorca gazowego zastąpiono wymaganie braku zmian ciśnienia na wymaganie braku zmian strumienia objętości gazu. W badaniach wpływu przerwy w wydechu (opisanych pod literą e) każdy z 4 testów opatrzono tytułem informującym o celu testu. Opisy uzupełniono o wspomniane wyżej wymaganie dotyczące strumienia objętości gazu, zaś w teście weryfikacji minimalnej objętości wydechu (nr 2) dodano wymaganie aby dostarczona do analizatora objętość gazu była mniejsza niż 1,2 L. Dodano nowy test (opisany pod literą f) polegający na sprawdzeniu działania analizatora przy objętości wydechanej powietrza 1,2 L do 1,3 L i minimalnym czasie wydechu oraz czasie krótszym o 0,5 s.

Podpunkt 2.5.7 obejmuje badania wpływu warunków pracy analizatora i wpływu czynników fizycznych. Badania wpływu niskich i wysokich temperatur (bez kondensacji) zostały połączone w jedną sekwencję (2.5.7.1). Sekwencja ta przedstawia się następująco: pomiary w temperaturze odniesienia (20 °C), w temperaturze znamionowej maksymalnej dla danego rodzaju analizatora, temperaturze minimalnej dla tego rodzaju i ponownie w temperaturze odniesienia. Dodano wymaganie, aby prędkość zmiany temperatury przy przechodzeniu pomiędzy kolejnymi temperaturami nie przekraczała 1 °C/min. Zmodyfikowano temperatury minimalne i maksymalne zgodnie z wymaganiami [23] (tab. 4). W badaniu wpływu wilgotnego gorąca (2.5.7.2) zmieniono temperatury – badanie obowiązuje także dla analizatorów stacjonarnych. Określono czas testu na 2 x 24 h. W badaniach wpływu ciśnienia, wibracji, napięcia i częstotliwości zasilania (2.5.7.3 do 2.5.7.7) oraz zmian napięcia akumulatora pojazdu (2.5.7.10) nie zaszyły zasadnicze zmiany, ich opisy zostały uzupełnione i stały się

bardziej klarowne (np. dla badania wpływu ciśnienia dodano wymagania odnośnie niepewności wartości ciśnienia). Wprowadzono zmianę w badaniu wpływu niskiego stanu naładowania baterii dla analizatorów przenośnych (2.5.7.8). Sekwencja badania wygląda obecnie następująco: pomiary przy napięciu nominalnym, minimalnym, przy 90% napięcia minimalnego i ponownie przy napięciu nominalnym. Nowe jest badanie sprawdzające spełnienie wymagania odnośnie minimalnego czasu zasilania z baterii. Polega na wykonaniu 50 pomiarów w temperaturze odniesienia, a następnie 20 pomiarów w temperaturze -10 °C po 2 godzinach ekspozycji w tej temperaturze. Badanie wpływu obecności węglowodorów w otoczeniu (2.5.7.11) nie uległo zmianie – dodano tytuł, którego brakowało w 11.4.4.13 w [8]. Opis badania wpływu podwyższonej zawartości CO₂ w powietrzu wydechany uwzględnił erratę 2 do [8] oraz zmniejszony z 10 % do 8 % ułamek molowy CO₂ (tab. 4).

Podpunkt 2.5.8 obejmuje badania odporności analizatora na zakłócenia. Zasadniczo zmienił się opis badania odporności na zaburzenia przewodzone, indukowane przez pola o częstotliwości radiowej (2.5.8.1). Gdy przyrząd pracuje w zwykłym trybie metrologicznym badanie jest bardzo czasochłonne, pracochłonne i powoduje znaczne trudności w praktycznej jego realizacji. Dlatego też wprowadzono nowe podejście polegające na wymaganiu stosowania jednego z dwóch schematów badania: A lub B. Producent musi zapewnić możliwość realizacji jednego z nich, a procedura badania zapewniona przez producenta musi zostać zatwierdzona przez władze krajowe. Schemat A wymaga, aby przyrząd oprócz trybu metrologicznego miał dodatkowy specjalny tryb do badań, uwzględniający wszystkie możliwe wpływy spowodowane zakłóceniami. W trybie tym monitorowane muszą być wszystkie sygnały wyjściowe z czujników, po wcześniejszym określeniu jaki wpływ mają ich zmiany na wynik pomiaru. Czyli każdy z tych sygnałów ma wyznaczony swój własny MPE. Alternatywnie może zostać zastosowany algorytm służący do obliczenia wyniku końcowego na podstawie sygnałów z czujników, stosowany w normalnym działaniu analizatora. Przeprowadzenie badania wg schematu A wymaga ścisłej współpracy z producentem i zatwierdzenia procedury z władzami krajowymi. W przypadku stwierdzenia zmiany sygnału wyjściowego dla konkretnej częstotliwości należy wykonać przy tej częstotliwości 5 pomiarów stężenia alkoholu w trybie metrologicznym. Jeżeli nie stwierdzono zmian sygnałów należy wykonać przynajmniej 5 takich pomiarów w całym zakresie częstotliwości. Schemat B wymaga ciągłych pomiarów w trybie metrologicznym podczas narażenia na zakłócenia. W przebiegu badania należy uwzględnić czas między kolejnymi pomiarami. Podobne zmiany (schematy A i B) dotyczą także badania odporności na promieniowane pole elektromagnetyczne

o częstotliwości radiowej (2.5.8.2). Dodatkowo rozszerzono zakres częstotliwości do 6 000 MHz, tj. dostosowano poziom narażenia do wymagań (tab. 4). W badaniach odporności na wyładowania elektrostatyczne (2.5.8.3) oraz odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych w liniach zasilania (2.5.8.4) i liniach sygnałowych, transmisji danych i sterowania (2.5.8.6), poza uzupełnieniem badania 2.5.8.6 o czas trwania testu (≥ 1 min dla każdej amplitudy i polaryzacji), rozszerzeniem i ujednoczeniem opisów badań w tabelach zgodnie z przyjętym wzorem, nie zaszły istotne zmiany. Podobnie wygląda sytuacja dla badań odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia prądu przemiennego (2.5.8.9), odporności na udary elektryczne w liniach sygnałowych, transmisji danych i sterowania (2.5.8.10). Nie zmienił się przebieg badań, a jedynie uzupełniono i poprawiono ich opisy (w 2.5.8.9 dostosowano nomenklaturę, aby była zgodna z tą przyjętą w opisie wymagań w [23] (tab. 5)). Zmieniono przebieg badania odporności na przewodzenie elektrycznych przebiegów przejściowych wzdłuż przewodów zasilających (z akumulatora pojazdu) (2.5.8.11). Ograniczono go do 4. rodzajów impulsów: 2a – stany przejściowe spowodowane nagłym odcięciem zasilania w urządzeniu połączonym równolegle z badanym urządzeniem, wynikającym z indukcyjności zespołu przewodów, 2b – stany przejściowe z silników DC działających jako prądnice po wyłączeniu zapięciu, 3a i 3b – stany przejściowe w liniach zasilających, które powstają w wyniku procesów włączania i wyłączania. Nowe są badania odporności na udary elektryczne w liniach zasilania (2.5.8.5), dotyczące EBA zasilanych z sieci oraz badania odporności na obecność składowej zmiennej w stałym napięciu zasilającym (2.5.8.7) i odporności na zapady, krótkie przerwy i zmiany napięcia (2.5.8.8), oba dotyczące jednak wyłącznie EBA zasilanych z sieci DC. Nowe jest też badanie odporności na rozchodzenie się stanów przejściowych powodowanych sprzężeniami po przewodach innych niż przewody zasilania (2.5.8.12), dotyczące linii we/wy przewoźnych EBA instalowanych w pojazdach. W badaniu odporności na udary mechaniczne (2.5.8.13) zwiększono do 6 liczbę upadków w przypadku analizatorów przenośnych. Nie uległ zmianie przebieg kolejnych trzech badań, wykonywanych po narażeniu na zakłócenia, podczas których przyrząd pozostaje wyłączony: badanie odporności na wstrząsy (2.5.8.14), odporności na wilgotne gorąco (z kondensacją) (2.5.8.15) EBA przewoźnych i przenośnych oraz odporności na zmiany temperatury w czasie przechowywania, gdy przyrząd nie jest użytkowany (2.5.8.16). Do opisów tych badań dodano, jak wygląda sekwencja badania: 1) pomiary przed narażeniem na zakłócenia (w warunkach odniesienia), 2) poddanie przyrządu zakłóceniom i 3) pomiary po zakończeniu narażenia (w warunkach odniesienia). Opis badania

2.5.8.15 poprawiono – przyrząd ma być wyłączony podczas narażenia na zakłócenia. Kolejnym dodanym nowym badaniem (2.5.8.17) jest badanie odporności na drgania przypadkowe dla EBA stacjonarnych (w tym przypadku traktowanych jako zakłócenie). W stosunku do opisanego w 2.5.7.4 badania wpływu drgań przypadkowych dla EBA przewoźnych i przenośnych (traktowanych jako czynnik wpływający), różnica polega na zastosowaniu poziomu całkowitego RMS (pierwiastka średniej kwadratowej tj. wartości średniej przyspieszenia) o wartości $1,6 \text{ m s}^{-2}$ zamiast 7 m s^{-2} oraz poziomu ASD (gęstości widmowej przyspieszenia) w zakresie częstotliwości od 10 Hz do 20 Hz o wartości $0,05 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ zamiast $1 \text{ m}^2 \text{ s}^3$.

Podpunkt 2.5.9 obejmuje badania odporności na substancje pochodzenia fizjologicznego (interferenty). Sama idea badania i jego przebieg nie uległy zmianie. Zmiany w opisie wynikają z zastosowania podejścia opartego na pojęciu „czułość” (tab. 5). Podano wzór do obliczania czułości na podstawie uzyskanych wyników pomiarów. Dodano też trzeci stopień badania, w przypadku, gdy dla stężenia interferenta 5 razy niższego analizator sygnalizuje błąd. Należy wówczas zmniejszyć stężenie jeszcze dwukrotnie.

Nowością jest punkt 2.6 obejmujący badania potwierdzające spełnienie opcjonalnych wymagań co do odporności na zakłócenia przyrządów przeznaczonych do stosowania w szczególnych warunkach otoczenia (i odpowiednio oznakowanych). Badanie narażenia na oddziaływanie piasku i pyłu (2.6.1) polega na poddaniu analizatora działaniu temperatury zmieniającej się w zakresie od $30 \text{ }^\circ\text{C}$ do $65 \text{ }^\circ\text{C}$, przy wilgotność względnej $< 25 \%$, prędkości przepływu powietrza 3 m/s i stężeniu cząstek stałych 5 g/m^3 . Czas narażenia wynosi 2 godziny. Badanie odporności na korozję w środowisku mgły solnej (2.6.2) polega na ekspozycji przyrządu przez 24 godziny w warunkach rozpylenia 5% roztworu NaCl w temperaturze $35 \text{ }^\circ\text{C}$ i przy wilgotności względnej $> 85 \%$. Badany przyrząd pozostaje wyłączony podczas narażenia na oba powyższe zakłócenia. Ostatnie z nowych badań opcjonalnych, badanie odporności na środowisko mokre (deszcz, rozbryzgi wody) (2.6.3) polega na narażeniu włączonego przyrządu na działanie rozpylanej wody (poziom narażenia 2), równoważne z potwierdzeniem spełnienia wymagań zapewnienia przez obudowę stopnia ochrony IPX4 wg IEC 60529 [31].

Dodano nowy rozdział 3 *Legalizacja pierwotna i ponowna*, którego nie było w poprzednim wydaniu [8]. Częściowo przywrócono tu zapisy pkt. 8.2. i 8.3 z wydania wcześniejszego [7], jednak znacznie je zmieniając i rozszerzając. Zakres legalizacji pierwotnej i ponownej pozostaje w gestii władz krajowych. Badania powinny obejmować wizualną kontrolę zgodności EBA z zatwierdzonym typem oraz badania charakterystyki metrologicznej, tj. dokładności

dla przynajmniej 3. stężeń i minimum 3. powtórzeń pomiaru dla każdego z nich. Możliwe jest tu zastosowanie dwóch podejść: pomiary wykonywane w pełnym zakresie lub tylko w części zakresu stężeń. Decydują o tym władze krajowe. Mogą być również wykonywane dodatkowe badania z różnymi objętościami próbki powietrza, czasami wydechu, wartościami strumienia objętości czy większą liczbą powtórzeń. W zależności od konfiguracji przyrządu mogą być także konieczne dodatkowe sprawdzenia np. czujników ciśnienia i temperatury, jeżeli zostaną uznane za konieczne przez władze krajowe.

Nowa część 3: R 126–3:2021 [32]

Jak już wspomniano Część 3 zalecenia *Format sprawozdania z badań* jest nowa w stosunku do wydania poprzedniego [8]. Pewna forma raportu była zaproponowana w wydaniu z 1998 r. [7] (załącznik E). Stanowiła ona punkt wyjścia do opracowania aktualnego formatu. Format obowiązkowo musi być stosowany w ramach Systemu Certyfikacji OIML (OIML-CS) w języku angielskim lub francuskim oraz tłumaczony na języki krajów wydających takie certyfikaty, gdy jest to zasadne. Jest też zalecany do stosowania przez instytucje metrologiczne i laboratoria przy ewaluacji lub badaniu typu EBA zgodnie z zaleceniem R 126. W przypadku tłumaczenia na inne języki zalecane jest pozostawienie struktury oraz numeracji rozdziałów i punktów dla ułatwienia interpretacji przez osoby nie znające tego języka. Sprawozdanie składa się ze strony tytułowej wg wzoru obowiązującego w danym kraju oraz z rozdziałów do A do F:

A – dane instytucji odpowiedzialnej za raport,

B – wnioski końcowe z wyników badania,

C – zestawienie wyników oględzin (C.1) w układzie: wymaganie, tj. nr punktu z [23], nazwa badania, ocena spełnienia wymagań (spełnia, nie spełnia, nie dotyczy) oraz odnośnik do szczegółów dotyczących badania zawartych w rozdziale E; zestawienia wyników wykonanych badań (pomiarów) (C.2) w układzie, nr punktu w [30], w którym opisano badanie, nazwa badania, wymaganie, tj. nr punktu z [21], ocena spełnienia wymagań (spełnia, nie spełnia, nie dotyczy) oraz odnośnik do szczegółów dotyczących badania zawartych w rozdziale F,

D – ogólne informacje (o przyrządzie, laboratoriach badawczych, dostarczonej dokumentacji, wynikach wcześniejszych badań, które wzięto pod uwagę, o wyposażeniu stosowanym przy ewaluacji typu),

E – szczegółowe wyniki i opis przeprowadzonych oględzin, data, identyfikacja numeru fabrycznego ocenianego EBA oraz osoby wykonującej test, ocena spełnienia wymagań z [23],

F – szczegółowe wyniki pomiarów w badaniach funkcjonowania przyrządu. Dla każdego z badań (2.5.5.1 do 2.6.3 z [30]) została opracowana dedykowana tabela

uwzględniająca wszystkie dane niezbędne do odtworzenia przebiegu badania oraz wyniki oceny spełnienia wymagań z [23].

Przedstawione w [32] formularze stanowią znaczące ułatwienie dla instytucji i laboratoriów chcących włączyć się w ewaluację typu wg OIML R 126:2021.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono omówienie znowelizowanego wydania zalecenia OIML R 126:2021, kładąc nacisk na różnice w stosunku do wydania z 2012 r. Zalecenie zostało zatwierdzone przez Międzynarodowy Komitet Metrologii Prawnej (CIML) na 56. posiedzeniu oraz usankcjonowane przez 16 Międzynarodową Konferencję Metrologii Prawnej, która odbyła się w dn. 20–21 października 2021 r. Znowelizowany dokument został opublikowany na stronie OIML w dn. 3.12.2021 r. W jego opracowaniu, podobnie jak w przypadku poprzednich wydań, uczestniczyli przedstawiciele GUM. Nowe wydanie dokumentu stanowi nową jakość, jest kompletne – zawiera wymagania, spójne z nimi, powiązane metody badań na potwierdzenie spełnienia wymagań, wytyczne dotyczące legalizacji oraz dopracowany format sprawozdania z badania typu. Dokument ma przejrzysty układ, jest jasny i zrozumiały, wyeliminowano wiele wad, błędów, niejasne i nieprecyzyjne sformułowania z poprzedniego wydania, uzupełniono braki, dostosowując go do aktualnych wymagań innych dokumentów OIML. Stanowi podstawę do harmonizacji prawa w tym obszarze oraz ułatwia producentom analizatorów wydechu wejście na rynek międzynarodowy. Nowe wydanie zalecenia zostało przedstawione ostatnio w Biuletynie OIML przez współprzewodniczącą grupy projektowej (PTB i LNE) [33]. Oprócz zaprezentowania wprowadzonych zmian i procesu dochodzenia do konsensusu, w artykule zwrócono uwagę na wskazówki dotyczące implementacji zalecenia w prawodawstwie państw członkowskich OIML. Ze względu na znaczące różnice w podejściu różnych państw i wynikającą stąd niemożność ustalenia jednego uniwersalnego zestawu wymagań, zalecenie pozostawia wiele decyzji władzom krajowym. Autorki artykułu [33] wyróżniły dwie kategorie zagadnień wymagających takiej decyzji: kategorię A, gdzie decyzja każdego z państw jest konieczna oraz kategorię B obejmującą wymagania opcjonalne, gdzie regulacja na poziomie krajowym jest potrzebna tylko, jeżeli władze krajowe uznają to za właściwe. Należy teraz oczekiwać na reakcję państw członkowskich OIML, tj. oczekiwać odpowiedzi na pytanie, czy i w jakim stopniu zalecenie zostanie wdrożone przez te kraje w swoich przepisach wewnętrznych. Ciekawe również czy i kiedy zostanie zaimplementowany w systemie certyfikacji OIML (OIML-CS), skutkując certyfikatami potwierdzającymi zgodność z R 126:2021. W Polsce, w związku

z rozważanym przywróceniem prawnej kontroli metrologicznej analizatorów wydechu, zalecenie OIML R 126:2021 będzie stanowiło podstawę opracowania wyjściowego projektu rozporządzenia w sprawie prawnej kontroli metrologicznej analizatorów wydechu do dalszej dyskusji z interesariuszami i pracy nad projektem.

Bibliografia

- [1] OIML B 6-1:2019 Directives for OIML technical work. Part 1: Structures and procedures for the development of OIML publications oraz OIML B 6-2:2019 Directives for OIML technical work. Part 2: Guide to the drafting and presentation of OIML publications.
- [2] OIML B 18:2017 Framework for the OIML Certification System (OIML-CS).
- [3] J. Sękala: Reforma systemu certyfikacji Międzynarodowej Organizacji Metrologii Prawnej. Biuletyn GUM nr 2/2016.
- [4] OIML Certification System (OIML-CS), OIML Bulletin October 2021, Vol. LXII, No. 4, ss. 49-52.
- [5] OIML B 10:2011 Framework for a Mutual Acceptance Arrangement on OIML Type Evaluations, Integrating the changes in the 2012 Amendment.
- [6] OIML B 3:2011 OIML Basic Certificate System for OIML Type Evaluation of Measuring Instruments.
- [7] OIML International Recommendation R 126, Evidential Breath Analyzers, Edition 1998(E).
- [8] OIML International Recommendation R 126, Evidential Breath Analyzers, Edition 2012(E).
- [9] PN-EN 15964:2011 Testery alkoholu w wydychanym powietrzu inne niż jednorazowego użytku – Wymagania i metody badań.
- [10] PN-EN 16280:2013-04 Testery alkoholu w wydychanym powietrzu do użytku powszechnego – Wymagania i metody badań.
- [11] PN-EN 50436-1:2014-03 Blokady alkoholowe – Metody badania i wymagania dotyczące parametrów – Część 1: Urządzenia przeciwdziałające prowadzeniu pojazdów przez nietrzeźwych kierowców.
- [12] PN-EN 50436-2:2014-03 Blokady alkoholowe – Metody badania i wymagania dotyczące parametrów – Część 2: Przyrządy podstawowego zapobiegania mające ustnik i mierzące alkohol w wydychanym powietrzu.
- [13] Zarządzenie Prezesa GUM nr 20 z dnia 13 lipca 2000 r. w sprawie wprowadzenia przepisów metrologicznych o dowodowych analizatorach wydechu (Dz. Urz. Miar i Probiernictwa Nr 4, poz. 22).
- [14] Zarządzenie Prezesa GUM nr 21 z dnia 13 lipca 2000 r. w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania dowodowych analizatorów wydechu (Dz. Urz. Miar i Probiernictwa Nr 4, poz. 23).
- [15] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 2 kwietnia 2003 r. w sprawie wymagań metrologicznych, którym powinny odpowiadać analizatory wydechu (Dz.U. 2003 nr 67 poz. 626).
- [16] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 2 kwietnia 2004 r. w sprawie prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych. Załącznik nr 19 Szczegółowy zakres zadań przeprowadzanych podczas prawnej kontroli metrologicznej analizatorów wydechu (Dz.U. 2004 nr 77 poz. 730).
- [17] Registered OIML Certificates. Recommendation R 126:1998 Evidential Breath Analyzers.
- [18] List of Utilizers, Associates and their scopes.
- [19] Summary report Fifty-sixth meeting of the International Committee of Legal Metrology Online 18, 19 and 22 October 2021.
- [20] 56th CIML Meeting Online 18, 19 and 22 October 2021 Resolutions.
- [21] Summary report. Sixteenth International Conference on Legal Metrology (Online) 20–21 October 2021.
- [22] Strona internetowa https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/R_126-p-e21.pdf
- [23] OIML R 126-1 Evidential breath analysers. Part 1: Metrological and technical requirements, Edition 2021(E).
- [24] OIML V 2-200:2012 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM) 3rd Edition.
- [25] OIML V 1:2013 International vocabulary of terms in legal metrology (VIML). Międzynarodowy Słownik Terminów Metrologii Prawnej, GUM, Warszawa 2015.
- [26] OIML D 11:2013 General requirements for measuring instruments – Environmental conditions.
- [27] OIML D 31:2019 (Consolidated Edition including Amendment 1). General requirements for software controlled measuring instruments.

- [28] PN-EN ISO 6142-1:2015-12 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych – Część 1: Metoda wagowa dla mieszanin 1 rzędu.
- [29] IUPAC Compendium of Chemical Terminology. Gold Book, Version 2.3.3.
- [30] OIML R 126-2 Evidential breath analysers. Part 2: Metrological controls and performance tests, Edition 2021(E).
- [31] PN-EN 60529:2003 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy (Kod IP).
- [32] OIML R 126-3 Evidential breath analysers. Part 3: Test report format, Edition 2021(E).
- [33] R. Kluess, L. Delette: Revision of OIML R126 Evidential Breath Analysers – Achievements and application. OIML Bulletin vol. LXIII, nr. 2 (2022), s. 19-28.

Ultradźwięki w zastosowaniach medycznych – nowe możliwości pomiarowe Zakładu Mechaniki i Akustyki

Medical ultrasounds – new metrological capabilities of Mechanics and Acoustics Department

Danuta Dobrowolska, Katarzyna Falińska
Główny Urząd Miar

Artykuł przedstawia aparaturę pomiarową do wzorcowań i badań w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach medycznych, zakupioną dla Głównego Urzędu Miar w 2021 roku i jej możliwości pod kątem zapewnienia w Polsce spójności pomiarowej w tej dziedzinie. Przedstawia też stan badań nad wdrożeniem w GUM metod realizowanych za pomocą zakupionych systemów pomiarowych oraz wskazuje perspektywy rozwoju.

The article presents measuring equipment for calibration and testing in the field of medical ultrasound, purchased for the Central Office of Measures in 2021, and its capabilities in terms of assuring measurement traceability in this area in Poland. It also presents the state of research on the implementation of the methods implemented in the GUM with the use of purchased measurement systems and indicates development prospects.

Słowa kluczowe: moc ultradźwiękowa, waga siły promieniowania, konduktancja promieniowania, przetwornik ultradźwiękowy, hydrofon

Keywords: ultrasound power, radiation force balance, radiation conductance, ultrasound transducer, hydrophone

Wstęp

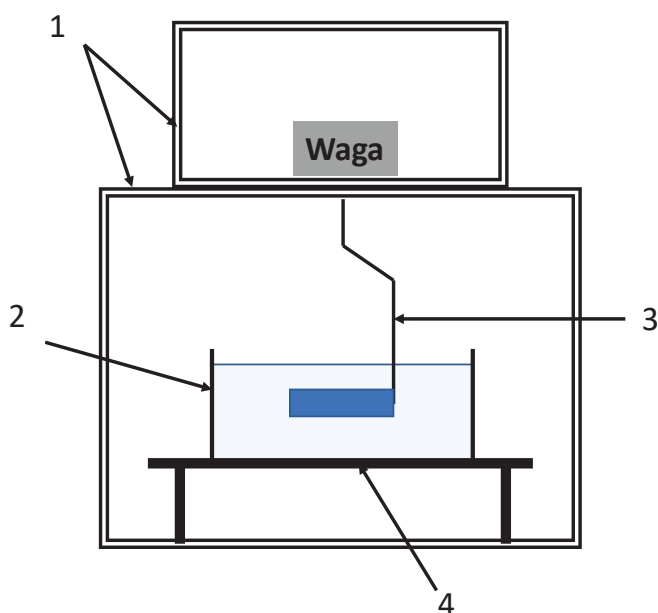
Ultradźwięki są od wielu lat powszechnie stosowane zarówno w terapii, jak i diagnostyce medycznej. W ostatniej dekadzie ultrasonografia stała się jednym z najczęściej stosowanych narzędzi diagnostycznych w medycynie. Szacuje się, że na świecie jest używanych ponad 250 000 diagnostycznych aparatów ultrasonograficznych i wykonuje się ponad 250 milionów badań rocznie. W ciągu swojego życia duża część ludzi (szczególnie w krajach rozwiniętych) jest wielokrotnie poddawana ekspozycji na ultradźwięki. W szczególności każdy płód jest poddawany co najmniej dwóm badaniom położniczym w trakcie normalnego przebiegu ciąży. Aparatura ultradźwiękowa stosowana zarówno w diagnostyce, jak i terapii stała się więc głównym filarem nowoczesnej opieki zdrowotnej. Ultrasonografia medyczna jest bezpieczniejsza niż inne techniki obrazowania i jest preferowana w stosunku do jonizujących technik obrazowania, jeśli dostarcza podobnych informacji klinicznych.

W Polsce mieszka ponad 38 milionów ludzi, w użyciu jest znaczna liczba urządzeń ultradźwiękowych, nie było jednak do tej pory laboratorium, które zapewniałoby spójność pomiarową w dziedzinie ultradźwięków

w zastosowaniach medycznych, a tym samym rzetelność, wiarygodność i bezpieczeństwo badań i terapii.

Bardzo ważnym aspektem badań i terapii ultradźwiękowej jest właśnie bezpieczeństwo pacjentów. W Unii Europejskiej wszystkie wyroby medyczne wprowadzane na rynek muszą spełniać unijne normy bezpieczeństwa, w przypadku urządzeń ultradźwiękowych są to normy [1] i [2]. Zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/745 z dnia 5 kwietnia 2017 r. wyroby medyczne muszą być, przed wprowadzeniem ich na rynek, poddane badaniom w ramach oceny zgodności i oznaczone znakiem CE. W Polsce jest kilku producentów aparatury ultradźwiękowej zainteresowanych takimi badaniami, ale dotychczas nie było laboratorium, w którym można przeprowadzić badania na potrzeby oceny zgodności.

Na potrzebę zapewnienia w Polsce spójności pomiarowej w dziedzinie ultradźwięków, jak też badań aparatury ultradźwiękowej w ramach oceny zgodności zwracali od kilku lat uwagę pracownicy naukowcy Zakładu Ultradźwięków IPPT PAN. Te wszystkie czynniki sprawiły, że w 2017 r. podjęto decyzję o budowie w GUM infrastruktury metrologicznej i kompetencji personelu w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach medycznych.



1. Obudowa
2. Basen pomiarowy wypełniony wodą
3. Absorber pola ultradźwiękowego z zawieszeniem
4. Wytłumiona podstawa

Rys. 1. Schemat systemu pomiarowego wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej



Rys. 2. System pomiarowy wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej

Zadanie to zostało umieszczone w Strategii GUM na lata 2018–2021. Na zakup systemów pomiarowych do wzorcowań i badań przeznaczono środki budżetowe, natomiast kompetencje personelu zamierzano budować w ramach projektu EMPIR Potential Research Topic. Temat „Development of expanded metrological capability for medical ultrasound” był zgłaszany dwukrotnie (w 2017 i 2019 roku). Za każdym razem był opracowany Join Research Project protocol, ale temat ostatecznie nie został zatwierdzony do realizacji. W związku z powyższym zdecydowano o połączeniu zakupu aparatury pomiarowej z pogłębionym szkoleniem personelu.

Do przetargu na zakup infrastruktury metrologicznej zgłosił się jeden wykonawca spełniający wszystkie wymagania NPL (National Physical Laboratory) z Wielkiej Brytanii – lider światowy w tej dziedzinie, z którym w grudniu 2019 r. podpisano umowę na dostawę systemu pomiarowego wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej z układem do pomiaru konduktancji promieniowania oraz dostawę systemu do wzorcowania wtórnych hydrofonów, połączone ze szkoleniami pracownika GUM w NPL. Pandemia COVID-19 spowodowała znaczące opóźnienie w realizacji zadania, jedno ze szkoleń musiało być przeprowadzone zdalnie, ale ostatecznie oba systemy zostały dostarczone i zainstalowane w GUM w listopadzie 2021 r.

System pomiarowy wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej z układem do pomiaru konduktancji promieniowania

Wiedza o całkowitej mocy fali akustycznej (ultradźwiękowej) emitowanej przez przetwornik ultradźwiękowy stosowany w terapii lub diagnostyce ultradźwiękowej jest bardzo ważna z punktu widzenia bezpieczeństwa pacjenta (ze względu na jej wpływ na wzrost temperatury tkanek wskutek absorpcji ultradźwięków). Rzetelne pomiary mocy nie są możliwe bez zapewnienia spójności pomiarowej, czyli powiązania wyników z właściwymi wzorcami. System pomiarowy wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej, zainstalowany w GUM, jest źródłem spójności pomiarowej przy pomiarze mocy i jest zbudowany zgodnie z wymaganiami normy [3]. Umożliwia pomiar mocy metodą wagi siły promieniowania (Radiation Force Balance) i obliczenia zgodnie ze wzorem:

$$P = F \cdot c = \Delta m \cdot g \cdot c \quad (1)$$

gdzie:

P – moc ultradźwiękowa,

F – siła promieniowania ultradźwiękowego,

c – prędkość propagacji fali ultradźwiękowej w wodzie (w danej temperaturze),

Δm – zmiana masy absorbera,

g – przyspieszenie ziemskie,

System i jego oprogramowanie pozwalają na:

- pomiar mocy fali akustycznej generowanej w wodzie przez różnego typu przetworniki ultradźwiękowe, diagnostyczne i terapeutyczne: do 1 W – w zakresie częstotliwości od 0,5 MHz do 25 MHz oraz do 20 W – w zakresie częstotliwości od 0,75 MHz do 5 MHz,
- wzorcowanie wag siły promieniowania ultradźwiękowego stosowanych do pomiaru mocy w zakresie do 20 W.

Typowa niepewność rozszerzona pomiaru mocy ultradźwiękowej, deklarowana przez wytwórcę systemu, to 6 % dla wartości mocy od 10 mW do 20 W oraz 10 % do 20 % dla wartości mocy 2 mW do 5 mW.

Akwizycja danych i obliczenia wartości mocy wyjściowej odbywają się za pomocą dedykowanego oprogramowania, opracowanego przez specjalistów NPL z wykorzystaniem środowiska LabVIEW. Zasadnicze części składowe systemu pokazano na schemacie (rys.1) i na zdjęciu (rys. 2).

W skład systemu wchodzi:

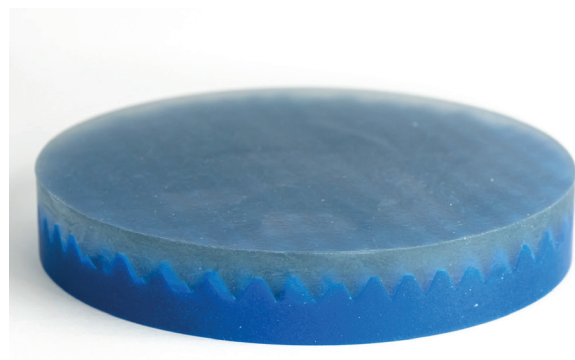
- waga Sartorius typ MSE225S,
- absorbery pola ultradźwiękowego z zawieszeniem,
- dwa płaskie przetworniki ultradźwiękowe 1 MHz i 3 MHz firmy Precision Acoustics,
- oscyloskop czterokanałowy Tektronix typ DPO5034B,
- generator Keysight Technologies typ 33621A,

- wzmacniacz mocy Amplifier Research typ AR150A100C,

ponadto:

- zestaw wzorcowanych wzorców masy od 1 mg do 100 g, ponieważ stanowisko wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej jest bezpośrednio powiązane z jednostką masy układu SI,
- demineralizator i czajnik – do demineralizacji i odgazowania wody,
- termometr – do monitorowania temperatury wody w basenie,
- źródło kontrolne o częstotliwościach 3,5 MHz i 7 MHz oraz nominalnych wartościach mocy wyjściowej 10 mW, 100 mW i 1000 mW,
- termokonwertery Ballantine Laboratories typ 1394A,
- multimetr cyfrowy Keithly typ 2000,
- komputer z oprogramowaniem niezbędnym do prawidłowego działania systemu pomiarowego wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej oraz układu do pomiaru konduktancji promieniowania, a także do pozyskiwania i analizy danych pomiarowych,
- stół z aktywną wibroizolacją o wymiarach dostosowanych do wymiarów stanowiska pomiarowego wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej.

Absorber, o wymiarach znacznie większych niż szerokość emitowanej wiązki ultradźwiękowej, jest zawieszony pod wagą i poddawany działaniu fali ultradźwiękowej z góry. Absorbery stosowane w GUM mają średnicę 80 mm i są wykonane z materiału typu HAM A, opracowanego w NPL specjalnie dla wag siły promieniowania ultradźwiękowego (rys. 3). Ten materiał to guma poliuretanowa, o właściwościach silnie absorbujących ultradźwięki, spełniająca wymagania normy [3].



Rys. 3. Absorber wykorzystywany w stanowisku pomiarowym wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej

System pomiarowy jest umieszczony w kabinie o ramie aluminiowej i ścianach wykonanych ze szkła akrylowego, z otwieranymi drzwiami i otworami w trzech pozostałych ścianach umożliwiającymi doprowadzenie kabli, posadowionej na stole z aktywną wibroizolacją. System umożliwia również pomiar konduktancji promieniowania przetworników ultradźwiękowych, wielkości, która jest wyznaczana w porównaniach kluczowych w celu ustalenia stopnia równoważności wzorców pierwotnych mocy ultradźwiękowej utrzymywanych przez Krajowe Instytuty Metrologiczne.

Konduktancja G jest to stosunek mocy promieniowania ultradźwiękowego emitowanego przez dany przetwornik do kwadratu wartości skutecznej napięcia doprowadzonego do wejścia przetwornika, wyrażony wzorem:

$$G = \frac{P}{U^2} \quad (2)$$

gdzie:

P – moc promieniowania ultradźwiękowego emitowanego przez przetwornik,

U – wartość skuteczna napięcia doprowadzonego do przetwornika.

Typowa niepewność rozszerzona pomiaru konduktancji, przy poziomie ufności 95 % i współczynnika $k = 2$, deklarowana przez wytwórcę, wynosi 7 %, przy czym przy pomiarze mocy o małych wartościach, tj. od 2 mW do 5 mW, wynosi od 10 % do 20 %.

Obecnie trwają badania stanowiska wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej mające na celu doskonalenie biegłości pracownika GUM oraz potwierdzenie lub aktualizację wartości niepewności. Badania mają też na celu

przygotowanie stanowiska i personelu do udziału w porównaniu kluczowym zaplanowanym na 2023 roku.

System pomiarowy do wzorcowania wtórnego hydrofonów

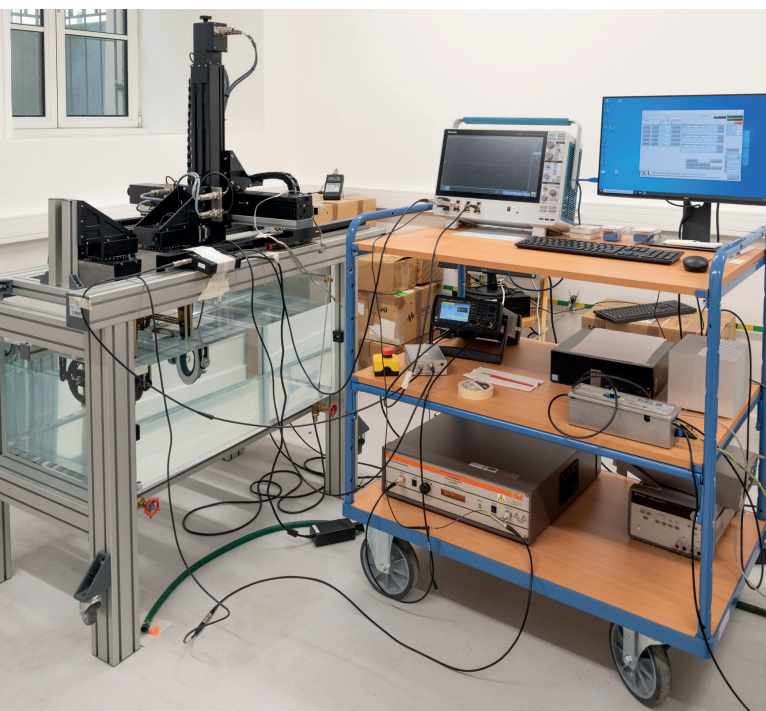
Spójność pomiarowa przy pomiarze ciśnienia ultradźwiękowego w wodzie jest zapewniona w GUM poprzez system do wzorcowania hydrofonów metodą porównawczą, z hydrofonami odniesienia wzorcowanymi w NPL, spełniający wymagania normy [4], (rys. 4).

Jednym z głównych elementów systemu jest basen pomiarowy do automatycznego skanowania pola akustycznego (acoustic scanning tank) o wymiarach 1 m × 0,5 m × 0,5 m, wykonany z przezroczystego akrylu, w ramie aluminiowej (rys. 4). Basen jest wyposażony w mechanizmy i uchwyty o pięciu stopniach swobody (osie x , y , z i dwa kąty rotacji) do mocowania i pozycjonowania w basenie: przetwornika ultradźwiękowego (nadajnika) oraz hydrofonu wzorcowanego i odniesienia (odbiorników). Dostarczone adaptory umożliwiają mocowanie hydrofonów różnego typu i różnych wymiarów, produkowanych przez firmy m.in. Precision Acoustics, Onda Corporation i Sonora/Acertara.

W skład systemu wchodzi ponadto:

- układ wytwarzania sygnału składający się z:
 - generatora funkcyjnego, umożliwiającego wytwarzanie pojedynczych okresów sygnału sinusoidalnego w zakresie częstotliwości od 100 kHz do 25 MHz i napięcia od 1 mV do 10 V,
 - wzmacniacza mocy o odpowiedniej charakterystyce częstotliwościowej i wzmocnieniu co najmniej 50 dB,
 - dwóch płaskich przetworników ultradźwiękowych 2,25 MHz i 15,0 MHz firmy Olympus,
 - hydrofony odniesienia (wzorcowe):
 - Precision Acoustics typ D1604 (rys. 5),
 - Precision Acoustics typ UT1604 (rys. 6),
 - oscyloskop czterokanałowy Tektronix typ DPO5034B,
 - oprogramowanie specjalistyczne do sterowania systemem oraz pozyskiwania i analizy danych,
- oraz urządzenia pomocnicze: termometr – do monitorowania temperatury wody w basenie, konduktometr – do monitorowania przewodności elektrycznej wody oraz demineralizator do demineralizacji wody.

Hydrofony odniesienia, za pomocą których zapewniana jest spójność pomiarowa, są typu membranowego. Oba posiadają element czuły o rozmiarze 0,4 mm i membrany o grubości 16 mm, wykonane z polimeru piezoelektrycznego PVDF. Hydrofon odniesienia typ D1604 jest hydrofonem różnicowym (differential membrane hydrophones)



Rys. 4. System pomiarowy do wzorcowania wtórnego hydrofonów



Rys. 5. Hydrofon Precision Acoustics typ D1604

z wbudowanym wewnątrz przedwzmacniaczem różnicowym, zwiększającym stosunek sygnału do szumu. Hydrofon odniesienia typ UT1604 ma przedwzmacniacz, tzw. single ended, umieszczony w obudowie. Oba hydrofony zapewniają szeroką odpowiedź częstotliwościową w zakresie od 1 MHz do 40 MHz.

W najbliższej przyszłości zestaw hydrofonów wzorowych powinien być uzupełniony o specjalnej konstrukcji hydrofon firmy Onda typ HGL-0200 o rozmiarze elementu czułego 0,2 mm, tzw. Golden Lipstick Hydrophone (rys. 7). Będzie on przeznaczony do mapowania pola akustycznego podczas badania ultradźwiękowych urządzeń diagnostycznych i monitorujących dla potrzeb oceny zgodności.

W dalszej kolejności powinny być zakupione inne hydrofony, np. HMB-0200 (membrane back hydrophone) firmy Onda. Zgodnie z sugestią NPL, twórcy i dostawcy systemu, laboratorium powinno posiadać hydrofony różnego typu i o różnym rozmiarze elementu czułego oraz różnych producentów. System pomiarowy do wzorcowania wtórnych hydrofonów umożliwia wyznaczenie odpowiedzi częstotliwościowej (wartości czułości w funkcji częstotliwości) hydrofonów obu najpopularniejszych typów, tj.



Rys. 6. Hydrofon Precision Acoustics typ UT1604

membranowych i igłowych w zakresie od 1 MHz do 20 MHz, z minimalnym krokiem 25 kHz.

Wartość niepewności rozszerzonej wzorcowania, przy poziomie ufności 95 % i współczynnika $k = 2$, deklarowana przez wytwórcę systemu i potwierdzona w trakcie badań w GUM, zmienia się wraz z częstotliwością i wynosi:

- 12 % – dla częstotliwości od 1 MHz do 8 MHz,
- 13 % – dla częstotliwości od 9 MHz do 12 MHz,
- 14 % – dla częstotliwości od 13 MHz do 16 MHz,
- 15 % – dla częstotliwości od 17 MHz do 20 MHz.

Powyższe wartości niepewności dotyczą hydrofonów o czułości z zakresu od 50 nV/Pa do 1000 nV/Pa oraz o średnicy elementu czułego mniejszej niż 1 mm. Hydrofony z elementem czułym o większym rozmiarze i czułości mniejszej niż 50 nV/Pa mogą być wzorcowane, lecz wówczas wartości niepewności mogą być większe.

W okresie od stycznia do kwietnia 2022 r. prowadzono badania stanowiska do wzorcowania hydrofonów, a pracownik GUM doskonalił biegłość w obsłudze systemu i analizie wyników. Przeprowadzono serie pomiarów dotyczących wzorcowania hydrofonów udostępnionych przez NPL, tj. typ HGL-0200 i HMB-0200. Uzyskano satysfakcjonujące wyniki pokrywające się, w granicach niepewności, z wynikiem uzyskanym w NPL w całym zakresie częstotliwości.



Rys. 7. Hydrofon firmy Onda typ HGL do mapowania pola akustycznego

Podsumowanie

Zbudowana w GUM infrastruktura metrologiczna w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach medycznych wymaga pogłębionych badań pod kątem przygotowania do udziału w porównaniach kluczowych, a także wykorzystania jej do świadczenia usług dla klientów. Powinna być też stopniowo uzupełniana o wzorcowe hydrofony niezbędne m. in do prowadzenia badań w ramach oceny zgodności wyrobów medycznych, jakimi są np. ultrasonografy. W najbliższej przyszłości planowane jest utworzenie w GUM Grupy Roboczej ds. Ultradźwięków w Zastosowaniach Medycznych. Do udziału w pracach tej grupy będą zaproszeni przedstawiciele uczelni i instytutów badawczych, producenci aparatury ultradźwiękowej stosowanej w medycynie, a także reprezentanci urzędów państwowych, których działalność jest związana z wyrobami medycznymi. Grupa będzie stanowić forum do identyfikacji potrzeb metrologicznych w dziedzinie ultradźwięków, kreślenia planów rozwoju infrastruktury GUM, inicjowania wspólnych projektów badawczo-rozwojowych, a także szeroko rozumianej współpracy różnych podmiotów.

Bibliografia

- [1] PN-EN 60601-2-5:2016 Medyczne urządzenia elektryczne – Część 2-5: Wymagania szczegółowe dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego urządzeń do fizjoterapii ultradźwiękowej.
- [2] PN-EN 60601-2-37:2008/A1:2015 Medyczne urządzenia elektryczne – Część 2-37: Wymagania szczegółowe dotyczące podstawowego bezpieczeństwa i zasadniczych parametrów funkcjonalnych ultradźwiękowych urządzeń diagnostycznych i monitorujących.
- [3] PN-EN 61161:2013 Ultradźwięki – Pomiar mocy – Waga siły promieniowania i wymagania techniczne.
- [4] PN-EN 62127-2:2008 Ultradźwięki. Hydrofony. Część 2: Wzorcowanie dla pól ultradźwiękowych do 40 MHz.
- [5] Bajram Zeqiri, Catherine J Bickley: A new anechoic material for medical ultrasonic applications. *Ultrasound in Medicine & Biology* 26(3):481-5, April 2000.
- [6] HAM A, Technical Data Sheet, Precision Acoustics <https://www.acoustics.co.uk/wp-content/uploads/2022/03/HAM-A-TDS-V1-0222.pdf>

Szkolenie dotyczące niepewności pomiaru w Europejskiej Sieci Metrologicznej MATHMET

Measurement uncertainty training in the European Metrology Network MATHMET

Paweł Fotowicz, Jacek Puchalski
Główny Urząd Miar

Omówiono prezentację multimedialną dotyczącą niepewności pomiaru, przygotowaną w ramach projektu realizowanego w Europejskiej Sieci Metrologicznej MATHMET. Prezentacja w sposób przystępny przedstawia metody wyznaczania współczynnika rozszerzenia podawanego w świadectwach wzorcowania. Będzie uzupełnieniem materiałów szkoleniowych związanych z niepewnością pomiaru.

A multimedia presentation on the measurement uncertainty, prepared as part of the project implemented in the European Metrological Network MATHMET, was presented. In a simple way, it presents the methods of determining the coverage factor given in calibration certificates. It will complement training materials related to measurement uncertainty.

Słowa kluczowe: szkolenia dotyczące niepewności pomiaru, współczynnik rozszerzenia
Keywords: measurement uncertainty training, coverage factor

Wprowadzenie

W ramach działania Europejskiej Sieci Metrologicznej MATHMET powstała inicjatywa opracowania szkoleń dotyczących niepewności pomiaru. Inicjatywa ta nosi nazwę MU Training (Measurement uncertainty training). Działanie to ma na celu poprawę jakości, efektywności, a także szerokiego rozpowszechniania szkoleń z zakresu niepewności pomiaru. Wynika z potrzeby lepszego rozumienia zagadnień związanych z opracowaniem wyników pomiarów, zgodnie z przyjętymi rozwiązaniami w metrologii. W ramach inicjatywy opracowane zostaną nowe materiały szkoleniowe, które będą udostępnione na stronie internetowej MATHMET. Nowy materiał będzie zawierał przegląd istniejących kursów, oprogramowania i przykładów dotyczących obliczania niepewności pomiaru. Będzie adresowany do szerokiego kręgu odbiorców, praktyków metrologii, w środowisku przemysłowym, jak i akademickim. Powstaną materiały w formie wideo wyjaśniające potrzebę i trudności przy ocenie niepewności pomiaru. Otworzy się w ten sposób szansa na stworzenie podstaw dla nowych kursów szkoleniowych z tego zakresu. Zwiększy się w ten sposób dostępność wiedzy w tym zakresie dla licznych grup odbiorców, pracowników laboratoriów, studentów czy badaczy. Przyczyni się też do rozwoju dobrych praktyk metrologicznych, tworząc materiały szkoleniowe, na poziomie początkującym

i zaawansowanym, pomocne dla osób prowadzących szkolenia dotyczące problematyki niepewności pomiaru w instytucjach metrologicznych i na uczelniach. Działanie to zwiększy zrozumienie dla tematyki niepewności pomiaru, a tym samym przyczyni się do zwiększenia wiarygodności pomiarów wykonywanych na poziomach od przemysłowego do naukowego.

Działania GUM w projekcie MU Training

Główny Urząd Miar (GUM), obok innych krajowych instytucji metrologicznych, takich jak PTB (Niemcy) – koordynator projektu, NPL (Wielka Brytania), LNE (Francja), INRIM (Włochy), CEM (Hiszpania), METAS (Szwajcaria), SMD (Belgia), IPQ (Portugalia) czy IMBiH (Bośnia i Hercegowina), bierze udział w tym projekcie. W ramach jego realizacji w GUM opracowano prezentację multimedialną na temat wyznaczania współczynnika rozszerzenia. Prezentacja dotyczy sposobów jego obliczania i uświadomienia metrologom istnienia takiej potrzeby przy opracowywaniu wyniku pomiaru. Tak się składa, że metody wyznaczania współczynnika rozszerzenia były już opracowane w GUM w przeszłości i zostały opublikowane w krajowych i międzynarodowych czasopismach związanych z metrologią [1–6]. Poniżej przedstawiono krótki ich opis.

Metody wyznaczania współczynnika rozszerzenia opracowane w GUM

Metody wyznaczania współczynnika rozszerzenia opierają się na założeniu, że rozkładem wielkości wyjściowej jest rozkład płasko-normalny, który jest splotem rozkładu prostokątnego z rozkładem normalnym. Rozkład ten jest bardzo efektywnym przybliżeniem wielokrotnego splotu rozkładów takich jak rozkłady normalny, prostokątny, trójkątny czy trapezowy, które na ogół przypisuje się wielkościom wejściowym. Metody polegają na wyznaczeniu parametru nazywanego ilorazem niepewności, który określa ilościową relację udziału $u_i(y)$ największej składowej o rozkładzie prostokątnym w budżecie niepewności do skumulowanego udziału pozostałych składowych:

$$r_u = \frac{|u_i(y)|}{\sqrt{u_c^2(y) - u_i^2(y)}} \quad (1)$$

gdzie $u_c(y)$ to niepewność standardowa złożona.

Współczynnik rozszerzenia można wyznaczyć bezpośrednio z rozkładu płasko-normalnego lub pośrednio poprzez przybliżenie go znanymi rozkładami: normalnym, trapezowym i prostokątnym. W obu wypadkach jest on równy kwantylom tych rozkładów dla określonego prawdopodobieństwa rozszerzenia, na ogół 95 %.

W pierwszym sposobie współczynnik rozszerzenia k dla prawdopodobieństwa $p = 95\%$, dla określonej wartości ilorazu niepewności r_u , jest wyznaczany na podstawie wartości podanych w tab. 1:

$$k = k_{PN} \quad (2)$$

W alternatywnej metodzie postępowania współczynnik rozszerzenia wyznacza się poprzez przybliżenie przy użyciu rozkładów normalnego, prostokątnego i trapezowego:

$$\begin{aligned} k &= k_N \text{ dla } 0 < r_u < 1 \\ k &= k_T \text{ dla } 1 \leq r_u \leq 10 \\ k &= k_P \text{ dla } r_u > 10 \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie:

k_N – współczynnik rozszerzenia dla rozkładu normalnego

k_T – współczynnik rozszerzenia dla rozkładu trapezowego

k_P – współczynnik rozszerzenia dla rozkładu prostokątnego

$$k_T = \sqrt{\frac{3}{r_u^2 + 1}} (1 + r_u - 2\sqrt{r_u(1-p)}) \quad (4)$$

$$k_P = \sqrt{3p} \quad (5)$$

Potrzeba wyznaczania współczynnika rozszerzenia

Współczynnik rozszerzenia podawany jest obligatoryjnie w świadectwach wzorcowania wystawianych przez laboratoria wzorcujące. Dlatego powinien być rzetelnie oszacowany. Niestety, często jego wartość jest zaokrąglana do liczby 2. Takie zaokrąglenie jednak może prowadzić do znacznej nieścisłości. Otóż, gdyby rozkładem związanym z wynikiem pomiaru był rozkład prostokątny (co nie jest rzadkim przypadkiem, gdy dominująca składową jest rozdzielczość przyrządu pomiarowego), to wartość współczynnika rozszerzenia, obliczona na podstawie równania (5) dla prawdopodobieństwa 95 %, wynosi $k = 1,65$. Natomiast nieprzekraczalne granice przedziału rozszerzenia wynoszą $\pm 1,73$, co odpowiada 100 % przedziałowi. Zatem przyjęcie zaokrąglenia współczynnika rozszerzenia do $k = 2$ oznaczałoby 115 % przedział rozszerzenia, a nie 95 % przedział, jak *de facto* informuje o tym świadectwo wzorcowania. Aby uniknąć tej nieścisłości należy podawać współczynnik rozszerzenia z dwoma cyframi dziesiętnymi.

Treść prezentacji multimedialnej

Prezentacja nosi tytuł "The coverage factor k explained – from u to U " (rys. 1) i składa się z trzech części. Pierwsza stanowi wprowadzenie, druga przedstawienie problemu, a trzecia zawiera potencjalne rozwiązania wskazujące precyzyjnie wartości współczynnika rozszerzenia. Prezentacja wyjaśnia, że jest to współczynnik bezwymiarowy stanowiący współczynnik proporcjonalności między niepewnością rozszerzoną a niepewnością standardową, odpowiadający prawdopodobieństwu równemu 0,95, zazwyczaj podawany z dokładnością do dwóch cyfr dziesiętnych (rys. 2).

Prezentacja zwraca uwagę, że w praktyce pomiarowej stosuje się tabelę budżetu niepewności, której konstrukcja wynika z prawa propagacji niepewności, dotyczącego jednowymiarowej wyjściowej zmiennej losowej, będącej funkcją wielu zmiennych przybliżonej przez pierwsze wyrazy szeregu Taylora, których wagi stanowią współczynniki wrażliwości. W rezultacie otrzymuje się sumę ważoną nieskorelowanych zmiennych stanowiących splot funkcji gęstości. W przestrzeni furierowskiej otrzymanej z transformaty Fouriera otrzymuje się iloczyn funkcji charakterystycznych, które w rozwinięciu z użyciem kumulantów, to jest logarytmów funkcji charakterystycznych, prowadzą do funkcji wariancji będącej sumą ważoną wariancji poszczególnych rozkładów, a wagami są kwadraty odpowiednich współczynników wrażliwości. Właśnie tak skonstruowana suma, stanowiąca niepewność standardową złożoną, stanowi prawo propagacji niepewności i jednocześnie

Tab. 1. Wartości współczynnika rozszerzenia k_{PN} dla prawdopodobieństwa 95 % przy granicznych wartościach ilorazu udziału niepewności r_u

k_{PN}	r_u do wartości	k_{PN}	r_u do wartości	k_{PN}	r_u do wartości
1,96	0,5090	1,85	1,6410	1,74	3,1930
1,95	0,6985	1,84	1,7380	1,73	3,4410
1,94	0,8240	1,83	1,8390	1,72	3,7300
1,93	0,9280	1,82	1,9460	1,71	4,0740
1,92	1,0220	1,81	2,0600	1,70	4,4925
1,91	1,1110	1,80	2,1820	1,69	5,0235
1,90	1,1980	1,79	2,3135	1,68	5,7350
1,89	1,2840	1,78	2,4560	1,67	6,7760
1,88	1,3700	1,77	2,6120	1,66	8,5975
1,87	1,4580	1,76	2,7845	1,65	∞
1,86	1,5480	1,75	2,9765		

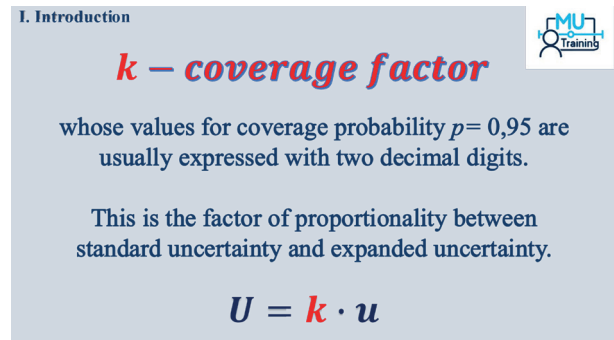


Rys. 1. Slajd tytułowy prezentacji

jest niepewnością standardową rozkładu wyjściowego (rys. 3).

Przedział rozszerzenia dla wypadkowego rozkładu wymaga precyzyjnej wartości współczynnika rozszerzenia. Dla dowolnego rozkładu gęstości prawdopodobieństwa, w ogólności niesymetrycznego i multimodalnego, ciągły obszar prawdopodobieństwa p wyznacza przedział rozszerzenia znajdujący się między dolną i górną wartością. Dla symetrycznego rozkładu jest to przedział wokół wartości oczekiwanej o szerokości dwukrotnej niepewności rozszerzonej (rys. 4). Identyczny przedział rozszerzenia jest wyznaczany dla dystrybuanty. Ta funkcja jest jednoznacznie określona i dlatego istnieje dla niej funkcja odwrotna i z tego właśnie powodu znalazła zastosowanie przy generacji próbek losowych w metodzie Monte Carlo.

W prezentacji zasygnalizowany jest problem, jaki się pojawia podczas bardzo uproszczonego podejścia związanego z zastosowaniem współczynnika rozszerzenia równego dwa. Dla dowolnego rozkładu gęstości prawdopodobieństwa, który jest symetryczny, ciągły obszar z prawdopodobieństwem p równym 0,95 wyznacza równe wartości



Rys. 2. Wyjaśnianie problemu

pozostałych dwóch obszarów o prawdopodobieństwie 0,025 każdy. Dla rozkładu normalnego, w szczególności także znormalizowanego, wartości dystrybuanty dla przedziału rozszerzenia zmieniają się od 0,025 do 0,975 (rys. 5). Dla rozkładu normalnego znane są funkcje gęstości prawdopodobieństwa i dystrybuant. Dzięki temu można wyznaczyć współczynnik rozszerzenia dla rozkładu normalnego, który wynosi w przybliżeniu dwa. Jeśli rozkładem wypadkowym nie jest rozkład normalny, a np. rozkład trapezowy, to wyznaczony analitycznie współczynnik rozszerzenia zależy od parametru beta określającego stosunek podstaw trapezu tworzącego funkcję gęstości. Wówczas parametr beta zmienia się od zera do jeden, co odpowiada rozkładom od trójkątnego do prostokątnego, a współczynnik rozszerzenia zmienia się w przedziale od 1,9 do 1,65 (rys. 6).

Analizując wypadkowy rozkład prostokątny jednoznacznie należy stwierdzić, że wartość dwa prowadzi do przeszacowania przedziału rozszerzenia (rys. 7). Oznacza to, że przedział zawiera miejsca, w których nie występują żadne wartości liczbowe. Przyjęcie współczynnika k


I. Introduction
The law of propagation of uncertainty LPU JCGM 100

The magnitude of this factor k depending on the cumulative probability density distribution for which the estimated standard deviation is the standard uncertainty resultant from the law of uncertainty propagation used for a calculation of the uncertainty budget.

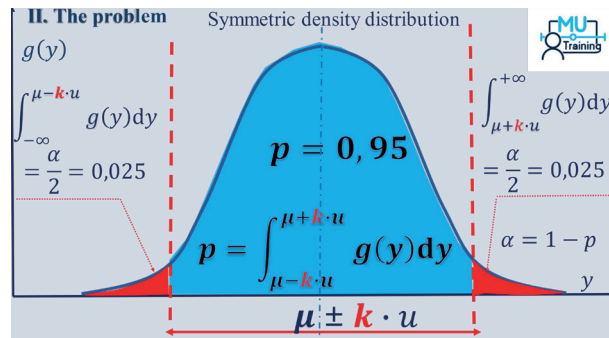
One-dimensional output measurement function
 $y = F(X)$ where $X = [X_1, \dots, X_i, \dots, X_n]^T$ $i = 1, \dots, n$

From Taylor series with first partial derivatives:
 $y \cong F(X_0) + c_1 \Delta X_1 + \dots + c_i \Delta X_i + \dots + c_n \Delta X_n$

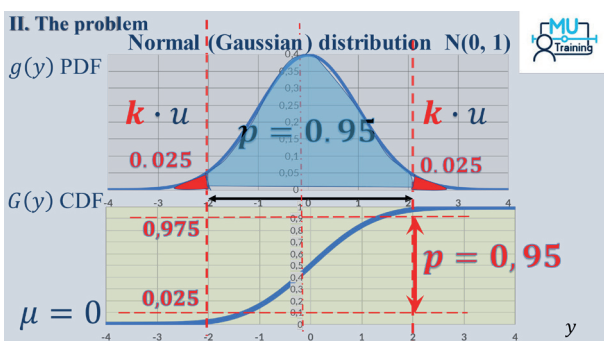
where sensitivity coefficients $c_i = \frac{\partial F}{\partial X_i}$



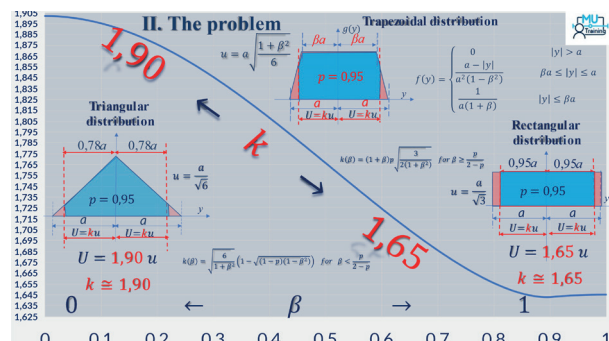
Rys. 3. Prawo propagacji niepewności



Rys. 4. Współczynnik rozszerzenia dla rozkładu symetrycznego



Rys. 5. Współczynnik rozszerzenia dla rozkładu normalnego



Rys. 6. Współczynnik rozszerzenia dla rozkładu trapezowego

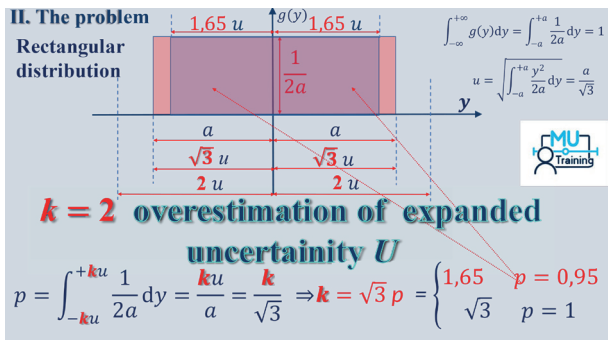
równego 2 prowadzi do błędnego oszacowania przedziału rozszerzenia. Z centralnego twierdzenia granicznego wynika, że uzyskanie rozkładu wypadkowego, jako rozkładu normalnego, wymaga tych samych niepewności standardowych dla identycznych rozkładów cząstkowych. W przeciwnym przypadku współczynnik k nie może być estymowany przez liczbę dwa.

Z kolei dla rozkładów asymetrycznych centralne twierdzenie graniczne wymaga dużej liczby rozkładów. Wykonanie za pomocą metody Monte Carlo wielu symulacji prowadzi do uzyskania rozkładu prawie symetrycznego, który upodabnia się do rozkładu normalnego. Niemniej w typowym budżecie niepewności zwykle nie występują tak licznie (powyżej dziesięciu) rozkłady cząstkowe. Zatem problem w przyjęciu współczynnika rozszerzenia na poziomie dwa dla rozkładu wypadkowego polega na ograniczeniu stosowania powyższego twierdzenia dla rozkładów o tej samej wariancji czy też niepewności standardowej, a w przypadku występowania cząstkowych rozkładów asymetrycznych uwzględnienia ich dużej liczby, np. $n = 100$ (rys. 8).

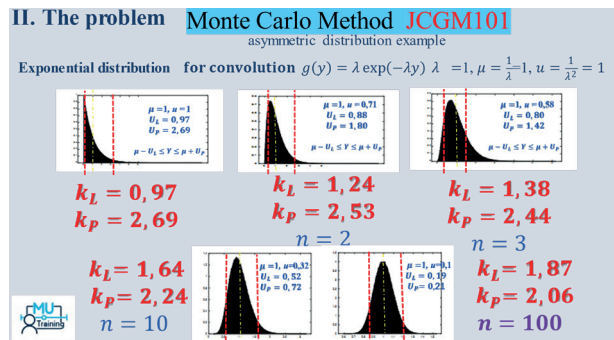
W części ostatniej prezentacja proponuje trzy rozwiązania. Zastosowanie przybliżenia do rozkładem płasko-normalnym (rys. 9), dla którego wyznaczono tablicę współczynników rozszerzenia (rys. 10) lub przybliżenie współczynnikami jak dla rozkładów normalnego, trapezowego i prostokątnego (rys. 12), przy użyciu ilorazu

niepewności (rys. 11). Drugim sposobem jest wyznaczenie wypadkowej liczby stopni swobody i skorzystanie z tabeli współczynnika rozszerzenia dla rozkładu t-Studenta. Najdokładniejszą metodę stanowi metoda numeryczna Monte Carlo, stosowana w łatwy sposób w środowisku statystycznym, np. MATLAB (rys. 13). W większości takich środowisk występują dedykowane funkcje biblioteczne, odwróconej dystrybucji numerycznej, w celu generacji określonych rozkładów. W ten sposób bardzo łatwo można wyznaczyć współczynnik rozszerzenia.

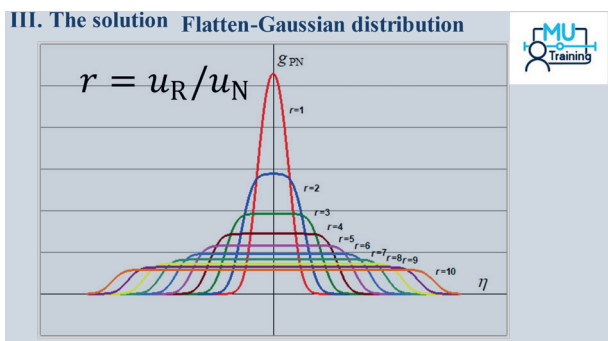
W podsumowaniu prezentacji zaprezentowano metodę szacowania niepewności wynikającą z Przewodnika [7] opartą na prawie propagacji niepewności oraz zastosowaniu współczynnika rozszerzenia dla rozkładu wypadkowego. Idea ta jest poprawna, lecz wymaga dokładnej analizy składowych w budżecie niepewności w celu dobrania odpowiedniego współczynnika rozszerzenia. Ze względu na niespełnienie warunków centralnego twierdzenia granicznego, tj. tych samych wariancji rozkładów z uwzględnieniem współczynników wrażliwości oraz małej ilości składowych, w przypadku rozkładów asymetrycznych, nie jest poprawnym zastosowanie współczynnika rozszerzenia równego liczbie dwa. Dla rozkładów typu trapezowego współczynnik ten jest mniejszy od dwóch. Z kolei dla niewielkiej liczby pomiarów, mniejszej niż trzydzieści, wartości współczynnika rozszerzenia dla wypadkowej liczby stopni swobody są większe od dwóch. Najdokładniejszą metodą



Rys. 7. Przeszacowanie współczynnika rozszerzenia



Rys. 8. Współczynnik rozszerzenia dla rozkładów asymetrycznych



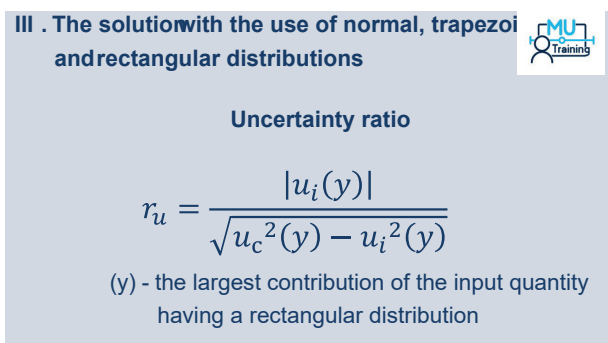
Rys. 9. Funkcje gęstości prawdopodobieństwa rozkładu płasko-normalnego

III. The solution

Flatten-Gaussian distribution

r	k	r	k	r	k	r	k	r	k	r	k
0	1,9600	2	1,8102	4	1,7070	6	1,6720	8	1,6575	10	1,6508
0,1	1,9600	2,1	1,8016	4,1	1,7043	6,1	1,6710	8,1	1,6571	11	1,6488
0,2	1,9598	2,2	1,7936	4,2	1,7017	6,2	1,6700	8,2	1,6566	12	1,6474
0,3	1,9593	2,3	1,7860	4,3	1,6993	6,3	1,6690	8,3	1,6562	13	1,6464
0,4	1,9580	2,4	1,7788	4,4	1,6970	6,4	1,6681	8,4	1,6558	14	1,6457
0,5	1,9553	2,5	1,7721	4,5	1,6948	6,5	1,6672	8,5	1,6554	15	1,6452
0,6	1,9510	2,6	1,7657	4,6	1,6928	6,6	1,6664	8,6	1,6550	16	1,6448
0,7	1,9449	2,7	1,7598	4,7	1,6908	6,7	1,6656	8,7	1,6546	17	1,6446
0,8	1,9371	2,8	1,7541	4,8	1,6889	6,8	1,6648	8,8	1,6543	18	1,6444
0,9	1,9278	2,9	1,7488	4,9	1,6871	6,9	1,6641	8,9	1,6539	19	1,6443
1	1,9174	3	1,7438	5	1,6854	7	1,6634	9	1,6536	20	1,6443
1,1	1,9063	3,1	1,7391	5,1	1,6838	7,1	1,6627	9,1	1,6532	30	1,6446
1,2	1,8948	3,2	1,7347	5,2	1,6822	7,2	1,6620	9,2	1,6529	40	1,6449
1,3	1,8831	3,3	1,7305	5,3	1,6807	7,3	1,6614	9,3	1,6526	50	1,6451
1,4	1,8716	3,4	1,7266	5,4	1,6793	7,4	1,6608	9,4	1,6523	60	1,6452
1,5	1,8603	3,5	1,7228	5,5	1,6780	7,5	1,6602	9,5	1,6521	70	1,6453
1,6	1,8493	3,6	1,7193	5,6	1,6767	7,6	1,6596	9,6	1,6518	80	1,6453
1,7	1,8388	3,7	1,7160	5,7	1,6754	7,7	1,6591	9,7	1,6515	90	1,6453
1,8	1,8288	3,8	1,7128	5,8	1,6742	7,8	1,6585	9,8	1,6513	100	1,6454
1,9	1,8192	3,9	1,7098	5,9	1,6731	7,9	1,6580	9,9	1,6510	∞	1,6454

Rys. 10. Współczynnik rozszerzenia dla rozkładu płasko-normalnego



Rys. 11. Iloraz niepewności

III. The solution

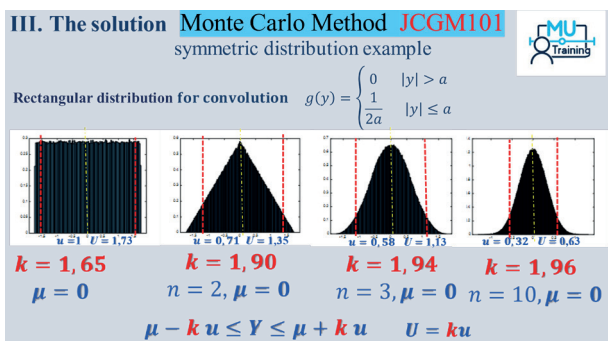
with the use of normal, trapezoidal and rectangular distributions

Evaluation of coverage factor

Uncertainty ratio	Coverage factor
$0 \leq r_u < 1$	$k = k_N$
$1 \leq r_u \leq 10$	$k = k_T$
$r_u > 10$	$k = k_R$

$k_N = 2$ coverage factor for normal distribution
 $1,65 \leq k_T \leq 1,9$ coverage factor for trapezoidal distribution
 $k_R = 1,65$ coverage factor for rectangular distribution

Rys. 12. Przybliżenie rozkładami normalnym, trapezoidalnym i prostokątnym



Rys. 13. Współczynnik rozszerzenia dla rozkładów generowanych metodą Monte Carlo

Central Office of Measures

<https://gum.gov.pl> POLAND

The video was prepared by dr Jacek Puchalski
Review and corrections dr Paweł Fotowicz

© C 2022 Central Office of Measures. All rights reserved.

Rys. 14. Slajd kończący prezentację

w celu wyznaczenia przedziału rozszerzenia, a tym samym współczynnika rozszerzenia jest metoda Monte Carlo zastosowana w statystycznych środowiskach programistycznych.

Podsumowanie

Prezentacja multimedialna opracowana w GUM składa się z 30 slajdów i przedstawia podejścia stosowane przy wyznaczaniu współczynnika rozszerzenia w procedurach obliczania niepewności pomiaru. Zwraca uwagę na konieczność precyzyjnego określania tego współczynnika w celu unikania przeszacowania jego wartości. Prezentacja została opracowana w atrakcyjny animacyjny sposób ze słownym komentarzem w języku polskim i angielskim. Odwołuje się do rozwiązań wynikających z treści dokumentów źródłowych [7–9]. Może być pomocna dla lepszego zrozumienia zagadnień objętych tematyką kursów szkoleniowych z zakresu niepewności pomiaru i je uzupełniających.

Bibliografia

- [1] P. Fotowicz: Method for calculating the coverage factor in calibration. OIML Bulletin, vol. XLIII (2002), s. 5-9.
- [2] P. Fotowicz: A method of approximation of the coverage factor in calibration. Measurement, vol. 35 (2004), s. 251-256.
- [3] P. Fotowicz: Metoda wyznaczania współczynnika rozszerzenia w procedurach szacowania niepewności pomiaru. PAR nr 10 (2003), s. 13-16.
- [4] P. Fotowicz: Metody obliczania współczynnika rozszerzenia w oparciu o spłot rozkładu prostokątnego z normalnym. PAK nr 4 (2004), s. 13-16.
- [5] P. Fotowicz: An analytical method for calculating a coverage interval. Metrologia vol. 43 (2006), s. 42-45.
- [6] P. Fotowicz: Metoda obliczania przedziału i współczynnika rozszerzenia przy opracowaniu wyniku pomiaru. Praca zbiorowa pt. "Niepewność pomiarów w teorii i praktyce", rozdział 3, s. 32-44. Wydawnictwo GUM 2011.
- [7] Przewodnik wyznaczania niepewności pomiaru. JCGM 100.
- [8] Przewodnik wyznaczania niepewności pomiaru. Suplement 1, JCGM 101.
- [9] Wyznaczanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu. Dokument EA-4/02.

100 lat Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu

100th anniversary of the Regional Office of Measures in Poznan

Agnieszka Kałek-Skraburska
Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu

W tym roku przypada setna rocznica powstania Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu. W artykule przedstawiono historię jego powstania oraz rozwój działalności technicznej do obecnych czasów.

This year marks the hundredth anniversary of the establishment of the Regional Office of Measures in Poznan. The article presents the history of its foundation and the technical development to the present day.

Słowa kluczowe: historia, Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu
Keywords: history, Regional Office of Measures in Poznan

Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu powstał 100 lat temu, 1 stycznia 1922 roku. Przed I wojną światową na terenie Wielkopolski działały urzędy wzorcownicze, nad którymi nadzór sprawował Królewsko-Pruski Inspektorat Legalizacyjny w Poznaniu. Powstanie Wielkopolskie, w wyniku którego nastąpiło szybkie zajęcie terenu Wielkopolski przez powstańców, postawiło społeczeństwo polskie przed wyzwaniem zorganizowania życia gospodarczego i administracji państwowej, w tym także administracji miar. Początki były trudne, ze względu na brak wyszkolonej kadry, wcześniej niedopuszczonej do stanowisk piastowanych przez urzędników niemieckich. W 1918 roku kierownictwo byłego Inspektoratu, pod nazwą Państwowy Urząd Wzorcowniczy, objął inż. Leon Prawdzic-Szczawiński, poznański przedsiębiorca.

Jednym z pierwszych zadań jakie stanęło przed utworzonym Państwowym Urzędem Wzorcowniczym w Poznaniu było pozyskanie odpowiedniej liczby pracowników i przeszkolenie ich w zakresie sprawdzania przyrządów pomiarowych. Inżynier Leon Prawdzic-Szczawiński wraz z Dyrektorem Głównego Urzędu Miar Zdzisławem Rauszerem oraz Kazimierzem Żurawskim, inspektorem w wielkopolskiej administracji miar, stanowili komisję egzaminacyjną dla przyszłych legalizatorów. Z uwagi na brak polskich przepisów, na podstawie których mogłaby działać polska administracja miar, w trakcie kursu posłużono się przetłumaczonymi przepisami pozostałymi po niemieckiej administracji miar. One właśnie stanowiły podstawę wykształcenia nowych kadr. Największym jednak problemem okazały się kadry odbudowującej się polskiej administracji

miar. Okazało się, że kursantami byli zarówno Wielkopolanie, jak i Ślązacy, Kaszubi, mieszkańcy Kujaw i inni. Wiązało się to z tym, że wielu z nich nie mówiło po polsku. Pierwszym etapem szkolenia na legalizatorów była więc nauka języka polskiego, a następnie szkolenia metrologiczne. Rezultatem tego przedsięwzięcia było wyszkolenie takiej liczby pracowników, iż 31 maja 1919 roku polscy pracownicy Państwowego Urzędu Wzorcowniczego rozpoczęli prace legalizacyjne. Ten dzień jest więc uznawany za faktyczną datę rozpoczęcia działalności przez administrację miar w Wielkopolsce.

Przez kolejne lata trwały prace nad włączeniem Państwowego Urzędu Wzorcowniczego w struktury polskiej administracji miar. Nastąpiło to z dniem 1 stycznia 1922 roku, kiedy to utworzono Poznański Okręgowy Urząd Miar. Teren jego działania obejmował województwa poznańskie i pomorskie. Jego oddziały terenowe poza samym Poznaniem znajdowały się w Lesznie, Ostrowie Wielkopolskim, Bydgoszczy, Gnieźnie, Inowrocławiu, Toruniu, Chojnicach, Grudziądzu oraz w Kartuzach. Kierownictwo urzędu objął wówczas inż. Jan Werner, który funkcję tę pełnił do pierwszych dni września 1939 roku.

Wybuch II wojny światowej przerwał działalność polskiej administracji miar. OUM w Poznaniu podporządkowany został Ministerstwu Przemysłu w Berlinie, a w urzędzie zatrudnieni zostali niemieccy urzędnicy.

Prace polskiej administracji miar na terenie Wielkopolski zostały wznowione w marcu 1945 roku pod kierownictwem inż. Edmunda Skibskiego.

Dzisiaj o początkach polskiej administracji miar w Poznaniu przypomina ozdobna tablica znajdująca się w centralnej części elewacji budynku, gdzie widnieje pierwsza nazwa urzędu wraz z godłem państwa.

Historia tej tablicy pokazuje koleje losu Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu. Pierwotnie w tym miejscu znajdowała się tablica oznaczająca Królewsko-Pruski Inspektorat Legalizacyjny aż do utworzenia Państwowego Urzędu Wzorcowniczego. Tablica z tą nazwą urzędu oraz polskim orłem przetrwała do 1939 roku, kiedy została zrzucona przez niemieckich okupantów i zastąpiona ponownie niemiecką tablicą. Po wyzwoleniu i ta tablica została zdjęta, ale na budynku nie pojawiła się nowa tablica z polskim orłem. Miejsce to zostało puste aż do 2014 roku, kiedy to w związku z przeprowadzonym remontem elewacji podjęto decyzję o odtworzeniu dawnej tablicy Państwowego Urzędu Wzorcowniczego. W ten sposób polski orzeł został umieszczony na swoim miejscu, blisko setnej rocznicy, od chwili kiedy pojawił się na tym budynku po raz pierwszy.

Charakterystyczna dla Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu jest jego siedziba – budynek przy ulicy Krakowskiej 19. Budynek ten powstał jako nowa siedziba Królewsko-Pruskiego Inspektoratu Legalizacyjnego. Oddany został do użytku na rzecz tej instytucji w 1918 roku jako dwupiętrowy budynek mieszczący pomieszczenia do obsługi interesantów, jak i mieszkanie dla naczelnika urzędu. Od 1919 roku w budynku tym znajdował się Państwowy Urząd Wzorcowniczy. Oznacza to, że budynek ten jest związany z polską administracją miar w Poznaniu od 100 lat, tj. od samego początku jej funkcjonowania. Siedziba ta była świadkiem wydarzeń, jakie miały miejsce przez ostatnie 100 lat w Poznaniu i w Polsce. Rozwój dwudziestolecia międzywojennego, lata okupacji, wyzwolenie Poznania i odbudowa zniszczeń powojennych, rozwój przemysłowy i postęp techniczny w latach powojennych, zmiany ustrojowe w ostatnich dekadach, zmieniały się czasy, wybuchały i kończyły się wojny, budynek natomiast cały czas stał na swoim miejscu i służył społeczeństwu jako miejsce świadczenia usług metrologicznych, gdyż w tym celu go wzniesiono. W latach sześćdziesiątych siedziba

została rozbudowana poprzez nadbudowę dwóch kondygnacji. Dzięki temu urząd mógł dalej rozwijać coraz to nowe dziedziny pomiarowe, zwiększając również liczbę pracowników. Dzisiaj budynek przy ul. Krakowskiej 19 jest nadal siedzibą Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu, a także Wydziału Zamiejscowego Okręgowego Urzędu Probierczego w Krakowie.

Obecnie Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu obejmuje swoim obszarem działania całe województwo wielkopolskie. Od 1 lipca 2018 roku w jego obszarze zadania realizują Wydziały Zamiejscowe zlokalizowane w Pile, Lesznie, Kaliszu, Gnieźnie i Koninie, utworzone z byłych obwodowych urzędów miar.

Podstawowym zadaniem Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu jest legalizacja przyrządów pomiarowych w celu zapewnienia dokładności i wiarygodności pomiarów w obrocie handlowym, w ochronie zdrowia, życia i środowiska, a także dla bezpieczeństwa i porządku publicznego.

OUM w Poznaniu realizuje nadzór metrologiczny nad przestrzeganiem przepisów ustawy Prawo o miarach, ustawy o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku, ustawy o towarach paczkowanych oraz ustawy o tachografach, na terenie województwa wielkopolskiego.

Funkcjonująca w strukturach OUM Jednostka Notyfikowana nr 1441 realizuje procedury oceny zgodności wag nieautomatycznych zgodnie z wymaganiami

Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/31/UE oraz procedury oceny zgodności przyrządów pomiarowych objętych Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/32/UE.

Stanowiska pomiarowe, pracownie, laboratoria kształtowały się przez lata. Dzisiaj Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu dysponuje wyposażeniem pomiarowym pozwalającym na świadczenie usług w szerokim zakresie w wielu dziedzinach pomiarowych. Jako jeden z nielicznych OUM wykonuje wzorcowanie takich przyrządów pomiarowych jak: analizatory parametrów sieci, testery bezpieczeństwa elektrycznego urządzeń, rotametry, luksomierze, kalibratory fotometryczne oraz instalacje pomiarowe do gazu ciekłego propan-butan.



Wizerunek godła na budynku Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu

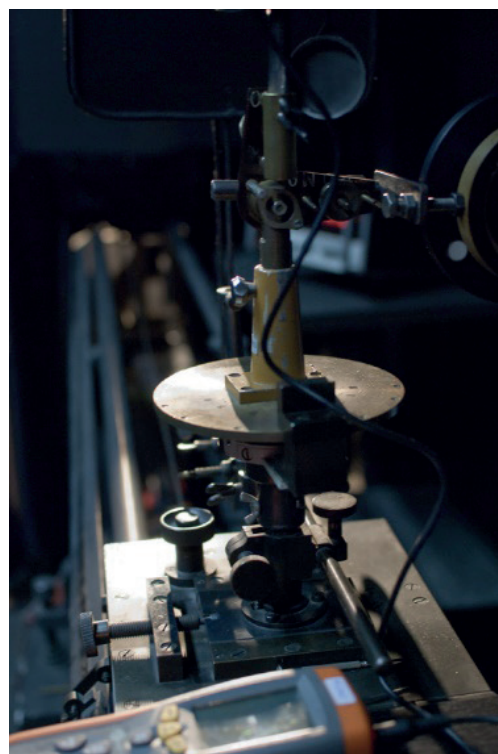


■ Budynek Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu

Stąły rozwój możliwości pomiarowych powoduje, że zakres usług świadczonych przez Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu zwiększa się każdego roku.

Zespół Laboratoriów Wzorcujących Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu (AP 084) posiada wdrożony system zarządzania zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025, a jego kompetencje techniczne zostały potwierdzone przez Polskie Centrum Akredytacji. Akredytacja utrzymywana jest od 19 stycznia 2006 roku. Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu wykonuje wzorcowanie przyrządów pomiarowych w zakresie akredytacji w następujących dziedzinach pomiarowych: przepływ, wielkości optyczne, czas, masa, ciśnienie, wielkości elektryczne, siła, moment siły, twardość, wielkości geometryczne, wielkości chemiczne. Po pozytywnych ocenach przeprowadzonych przez PCA rozszerzony został w ostatnim czasie zakres usług świadczonych w ramach akredytacji przez Laboratorium AP 084 Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu o wzorcowanie ciśnieniomierzy, przetworników ciśnienia, płytek wzorcowych do 500 mm, kluczy i wkręteków dynamometrycznych.

Działalność OUM w Poznaniu w okresie jego funkcjonowania realizowana jest również poprzez współpracę



■ Stanowisko do wzorcowania luksomierzy

międzynarodową. Już w latach siedemdziesiątych XX wieku w ramach współpracy międzynarodowej pracownicy Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu wykonywali wzorcowanie zbiorników pomiarowych w Libii. W latach dziewięćdziesiątych zaś w Syrii uczestniczyli w montażu i kalibracji aparatury kontrolno-pomiarowej w nowo budowanym gazociągu. Nowy obszar działalności w ramach współpracy międzynarodowej pojawił się po uzyskaniu przez OUM w Poznaniu notyfikacji w obszarze oceny zgodności przyrządów pomiarowych w 2004 r. Jak dotąd nasi pracownicy przeprowadzali badania wag w Estonii, Łotwie i Turcji.

Od 2008 roku Dyrektor Okręgowego Urzędu Miar w Poznaniu reprezentuje Główny Urząd Miar na forum WELMEC (Europejska Współpraca w dziedzinie Metrologii Prawnej) w grupie roboczej WG5 – nadzór metrologiczny, która zajmuje się kwestiami związanymi z nadzorem metrologicznym nad przyrządami pomiarowymi wprowadzanymi na rynek oraz użytkowanymi na terenie Unii Europejskiej. W związku z tą działalnością zainicjowane i skoordynowane były dwa projekty międzynarodowe, przeprowadzone w latach 2018 oraz 2021, dotyczące nadzoru metrologicznego wag o dużych obciążeniach. W obu projektach brał udział OUM w Poznaniu wraz z pozostałymi okręgowymi urzędami miar i partnerami zagranicznymi. Działania te były przede wszystkim ukierunkowane na poprawę stanu przestrzegania przepisów metrologicznych oraz wymianę informacji i doświadczeń w zakresie nadzoru metrologicznego nad tego typu przyrządami pomiarowymi.

OUM w Poznaniu podejmuje także współpracę o charakterze naukowym. Z Politechniką Poznańską współpracował w zakresie doskonalenia badań właściwości metrologicznych przyrządów do oceny jakości energii elektrycznej. Prowadzone były analizy i prace do wspólnej publikacji dotyczącej pomiarów współczynnika THD. W ramach współpracy Dyrektor OUM w Poznaniu objął patronatem konferencję organizowaną przez Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu pt. "Chemometria i Metrologia w analityce", na której przedstawiciel OUM w Poznaniu wygłosił prezentację pt. "Wpływ wybranych warunków odniesienia na wiarygodność wyników badań i pomiarów otrzymywanych w laboratoriach badawczych i wzorujących".

Realizując misję administracji miar, w celu umożliwienia lepszego rozumienia problematyki miar wśród społeczeństwa, Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu otwiera swoje pracownie dla studentów Wydziału Chemii Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu. Studenci licznie i z zainteresowaniem oglądają wyposażenie oraz słuchają informacji na temat stosowanych metod pomiarowych. Dla instytucji publicznych natomiast organizowane są szkolenia

w zakresie nadzoru metrologicznego oraz prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych, szczególnie dedykowane policji, inspekcjom i strażom miejskim.

Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu organizuje także praktyki i staże studenckie dla studentów wyższych uczelni, m.in. Politechniki Poznańskiej, Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu oraz dla uczniów szkół średnich.

Ponadto, Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu uczestniczy w miarę możliwości w życiu publicznym miasta i okolic m.in. obejmując patronat nad lokalnymi wydarzeniami.

Biuletyn Głównego Urzędu Miar „Metrologia i Probiernictwo” przedstawia w możliwie obszerny sposób działalność polskiej administracji miar, jak również administracji probierczej. Dzięki temu czytelnicy mają okazję poznać dorobek laboratoriów pomiarowych, a także dowiedzieć się więcej o zadaniach realizowanych przez terenową administrację miar. W Biuletynie prezentowane są zagadnienia związane z techniką i pomiarami, prawną kontrolą metrologiczną czy współpracą w zakresie międzynarodowych programów naukowo-badawczych. Swoje miejsce w publikacji znajduje również przegląd najważniejszych wydarzeń w krajowej metrologii.

Staramy się być blisko wszystkiego, co ważne w metrologii. Przekazujemy treści interesujące zarówno dla profesjonalistów, jak też i dla osób nie zajmujących się metrologią. Stąd też w Biuletynie pojawiają się artykuły na temat aktualnych zagadnień dotyczących metrologii i probiernictwa, ale także wywiady i artykuły popularyzatorsko-historyczne. Artykuły zostały poprzedzone krótkimi opisami zawartości w języku angielskim.

The bulletin of the Central Office of Measures “Metrology and Hallmarking” presents as broadly as possible the activity of the Polish administration of measures and hallmarking administration as well. Thanks to this fact the readers have the opportunity to familiarize themselves with the output of the measurement laboratories and learn more about tasks fulfilled by the local administration of measures. In the bulletin there are presented issues connected with technology, measurements, legal metrological control and cooperation in the field of the international research and development programs as well. In the publication there is also place for review of the important events in the national metrology.

We try to be close to everything what is important for metrology. We transfer contents interesting for both professionals and persons who deal not with metrology. Hence in the bulletin there appear papers on current issues in metrology and hallmarking, interviews and contributions with promoting and historical contents. The contributions are introduced by abstracts in English.

METRO LOGO GIA

