

# Informacje dotyczące realizacji projektu badawczego EMRP SIB63 „Force traceability within the meganewton range”

## Description of EMRP SIB 63 “Force traceability within the meganewton range”

**Mikołaj Woźniak** (Zakład Mechaniki, GUM)

Artykuł ma na celu przybliżenie celów i wyników realizacji projektu EMRP SIB63 „Force traceability within the meganewton range” oraz zakresu uczestnictwa Głównego Urzędu Miar. Wykonane zostały podstawowe prace badawcze na przetwornikach siły i układach „build-up”. Wyniki poddano wstępnej analizie.

This paper's aim is to explain the objectives and planned results of the project EMRP SIB63 “Force traceability within the meganewton range” and scope of participation of the Central Office of Measures. Essential test of force transducers and “build-up” systems have been performed. Results have been initially analyzed.

### Wstęp

Międzynarodowy projekt badawczy EMRP SIB63 „Force traceability within the meganewton range” został zatwierdzony w 2012 r., w ramach zgłoszeń do Europejskiego Programu Badań w Metrologii dla Programu Celowego „SI Broader Scope”. Czas jego realizacji to 3 lata, od początku lipca 2013 r. do końca czerwca 2016 r. W projekcie bierze udział dwóch pracowników Laboratorium Siły i Ciśnienia Zakładu Mechaniki Głównego Urzędu Miar, Zbigniew Pyszek oraz autor niniejszego artykułu.

Poza GUM uczestnikami są w większości europejskie Krajowe Instytuty Metrologiczne (NMIs): PTB (Niemcy, koordynator projektu i lider pakietów roboczych WP1, WP4, WP5 oraz WP6), INRIM (Włochy, lider pakietu roboczego WP2), LNE (Francja, lider pakietu roboczego WP3), CEM (Hiszpania), ČMI (Republika Czeska), METAS (Szwajcaria), MIKES (Finlandia), NPL (Wielka Brytania), TUBITAK (Turcja) oraz instytut badawczy BAM z Berlina.

Uzyskano również wsparcie od czołowych europejskich producentów przyrządów do pomiaru siły, którzy w listach intencyjnych wyrazili gotowość do współpracy i zainteresowanie rezultatami projektu.

### Podstawowe cele i oczekiwane rezultaty projektu

Projekt odnosi się do rosnącego zapotrzebowania na zapewnienie spójności pomiarowej w europejskim przemyśle w zakresie siły powyżej kilku, kilkunastu MN, szczególnie w budownictwie, badaniu wytrzymałości materiałów, instalacjach elektrowni wiatrowych, przemyśle morskim, lotniczym i kosmicznym. Aby sprostać tym wymaganiom projekt zakłada udoskonalenie procesu przekazywania jednostki siły w zakresie MN poprzez realizację następujących celów związanych z różnymi metrologicznymi aspektami i problemami występującymi przy pomiarach siły:

- ▶ rozszerzenie zakresów pomiarowych wzorców pierwotnych siły od 1 MN do 50 MN oraz uzyskanie względnych niepewności rozszerzonych tych wzorców na poziomie:
  - $2 \cdot 10^{-5}$  w zakresie do 2 MN,
  - $1 \cdot 10^{-4}$  w zakresie do 15 MN,
  - $5 \cdot 10^{-4}$  w zakresie do 50 MN,
- ▶ zbadanie zasad działania i charakterystyk przetworników pracujących w najwyższych zakresach sił (do 30 MN i 50 MN) oraz opracowanie modelu do przyszłych zastosowań,

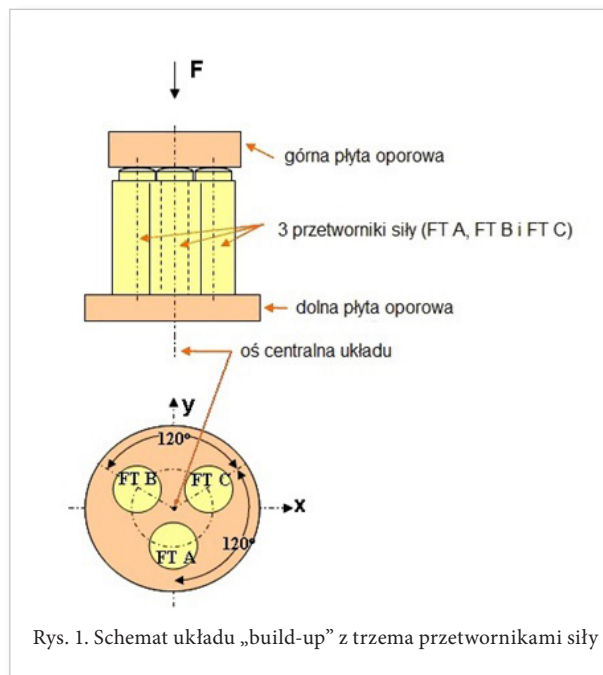
- opracowanie metody szacowania niepewności układów typu „build-up” oraz przy zastosowaniu ekstrapolacji danych dla sił w zakresie MN,
- badanie skutków oddziaływania efektów występujących w zastosowaniach przemysłowych (niepożądane składniki wektora siły, różne schematy zadawania obciążeń, wpływ warunków środowiskowych, pomiar wielu składników wektora siły).

Na podstawie przeprowadzonych badań uczestnicy projektu, wspólnie z producentami przyrządów do pomiaru siły, postarają się udoskonalić wzorce pośredniczące siły oraz układy „build-up”. Planowane jest także opracowanie nowych procedur, przewodników technicznych oraz narzędzi programowych do szacowania niepewności. Transfer wiedzy ma natomiast zapewnić ogólną dostępność rezultatów tego projektu, tak aby wyniki badań i wzorcowań realizowanych w przemyśle dla sił rzędu MN były wiarygodne i wzajemnie uznawane.

### Układ „build-up”

Pomiary sił w zakresie MN wykonywane są za pomocą różnego typu układów pomiarowych, których właściwości metrologiczne różnią się od standardowych wzorców pośredniczących siły. Najczęściej stosowanym jest układ „build-up” przeznaczony zarówno do pomiaru siły w badaniach jak i do przekazywania jednostki siły. Jest to zespół trzech (lub więcej) indywidualnie wywzorcowanych przetworników siły ustawionych równolegle, wokół centralnej osi układu. Przetworniki te połączone są ze sobą za pomocą elementów łącznikowych oraz dwóch płyt oporowych, górnej i dolnej, w celu równomiernego przenoszenia sił (rys. 1). Zastosowanie takiego zespołu przetworników może służyć do pomiaru trzykrotnie (lub wielokrotnie) większej siły – suma sił mierzonych przez pojedyncze przetworniki jest całkowitą siłą działającą na układ [1].

Metoda stosowana w układach „build-up” jest bardzo ekonomiczna, szczególnie dla pomiarów siły w zakresie MN, ponieważ stosunkowo łatwo można zwiększyć zakres pomiarowy przy zachowaniu spójności pomiarowej. Możliwe jest także zastosowanie pojedynczych przetworników siły do innych celów po rozmontowaniu układu lub dodawanie kolejnych w celu dalszego rozszerzenia zakresu pomiarowego całego zespołu.



Rys. 1. Schemat układu „build-up” z trzema przetwornikami siły

Zastosowanie powyższej metody powoduje jednak konieczność uwzględnienia w budżecie niepewności układu „build-up” m.in. niepewności wzorcowania wszystkich przetworników siły, a także niepewności związanej z przenoszeniem siły na poszczególne elementy.

Podczas stosowania układów „build-up” w przemyśle należy także uwzględnić wiele efektów wpływających, pochodzących m.in. od różnych elementów łącznikowych, różnych schematów zadawania obciążeń bądź niepożądanych składników wektora siły.

### Zakres uczestnictwa GUM w projekcie

W trakcie prac nad przygotowaniem wspólnego projektu badawczego autor niniejszego artykułu uczestniczył w opracowaniu dokumentu opisującego jego cele, założenia, zakres badań i rezultaty (tzw. „JRP-Protocol”) [2]. Zaplanował uczestnictwo w pięciu z sześciu pakietów roboczych, ustalając jednocześnie wkład finansowy i podział środków.

Większość prac badawczych zaplanowanych do wykonania przez Główny Urząd Miar w ramach pakietów roboczych WP1 i WP3 zakłada kompleksowe badanie układów „build-up” oraz przetworników siły będących na wyposażeniu Laboratorium Siły i Ciśnienia. Do tego celu wykorzystywane są stanowiska wzorcowe siły o zakresie pomiarowym do 3 MN, znajdujące się w Głównym Urzędzie Miar. Względna

niepewność rozszerzona przekazywania jednostki siły tych stanowisk wynosi od  $6 \cdot 10^{-5}$  do  $5 \cdot 10^{-4}$ . Pomiary odkształceń obciążanych przetworników siły lub ich układów przeprowadzane są elektrycznie (wyrażone w mV/V), przy pomocy odpowiednio dobranych wzmacniaczy pomiarowych. Wykorzystane są trzy precyzyjne wzmacniacze typu MGCplus/ML38B, DMP40 oraz DMP41, których producentem jest firma HBM z Niemiec. Z urządzeń dostępnych na rynku charakteryzują się one najlepszą klasą dokładności oraz rozdzielczością w zakresie pomiarowym  $\pm 2,5$  mV/V.

Zakres badań do wykonania przez Główny Urząd Miar obejmuje:

- określenie różnic pomiędzy sygnałami otrzymanymi podczas pomiarów całego układu „build-up” a sumą sygnałów pojedynczych przetworników siły tego zespołu,
- zbadanie różnic sygnałów układów „build-up” i przetworników siły pomiędzy pomiarami w pełnym oraz częściowych zakresach,
- zastosowanie różnych schematów zadawania obciążeń na różnych przetwornikach siły i analiza pojawiających się zależności.

Laboratorium posiada dwa układy „build-up”, oba pracujące w zakresie do 3 MN i składające się z trzech przetworników siły o udźwigu 1 MN: nowy system BU18 (rys. 2) oraz układ zaprojektowany w Laboratorium w latach 90. W 2015 r. planowana jest także budowa, a następnie zbadanie układu o zakresie pomiarowym do 10 MN, składającego się z trzech przetworników siły o udźwigu 3,5 MN. Prócz tego do badań zostanie wykorzystany szereg różnych przetworników siły, o różnych udźwigach i klasach dokładności, z zastosowaniem różnych elementów łącznikowych.

Główny Urząd Miar uczestniczy również w procesie analizy uzyskanych danych, która posłuży do opracowania zasad ekstrapolacji wyników do wyższych wartości oraz przy tworzeniu nowej procedury szacowania niepewności pomiaru dla układów „build-up”. Transfer wiedzy, publikacja wyników i możliwości ich praktycznego wykorzystania będą polegać na wydaniu międzynarodowych norm i przewodników, napisaniu artykułów w czasopismach naukowych oraz przeprowadzeniu szkoleń.

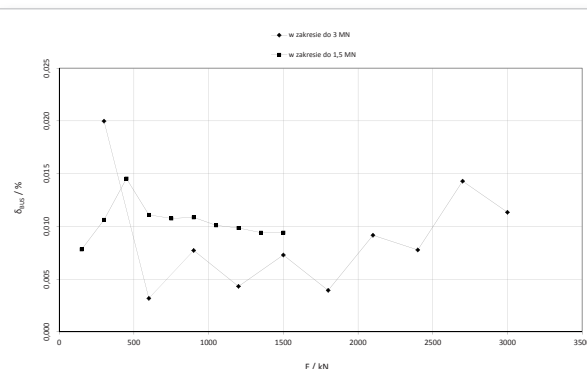
## Wyniki dotychczasowych badań

Do tej pory zrealizowano większość z zaplanowanych badań. Wykonano kompleksowe pomiary szeregu przetworników siły poprzez zastosowanie częściowego obciążenia oraz różnych schematów zadawania obciążeń. Przeprowadzono także badania dwóch układów „build-up” na stanowiskach wzorcowych siły w Głównym Urzędzie Miar. Ponadto, w grudniu 2013 r. autor niniejszego artykułu odbył wizytę badawczą w PTB w Niemczech (druga tego typu wizyta zaplanowana jest w ostatnim kwartale tego roku). W trakcie tej wizyty przeprowadzone zostały badania układu BU18 na stanowiskach wzorcowych PTB (względna niepewność rozszerzona  $2 \cdot 10^{-5}$  i  $1 \cdot 10^{-4}$ ). Wyniki badań pozwoliły m.in. na wyznaczenie odchylenia ( $\delta_{BUS}$ ) pomiędzy sygnałem otrzymanym podczas pomiarów całego układu „build-up”, a sumą sygnałów pojedynczych przetworników siły tego zespołu (wykres 1), w dwóch zakresach pomiarowych. Warto dodać, że charakterystyki metrologiczne zestawu BU18 okazały się na tyle dobre, że zakwalifikowany on został do grupy kilku układów „build-up”, które będą wykorzystane do opracowania zoptymalizowanego modelu.

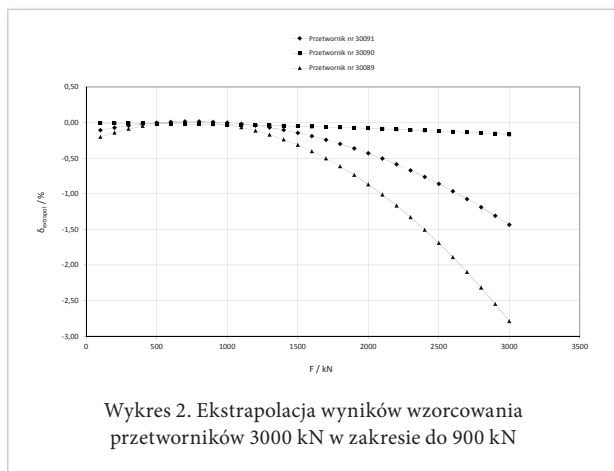


Rys. 2. Układ „build-up”, typ BU18

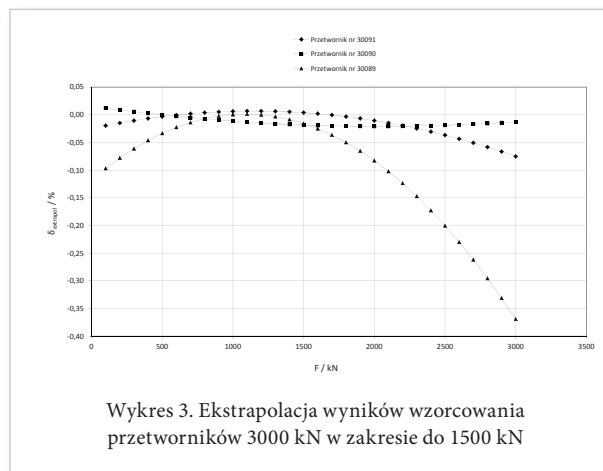
źródło: www.hbm.com



Wykres 1. Odchylenie sygnałów całego układu BU18 od sumy sygnałów pojedynczych przetworników



Wykres 2. Ekstrapolacja wyników wzorcowania przetworników 3000 kN w zakresie do 900 kN



Wykres 3. Ekstrapolacja wyników wzorcowania przetworników 3000 kN w zakresie do 1500 kN

Poddano także analizie wyniki badań częściowego obciążania otrzymanych dla zestawu trzech przetworników siły tego samego typu o udźwigu 3000 kN. Pomiary polegały na przeprowadzeniu wzorcowania tych przetworników w zakresach od 900 kN do 1500 kN oraz do 3000 kN. Następnie, wykonana została ekstrapolacja wyników otrzymanych dla zakresów 900 kN i 1500 kN. Otrzymane wartości pozwoliły na wyznaczenie odchylenia ( $\delta_{\text{extrapol}}$ ) od wyników wzorcowania w zakresie do 3000 kN (wykres 2 i 3).

## Podsumowanie

Z wyników badań przedstawionych na wykresie 1 można wywnioskować, że wszystkie wartości uzyskane dla całego układu były większe od sumy sygnałów pojedynczych przetworników. Ma to najprawdopodobniej związek z zastosowaniem dodatkowych elementów łącznikowych podczas badań całego układu.

Ekstrapolacja wyników do wyższych wartości (wykres 2 i 3) jest z kolei zależna od właściwości danego przetwornika siły oraz zakresu częściowego obciążania. Odchylenia  $\delta_{\text{extrapol}}$  maleją wraz ze wzrostem zakresu danych eksperymentalnych wykorzystywa-

nych do ekstrapolacji (dla zakresu 1500 kN są one ok. 10 razy niższe od danych z zakresu 900 kN).

Wysunięcie kolejnych wniosków i oszacowanie zależności uwarunkowane jest koniecznością przeprowadzenia dalszych badań i zebrania danych od wszystkich uczestników. Umożliwi to przeprowadzenie szczegółowej analizy wyników, a w końcowej fazie projektu ich publikację i przeprowadzenie szkoleń.

Więcej informacji na temat projektu EMRP SIB63 można znaleźć na stronie internetowej [4].

## Literatura

- [1] Gizmajer A.: *Metoda rozszerzania zakresu pomiarowego wzorców siły*. Praca doktorska. Politechnika Warszawska, Wyd. MEL, Warszawa, 1976.
- [2] Kumme R.: *Annex Ia – JRP-Protocol SIB63 Force traceability within the meganewton range*.
- [3] Anderegg P., Honegger W., Sennhauser W., Kumme R., Sawla A.: *Development and calibration of a build-up system for forces of up to 21 MN.*, Proceedings IMEKO TC3/APMF '98 of the 16th International Conference on Force, Mass and Torque Measurement, 14-18.09.1998, Taejon (Korea).
- [4] [www.ptb.de/emrp/forcemetrology.html](http://www.ptb.de/emrp/forcemetrology.html)