

## ESTYMACJA STATYCZNEGO MOMENTU TARCIA ŁOŻYSKA WIEŻY CZOŁGU NA PODSTAWIE WYNIKÓW POMIARÓW

### Streszczenie

W opracowaniu zawarto opis metodyki badań eksperymentalnych i procedury oszacowania uzyskanych na ich podstawie wyniku pomiaru oraz jego złożonej niepewności standardowej. Poprzedzono to wstępem, w którym zawarto opis genezy problemu uzasadnionego przedstawionymi potrzebami.

W szczególności i przejrzenie przedstawionej metodyce prowadzonych badań oparto się na opisanej w literaturze, dotychczasowej procedurze pomiarów momentu tarcia łożyska wieży czołgu.

Istotne etapy pracy, takie jak np. uzyskane wyniki pomiarów czy właściwe wypoziomowanie czołgu w trakcie badań, weryfikowano bezpośrednio podczas etapów ich otrzymania.

Wartość momentu tarcia w łożysku wieży obliczono poprzez uśrednianie kolejno wyliczanych wartości wyników pomiarów pośrednich dla kolejnych danych wejściowych funkcji modelującej pomiar. Natomiast wartość złożonej niepewności standardowej estymowano według procedury przenoszenia niepewności w pomiarach pośrednich, co umożliwiło uwzględnienie także niepewności pomiarowych wielkości wejściowych modelu, które nie ulegały zmianom w trakcie pomiaru.

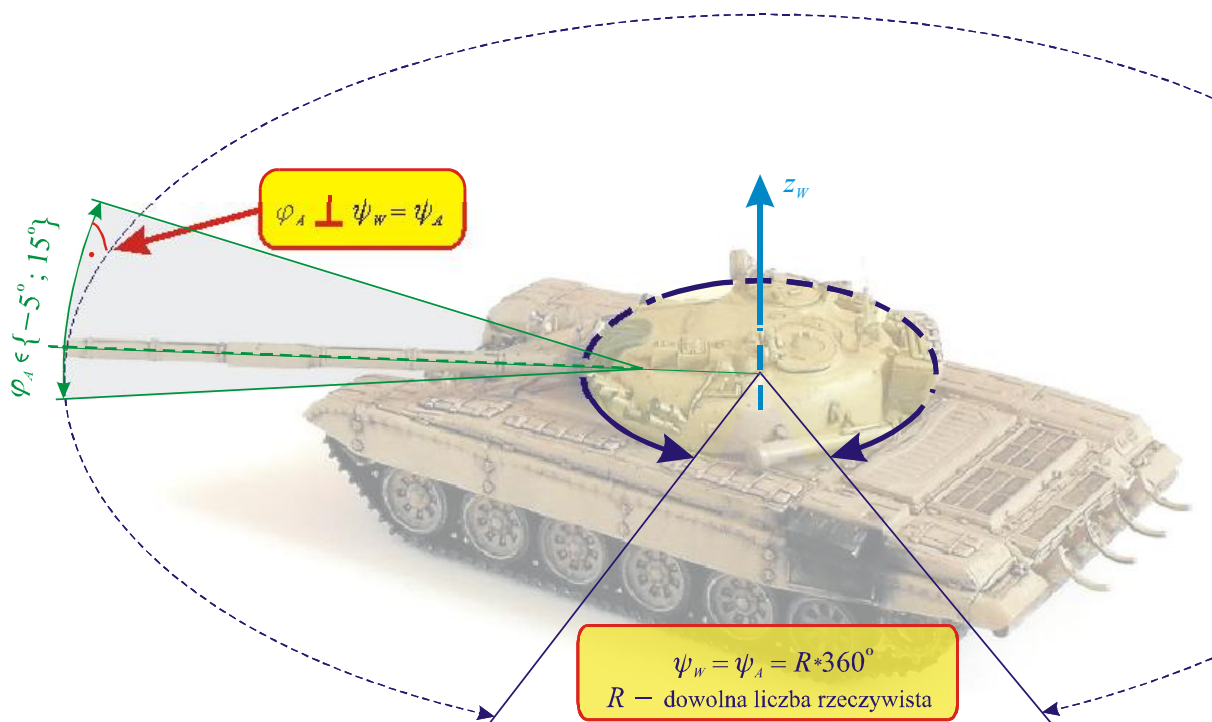
Całość pracy uwieńczono obszernym podsumowaniem, w którym zawarto także wskazówki dotyczące kierunków dalszych działań.

### WSTĘP

Wiarygodne oszacowanie wartości statycznego momentu tarcia łożyska wieży czołgu ma zasadnicze znaczenie dla potrzeb modelowania pracy stabilizatora położenia kątownego uzbrojenia w płaszczyźnie poziomej (w azymucie).

W powszechnie stosowanym układzie konstrukcyjnym współczesnych czołgów, wieża osadzona w kadłubie na łożysku obraca się w płaszczyźnie poziomej, prostopadłej do pionowej płaszczyzny obrotu armaty względem wieży. Ilustruje to rysunek 1.

Nierówności terenu, po których porusza się czołg, oddziałując poprzez jego zawieszenie, powodują drgania kadłuba, w tym kątowe drgania w płaszczyźnie poziomej [1, 3].



Rys. 1. Geometria kątowych przemieszczeń wieży i armaty względem kadłuba czołgu

Moment sił tarcia w łożysku wieży (wraz z jego uszczelnieniem) przyczynia się do powstawania kątowych drgań wieży w tej płaszczyźnie. Mechanizm przenoszenia się poziomych drgań kątowych z kadłuba na wieżę czołgu przedstawiono na rysunku 2. Zgodnie z zależnościami pokazanymi na rysunku 1, drgania te są zarazem kątowymi drganiami armaty w płaszczyźnie poziomej. Powodują one pogorszenie celności ognia, prowadzonego z jadącego czołgu, w porównaniu do czołgu nieruchomego.

Zmniejszenie kątowych drgań uzbrojenia, a zatem poprawę celności, osiąga się poprzez wyposażanie czołgów w stabilizatory położenia kątowego uzbrojenia. Stabilizatorów drgań ruchu postępowego nie stosuje się w czołgowych systemach kierowania ogniem. Powszechnie uważa się, że drgania kątowe wywierają znacznie większy wpływ na pogorszenie celności niż drgania postępowe [3]. Poza tym, znając odległość do celu, wpływ przemieszczeń postępowych kompensuje się w niektórych czołgach za pomocą poprawek kątowych. Finalnie, za celność odpowiadają więc drgania kątowe i ich stabilizator.

Oprócz niwelowania drgań, stabilizator służy do nakierowywania uzbrojenia na cel. Odbywa się to poprzez naprowadzanie żyroskopów, stanowiących źródło układu odniesienia, względem którego realizuje się stabilizację. Wzmocniony sygnał z żyroskopów jest wykorzystywany do sterowania napędu wieży, który wytwarza albo stabilizujący albo naprowadzający jej położenie, moment sił.

Im większy moment tarcia w łożysku wieży, tym bardziej drgania kadłuba przenoszą się na wieżę i tym większe są jej drgania kątowe. Także napęd wieży musi wówczas wytworzyć większą wartość momentu stabilizującego.

Widać stąd więc jak ważne znaczenie dla potrzeb modelowania pracy stabilizatora uzbrojenia w azymucie ma rzetelne, wiarygodne oszacowanie wartości momentu tarcia łożyska wieży czołgu.

## 1. METODYKA BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Przed rozpoczęciem badań czołg ustawiono na poziomej, płaskiej i równej powierzchni. Silnik napędu stabilizatora wieży czołgu został zdemonstrowany, zaś elektromagnetyczne sprzęgło ręcznego mechanizmu obrotu wieży wyłączono elektrycznie w celu uniknięcia składowych pochodzących od ich oporów wewnętrznych. Następnie wypoziomowano lufę czołgu. Na rysunku 3 odpowiada to sytuacji, w której oś  $x_A$  lufy armaty czołu jest prostopadła do osi obrotu wieży  $z_w$ . Ponieważ kadłub czołgu i jego lufa są wypoziomowane, to oś lufy jest także prostopadła do wektora przyspieszenia ziemskiego  $g$ .

Bezpośrednio przed rozpoczęciem pomiarów obracano wieżę w celu unormowania się mierzonych charakterystyk. Jest to jak najbardziej uzasadnione, ponieważ nieruchome przez dłuższy czas łożysko wieży może początkowo stawiać większy opór. Natomiast praca stabilizatora wiąże się z długotrwałą pracą łożyska wieży, tak więc po pokonaniu tych początkowych oporów, stabilizacja odbywa

się w unormowanych warunkach pracy łożyska. Podobną procedurę zaleca także instrukcja obsługi stabilizatora, zamieszczona w [2].

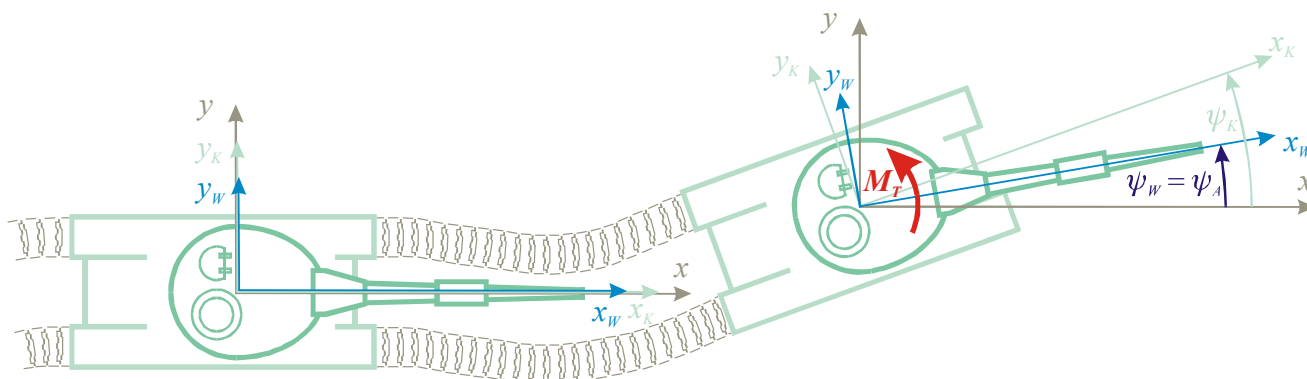
Badania prowadzono bezpośrednio na czołgu, wykorzystując standardowe wyposażenie do pomiaru momentu tarcia. Zastosowano siłomierz mechaniczny, pokazany na rysunku 4, o konstrukcji umożliwiającej zapamiętanie każdorazowo zmierzonego wyniku. Siłomierz zaczepiano do specjalnego jarzma zamocowanego na końcu ustawionej poziomo lufy, przy jej otworze wylotowym. Następnie wywierano powoli narastającą siłę  $F_{ST}$  w płaszczyźnie poziomej, prostopadle do osi lufy, aż do chwili, w której wieża zaczynała się obracać. Sposób przykładania tej siły przedstawiono na rysunku 3.

Zwrot siły zmieniano na przeciwny w kolejnych pomiarach, rozpoczynając każdy pomiar od tego samego położenia kątowego i przykładając siłę naprzemiennie w lewo oraz w prawo. Jest to zgodne z procedurą badań zalecaną w instrukcji obsługi stabilizatora [2] i służy do eliminacji wpływu jednokierunkowego pomiaru momentu tarcia (układaniu się uszczelnienia oraz kulek w łożysku). Mimo usilnych starań wypoziomowania bieżni łożyska wieży czołgu należy jednak liczyć się z pewną niewielką odchyłką od pożądanego stanu idealnego. Wskutek tego, że środek masy wieży może znaleźć się poza osią jej obrotu, co doprowadzi do powstania momentu niewyważenia. Naprzemiennie pomiary rozpoczynane od tego samego położenia kątowego pozwalają na eliminację wpływu tego momentu na końcowy wynik pomiaru. Osiąga się to poprzez obliczanie średniej arytmetycznej z każdego kolejnych dwóch wyników pomiarów [2]. Stąd wynika konieczność wykonania parzystej liczby pomiarów. Zmiana zwrotu siły  $F_{ST}$  odpowiada także naprzemiennym drganiom kątowym wieży wokół azymutu, na którym znajduje się cel. W ten sposób położenie azymutalne lufy nie wychodziło również poza najczęściej wykorzystywany sektor ognia prowadzonego z czołgu.

## 2. WYNIKI POMIARÓW

Uzyskane wyniki badań zilustrowano w formie wykresu, przedstawionego na rysunku 5. Naprzemiennie przykładanie siły  $F_{ST}$  o przeciwnym zwrocie skutkuje dodatnimi i ujemnymi jej wartościami. W celu łatwiejszego porównania uzyskanych wyników oraz ewentualnego stwierdzenia czy łożysko wieży nie stawia większego oporu w jedną ze stron – na rysunku 5 pokazano wartości bezwzględne zmierzonej siły. Ze względu na zastosowany przyrząd pomiarowy oraz z powodu konieczności dalszego opracowania niepewności pomiaru uzyskanych rezultatów (skalowanie wpływa na niepewność [4, 5, 6]), wyniki przedstawiono w bezpośrednim odczytywanych z siłomierza jednostkach czyli w [kG], a nie w [N].

Jak widać, poszczególne wartości uzyskiwane z pomiarów nie są jednakowe, ani nie widać w nich tendencji malejącej. Dobrze to świadczy o zastosowanej metodyce pomiarów oraz o jej przestrzeganiu, a także o tym, że wyniki cechują się rozrzutem stochastycz-



Rys. 2. Przenoszenie się poziomych drgań kątowych z kadłuba  $K$  na wieżę i armatę  $w = A$  wskutek momentu tarcia  $M_T$  między kadłubem, a wieżą czołgu

nym i w celu maksymalizacji wydobycia tkwiącej w nich informacji warto je opracować statystycznie.

### 3. OPRAWOWANIE WYNIKÓW

Zawarta w metodyce konieczność obliczania średniej arytmetycznej z każdego kolejnych dwóch wyników pomiarów nasuwa pytanie czy w badanym przypadku wartość oporów zależy od zwrotu siły wymuszającej. Jednym z najprostszych sposobów wstępnego sprawdzenia tego przypuszczenia może być obliczenie wartości średnich arytmetycznych i odchyłeń standardowych dla każdego ze zwrotów, których rezultaty na tle wyników przedstawiono na rysunku 6.

Wartości średnie oraz wartości odchyłeń standardowych obliczono korzystając ze wszystkich pomierzonych wyników, toteż dla danego ich zbioru przy każdym ze zwrotów są one niezmiennie. W celu uwypuklenia ich ułożenia względem wyników pomiarów, narysowano je w postaci odcinków linii rozpościerających się od pierwszego do ostatniego wyniku. Aby lepiej uwidocznili miary rozproszenia w odniesieniu do różnicy wartości średnich, wartości odchyłeń standardowych naniesiono względem tych wartości średnich. W tym celu, dla każdego ze zwrotów siły wymuszającej, dolne granice określono przez odjęcie wartości odchylenia standardowego od wartości średniej, zaś górne przez ich sumę.

Na podstawie wykonanych w ten sposób wykresów można stwierdzić, że tylko trzy do czterech spośród każdego dziesięciu wyników przekracza granice wyznaczone odchyleniem standardowym, zaś większość cechuje się mniejszym rozproszeniem wokół wartości średniej.

Wykreślone wartości średnie są sobie bardzo bliskie (nie różnią się więcej niż o grubość linii). Natomiast granice miar rozproszenia są znacznie szersze od różnicy wartości średnich. Biorąc pod uwagę, że każda z grup wyników dotyczy przeciwnego zwrotu siły,

można zauważyć, że świadczy to o statystycznie symetrycznym rozmieszczeniu wyników względem zera. W oparciu o te rezultaty można stwierdzić, że niezależnie od zwrotu siły podczas pomiaru tarcia uzyskuje się praktycznie jednakowe wyniki. Statystyczna niezależność sił tarcia od zwrotu siły wymuszającej oznacza, że wpływ niewyważenia jest pomijalnie mały. Ten wniosek upoważnia do stwierdzenia, że podczas badań czołg był dobrze wyważony.

Zgodnie z procedurą obliczeń wartości momentu tarcia w łożysku wieży [2], funkcję modelującą pomiar [6] można sformułować w postaci zależności:

$$M_{TW} = k \cdot R_{OW} \frac{|F_{STP}| + |F_{STL}|}{2} \quad (1)$$

gdzie:

$k$  – stała skalowania:  $k = 9,80665 [N/kG]$ ;

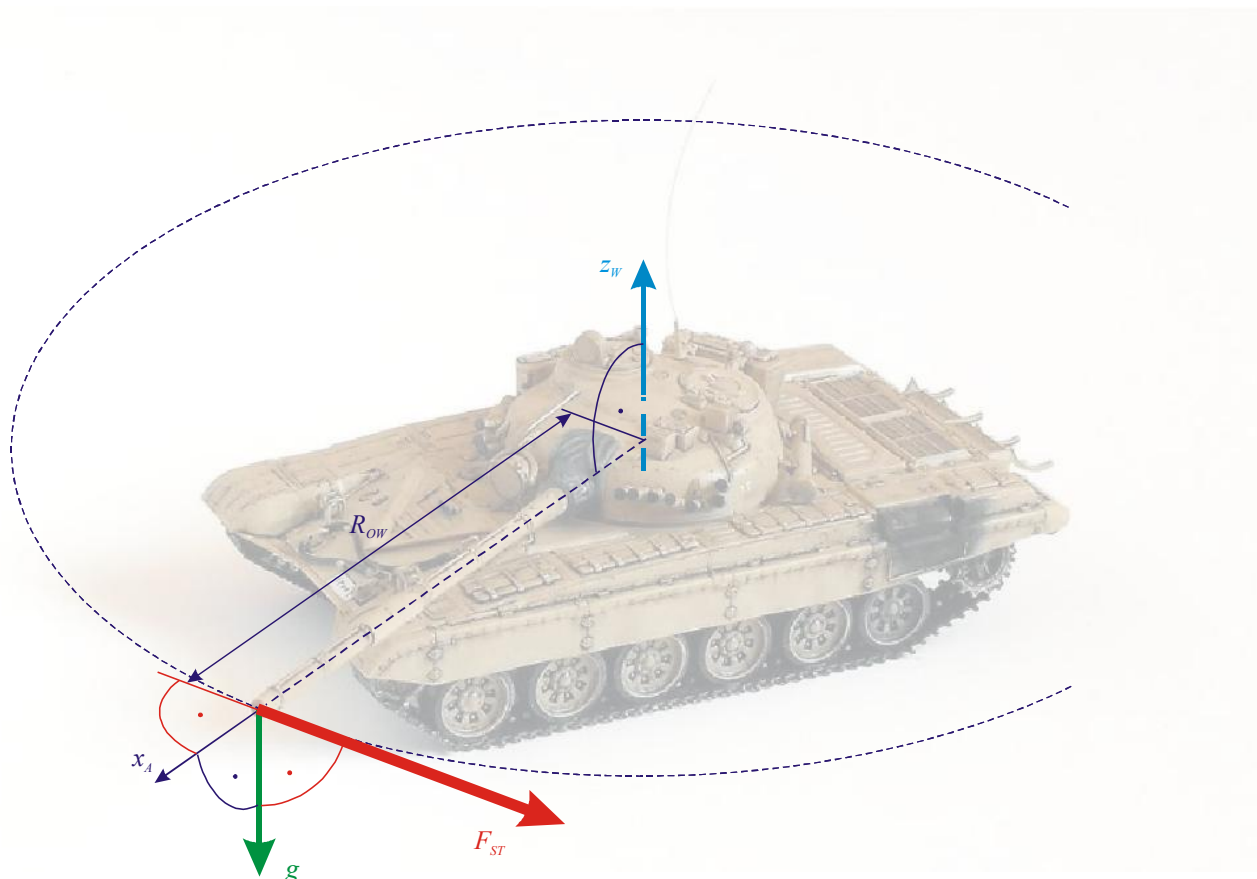
$R_{OW}$  – odległość końca lufy od osi obrotu wieży (rysunek 3):  $R_{OW} = 6,1 [m]$ ;

$F_{STP}$  – wartość siły  $F_{ST}$  z rysunku 3 dla dodatniego (prawego) jej zwrotu podczas pomiaru;

$F_{STL}$  – wartość siły  $F_{ST}$  z rysunku 3 dla ujemnego (lewego) jej zwrotu podczas pomiaru.

Jako estymator wartości oczekiwanej zastosowano wartość średnią arytmetyczną [4, 5, 6] zależności (1) poszczególnych wyników pomiarów pośrednich:

$$\begin{aligned} M_{TWsred} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_{TWi} = \\ &= \frac{k \cdot R_{OW}}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|F_{STPi}| + |F_{STLi}|}{2} = \\ &= 456,43091 [N \cdot m] \end{aligned} \quad (2)$$



Rys. 3. Sposób pomiaru siły  $F_{ST}$  w celu określenia momentu tarcia statycznego wieży  $M_{TW}$

gdzie:

$n$  – liczba pomiarów przy tym samym zwrocie siły  $F_{ST}$ :  $n = 10$ ;

$M_{TWi}$  – wartość obliczonego według (1) momentu tarcia łożyska wieży (wyniku pomiaru pośrodkiego) dla  $i$ -tej pary wyników zmierzonych sił  $F_{STP}$  oraz  $F_{STL}$ ;

$F_{STPi}$ ,  $F_{STLi}$  – wartości bieżącego,  $i$ -tego pomiaru siły  $F_{ST}$  z rysunku 3 dla odpowiednio: dodatniego (prawego) i ujemnego (lewego) jej zwrotu podczas pomiaru.

Oszacowanie złożonej niepewności standardowej przeprowadzonych pomiarów przeprowadzono według [6], uzyskując:

$$u_{cM} = \sqrt{\left(\frac{\partial M_{TW}}{\partial k} \cdot u_k\right)^2 + \left(\frac{\partial M_{TW}}{\partial R_{OW}} \cdot u_{ROW}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_{TW}}{\partial F_{STP}} \cdot u_{FSTP}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_{TW}}{\partial F_{STL}} \cdot u_{FSTL}\right)^2} = 45,5412 [N \cdot m] \quad (3)$$

Poszczególne pochodne cząstkowe, wraz z ich wartościami, przedstawiają się następująco:

$$\frac{\partial M_{TW}}{\partial k} = R_{OW} \frac{|F_{STPsred}| + |F_{STLsred}|}{2} = 46,543000 [kG \cdot m] \quad (4)$$

$$\frac{\partial M_{TW}}{\partial R_{OW}} = k \frac{|F_{STPsred}| + |F_{STLsred}|}{2} = 74,824740 [N] \quad (5)$$

$$\frac{\partial M_{TW}}{\partial F_{STP}} = \frac{k \cdot R_{OW}}{2} = 29,910283 \left[ \frac{N \cdot m}{kG} \right] \quad (6)$$

$$\frac{\partial M_{TW}}{\partial F_{STL}} = \frac{k \cdot R_{OW}}{2} = 29,910283 \left[ \frac{N \cdot m}{kG} \right] \quad (7)$$

Wartość składowej niepewności pomiarowej  $u_k$  można określić w oparciu o zasady zawarte w [4], przypisując wartości składowej  $k = 9,80665 [N/kG]$  niepewność o wartości

$u_k = 0,00010 [N/kG]$ .

W przypadku niepewności składowej wielkości  $R_{OW}$ , oszacowano ją na podstawie dostępnych rysunków i gabarytów czołgu, uzyskując  $u_{ROW} = 0,1 [m]$ .

Metodyka i wyniki wykonanych pomiarów siły  $F_{ST}$  wymagają uwzględnienia niepewności typu A oraz B [6]. Niepewność typu B mierników wskazówkowych jest na ogół porównywalna z ich rozdzielczością. Jak wynika z rysunku 4, w zakresie uzyskiwanych wartości rozdzielczość pomiaru wynosi  $1 [kG]$  i taką też wartość niepewności typu B, czyli  $u_{BFST} = 1 [kG]$  przyjęto do dalszych obliczeń. Wynikające z rozrzutu statystycznego wyników, niepewności typu A szacuje się jako odchylenia standardowe wartości średniej z tych wyników. Ze względu na nieco różne wartości estymatorów odchyłeń standardowych dla każdego z kierunków pomiaru siły  $F_{ST}$ , także niepewności typu A uzyska się niejednakowe:

$$u_{AFSTP} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (F_{STPi} - F_{STPsred})^2} = 0,40809857 [kG] \quad (8)$$

$$u_{AFSTL} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (F_{STLi} - F_{STLsred})^2} = 0,29860788 [kG] \quad (9)$$

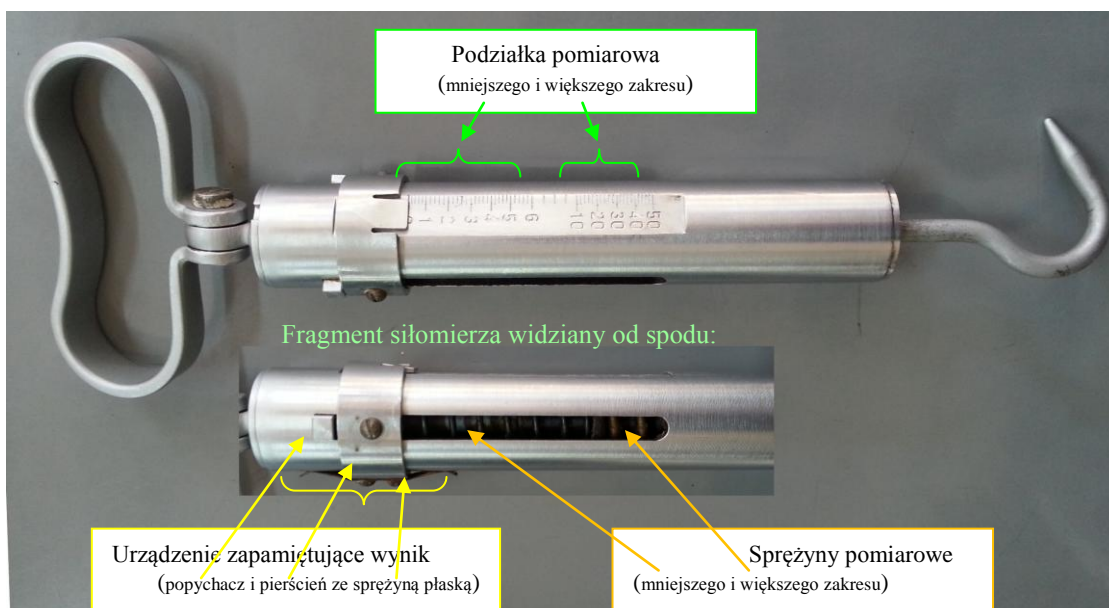
Zgodnie z [6], estymatory złożonych niepewności sił  $F_{ST}$  wykorzystanych w zależności (3) wynoszą:

$$u_{FSTP} = \sqrt{u_{AFSTP}^2 + u_{BFST}^2} = 1,080067 [kG] \quad (10)$$

$$u_{FSTL} = \sqrt{u_{AFSTL}^2 + u_{BFST}^2} = 1,043631 [kG] \quad (11)$$

Uzyskaną estymatę wartości oczekiwanej (2) należy zaokrąglić do tej samej pozycji dziesiętnej niepewności, przy czym wartość estymaty niepewności (3) pomiaru złożonego, zaokrągla się do dwóch miejsc znaczących [4, 6], otrzymując ostateczną wartość momentu tarcia w łożysku wieży wraz z jego złożoną niepewnością standardową:

$$M_{TWe} = (456 \pm 46) [N \cdot m] \quad (12)$$



Rys. 4. Siłomierz mechaniczny wykorzystywany podczas pomiarów



Jak łatwo obliczyć, daje to względną złożoną niepewność pomiaru o wartości 10%.

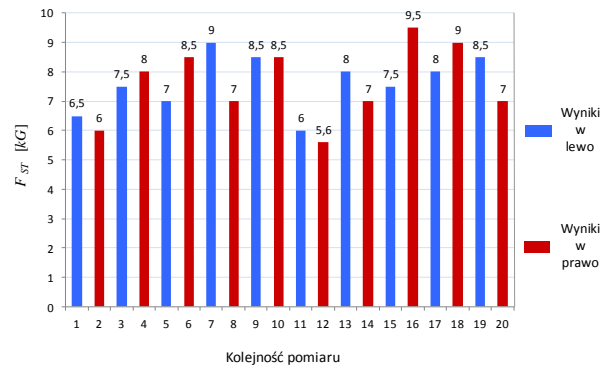
## PODSUMOWANIE

Poszczególne wartości uzyskiwane z pomiarów nie są jednokowe. Z jednej strony oznacza to konieczność ich statystycznego opracowania, co wiąże się z dodatkowym nakładem pracy. Z drugiej zaś, świadczy to o wystarczającej jakości zastosowanego narzędzia pomiarowego, czyli siłomierza. Według [4], ujawnienie się rozrzutu statystycznego, który można w znormalizowany sposób [6] scharakteryzować niepewnością typu A, świadczy, że niepewność typu B, zależna od zastosowanego narzędzia pomiarowego, jest dostatecznie mała.

W trakcie pomiarów zauważono, że po pokonaniu pierwotnego, statycznego oporu tarcia, wartość siły wskazywanej przez siłomierz malała po rozpoczęciu obracania się wieży z niewielką prędkością. Uzyskiwano zmniejszanie siły w zakresie od 0,5 [kG] do 1 [kG]. Nasuwa to przypuszczenie, że do modelowania zjawiska tarcia w łożysku wieży czołgu można byłoby zastosować bardziej skomplikowany model niż tarcie statyczne Coulomba. Korzystniejsze wydaje się tu wykorzystanie modelu Karnoppa lub Stribecka czy też jeszcze bardziej zmodyfikowanego, ponieważ wraz ze wzrostem prędkości opory nie muszą narastać liniowo. Należy jednak zdać sobie sprawę, że, w zależności od ilości amunicji i wyposażenia, masa wieży czołgu zawiera się w zakresie 13÷15 ton, zaś masowy moment bezwładności mieści się w przedziale 12000÷25000 [kg\*m<sup>2</sup>]. Zakresy wartości tych parametrów są więc zbliżone do występujących w pojazdach szynowych. W tych warunkach wiarygodne określenie charakterystyk, na podstawie których można by oszacować parametry powyższych modeli tarcia wymagałoby zbudowania stanowiska badawczego o gabarytach przekraczających 12 [m], dysponującego napędem o mocy co najmniej kilkunastu [kW] i stosownym, wysokiej jakości, oprzyrządowaniem. Tymczasem wartość momentu tarcia statycznego jest niezbędna w każdym z tych modeli, pomiar tej wielkości odbywa się znacznie mniejszym nakładem sił i środków, zaś korzystanie z bardziej złożonych modeli można weryfikować na podstawie porównania wyników badań charakterystyk stabilizatora z jego modelem dynamicznym.

O ile w efekcie zastosowania estymatorów statystycznych uzyskuje się zbiorczą, uogólnioną charakterystykę wyników, to traci się często informację o kolejności pojawiania się poszczególnych rezultatów. Wynika to z faktu, że obliczając z tego samego zbioru danych np. wartość średnią, uzyskuje się jednakowe wyniki niezależnie od kolejności sumowania tych danych. To samo dotyczy estymatora odchylenia standardowego i wielu innych.

Przyglądając się natomiast wartościom kolejnych pomiarów, przedstawionych na rysunku 5, trudno znaleźć jakiegokolwiek prawidłowości. Wyniki z parzystymi numerami kolejności pomiarów dotyczą tego samego zwrotu siły  $F_{ST}$  (w prawo), natomiast z nieparzystymi zostały uzyskane przy zwrocie przeciwnym. Z porównania wartości rezultatów uzyskanych przy tym samym zwrocie siły z rezultatami dla zwrotu przeciwnego nie wynika, aby w jedną stronę wieża stawiała większy opór. Można natomiast stwierdzić, że wartości te pod względem kolejności ich wystąpienia układają się w sposób przypadkowy.



Rys. 5. Wyniki pomiarów bezwzględnych wartości siły  $F_{ST}$

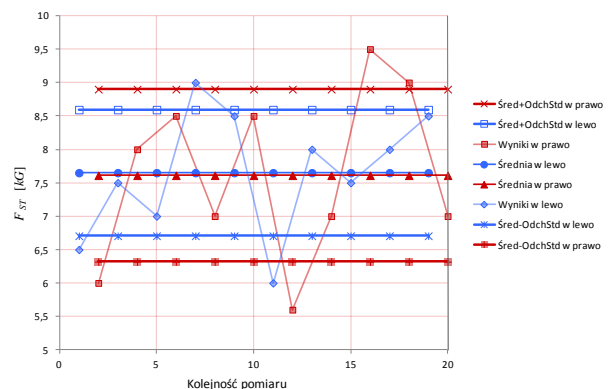
Podobnie, rozpoczynając badania zgodnie z metodyką, tj. po wstępnym „rozruszaniu” łożyska wieży, a następnie wykonując pomiary w regularnych, krótkich odstępach czasu, nie obserwuje się np. większego oporu podczas początkowych pomiarów. To świadczy, że pomiary odbywały się już w unormowanych warunkach pracy łożyska.

Obydwa powyższe spostrzeżenia dobrze świadczą o zastosowanej metodyce pomiarów oraz o jej przestrzeganiu, świadczą także, że wyniki cechują się rozrzutem stochastycznym i w celu maksymalizacji wydobycia tkwiącej w nich informacji należało je opracować statystycznie.

Uzyskaną wartość momentu tarcia łożyska wieży (12) obliczono, tak jak to jest preferowane w [6], poprzez uśrednianie kolejno wyliczanych wartości wyników pomiarów pośrednich dla kolejnych danych wejściowych (2) funkcji modelującej pomiar (1), a nie wskutek pojedynczego obliczenia wielkości wyjściowej z uśrednionych wcześniej wielkości wejściowych.

Natomiast wartość złożonej niepewności standardowej estymowano zgodnie z [4, 6] według zależności (3), a nie poprzez szacowanie miary rozproszenia wyników pomiarów pośrednich, którymi w tym przypadku są składniki wartości średniej arytmetycznej (2), co umożliwiło uwzględnienie także niepewności pomiarowych wielkości wejściowych modelu, które nie ulegały zmianom w trakcie pomiaru. Dzięki temu, uzyskana wartość złożonej niepewności standardowej nie jest zanizowana.

Warto zauważyć, że zastosowanie w efekcie opisanej w [2] procedury, niewyrafinowanej aparatury pomiarowej doprowadziło do uzyskania zupełnie przyzwoitej jakości pomiaru, na poziomie 10%. To przekonanie jest poparte przejrzystą, dzięki swej prostocie, metodyką badań i szacowania wyniku pomiaru wraz z jego niepewnością.



Rys. 6. Porównanie wartości średnich i odchylen standardowych siły  $F_{ST}$

Wśród kierunków dalszych działań można byłoby wskazać: szacowanie minimalnej liczebności próby w celu weryfikacji zaleceń zawartych w [2], analizę kryteriów odrzucania wyników odstających, opracowanie budżetu niepewności pomiarowych w celu wskazania kierunków zmian w aparaturze badawczej zmierzających do zmniejszenia złożonej niepewności pomiaru, a także analizę wpływu efektu dynamicznego, powodowanego bezwładnością wieży, na wynik pomiaru momentu tarcia w jej łożysku.

## BIBLIOGRAFIA

1. Burdziński Z., *Ruch wężykowaty pojazdu gąsienicowego*, (Rozprawa doktorska), Warszawa, 1963;
2. *Czołg średni T-55A i czołg dowódczy T-55AD. Opis i użytkowanie*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Panc. Sam. 46/68, 1969;
3. Kornxxw W.W., Kuznxcow M.I., Kuząmin L.P., Pawlićuk K.I., *Osnovy awtomatiki i tankowyx awtomatićxskix sistxmy*, Woxnnav ordxna Lxnina Krasnoznamxnnav akadxmiv bronxtankowyx wojsk imxni Marśala Sowxtskogo Soqza Malinowskogo R.V., Moskwa, 1976;
4. Szydłowski H., *Teoria pomiarów*, PWN, Warszawa, 1981;
5. Taylor J.R., *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, PWN, Warszawa, 1995;
6. *Wyrażanie niepewności pomiaru*. Przewodnik, Główny Urząd Miar, Warszawa, 1999.

*The whole of the work has been crowned by vast conclusions, which also contains future works directions advices.*

Autor:

dr inż. **Zbigniew Sobczyk** – Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu, Zakład Konstrukcji Pojazdów i Bezpieczeństwa Transportu, starszy wykładowca, adres e-mail: [zsobczyk@wat.edu.pl](mailto:zsobczyk@wat.edu.pl)

## TANK TURRET BEARING STATIC FRICTION TORQUE ESTIMATION ON THE MEASUREMENTS RESULTS BASIS

### *Abstract*

*The paper contains experimental research methodology description as well as, obtained on the basis of this research, measurement's result and standard complex uncertainty estimation procedures. It has been preceded by the genesis of the problem description and motivation needs to solve it.*

*In the particular and clear presented methodology of the conducted research it has been based on the described in literature, hitherto existing tank turret bearing friction torque measurement's procedure.*

*Essential stages of the paper, such as obtained measurements' results or during research proper leveling has been directly on the them acquisition stages verified.*

*Obtained value of the tank turret bearing friction torque has been computed by calculated in succession meaning of the measurement oblique result values for one after the other input data of the measurement model function. Standard complex uncertainty value has been estimated with measurements oblique transmission procedure. It has been enabled to regard model input values measurements uncertainties, which were constant during the measurement.*