

Grupa F

Sprawozdanie 2

**Bezwładnościowe przyrządy
pomiaru kątów
orientacji przestrzennej**

Data laboratorium: 21.11.2019r

Politechnika Warszawska

Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

Zakład Automatyki i Osprzętu Lotniczego

Systemy Pokładowe 2

SPRAWOZDANIE

Ćw. nr

Tytuł:

Nr	Nazwisko	Imię	Indeks	Podpis
1	Gajek	Stanisław	292716	S. Gajek
2	Dubinski	Filip	292709	Dubinski
3	Paczkowski	Zan	292763	Z. Paczkowski
4	Kamola	Marcin	292739	Kamola
5	PADEMONOWICZ	MICHAŁ	292770	Pademonowicz
6	SIEMIOŃKA	AKAMIL	292702	Siemiońska
7	STOMKA	Karolina	292710	Stomka
8	AK SHUKUROV	AKIM	294544	Uly
9	SKURZAK	JAN	292708	Skurzak
10	WYSOCKI	MIKOŁAJ	292736	Wysocki
11				
12				

Podpisując listę potwierdzasz, że jesteś autorem (współautorem) sprawozdania

1. Cel Ćwiczenia:

Celem laboratorium jest zapoznanie się z działaniem i obsługą bezwładnościowych czujników przyspieszenia i prędkości kątowych oraz wykorzystujących je układach wyznaczania orientacji przestrzennej.

Podczas zajęć dokonano zarówno skalowania czujników jak i przeprowadzono właściwe pomiary. Wykorzystane zostały dwie metody wyznaczania orientacji przestrzennej: na podstawie równań kinematycznych oraz rachunku kwaternionowego.

Wykorzystane urządzenia:

- IMI_ZaiOL-01: składa się z 3 piezowibracyjnych giroskopów ENV-05F-03 oraz trójosiowego przyspieszeniomierza ADXL-150-EM03. Wyposażony jest również w czujnik temperatury.
- 3DM-GX2: zawiera 3 rodzaje czujników: przyspieszeniomierza, giroskopy oraz magnetometri.

Układ zawiera również macierze poprawek temperaturowych oraz błędu montażu.

2. Skalowanie Przyspieszeniomierzy:

Cel: jako że urządzenie nie dokonuje bezpośredniego pomiaru przyspieszenia, tylko napięcia, należy uzyskać funkcje umożliwiające przeliczenie wskazań napięć na przyspieszenie w każdej z osi pomiarowych.

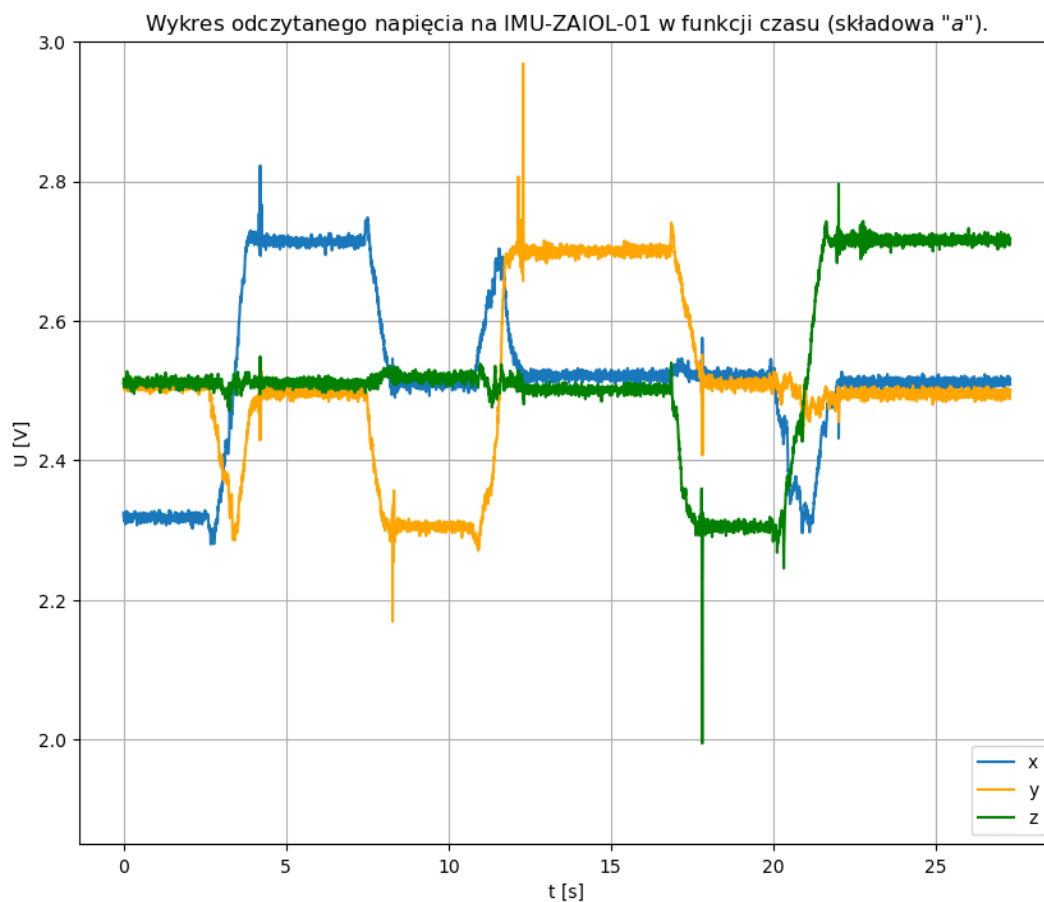
Przed rozpoczęciem skalowania należy zidentyfikować osie pomiarowe. Następnie należy wyznaczyć współczynniki zależności przyspieszenia od napięcia wskazywanego przez przyspieszeniomierze. Współczynniki te wyznaczyliśmy przy pomocy pomiaru przyspieszenia ziemskiego. W tym celu urządzenie umieściliśmy na wypoziomowanej płycie oraz dokonaliśmy pomiaru dla każdej z osi pomiarowych zarówno dla zwrotu zgodnego i przeciwnego do zwrotu osi pomiarowej. Przyjęto konwencję, że przy wzroście przyspieszenia napięcie również rośnie.

Liniowa zależność przyspieszenia od napięcia wskazywanego przez przyspieszeniomierze ma postać:

$$a_i = A_i U_i + B_i$$

Gdzie:

- a – przyspieszenie [m/s^2]
- U – napięcie [V]
- A [$\text{m/s}^2\text{V}$], B [m/s^2] – współczynniki charakterystyki uzyskane podczas skalowania
- i – osie pomiarowe przyspieszeniomierzy



Wykres 1

Uzyskane na drodze pomiaru wartości napięć zostały uśrednione i na ich podstawie wyliczono współczynniki A oraz B:

oś	$U_{\text{śr min}} [\text{V}]$	$U_{\text{śr max}} [\text{V}]$	$A \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2 \text{V}} \right]$	$B \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$
x	2,32	2,71	49,61	-124,82
y	2,31	2,70	49,65	-124,26
z	2,31	2,72	47,78	-119,95

Tabela 1

Ostatecznie zależności przyjmują postać:

$$a_x = 49,61 U_x - 124,82$$

$$a_y = 49,65 U_y - 124,26$$

$$a_z = 47,78 U_z - 119,95$$

Komentarz: otrzymane współczynniki w zależnościach dla wszystkich osi pomiarowych mają podobną wartość, jednak oś z różni się widocznie od osi x i y. Różnice mogą wynikać z niedokładności stołu, nierównomiernego zużycia urządzenia lub być błędami montażu.

3. Skalowanie Giroskopów:

Cel: analogicznie jak w poprzednim zadaniu musimy wyznaczyć charakterystyki umożliwiające wyznaczenie prędkości kątowych na podstawie otrzymanego pomiaru napięcia. Przyjmujemy, że podczas wzrostu prędkości kątowej rośnie napięcie na czujniku.

Przed rozpoczęciem skalowania należy zidentyfikować osie pomiarowe. Na laboratoriach do wyznaczenia charakterystyk $\omega(U)$ wykorzystamy metodę obrotu urządzenia o znany kąt (90°):

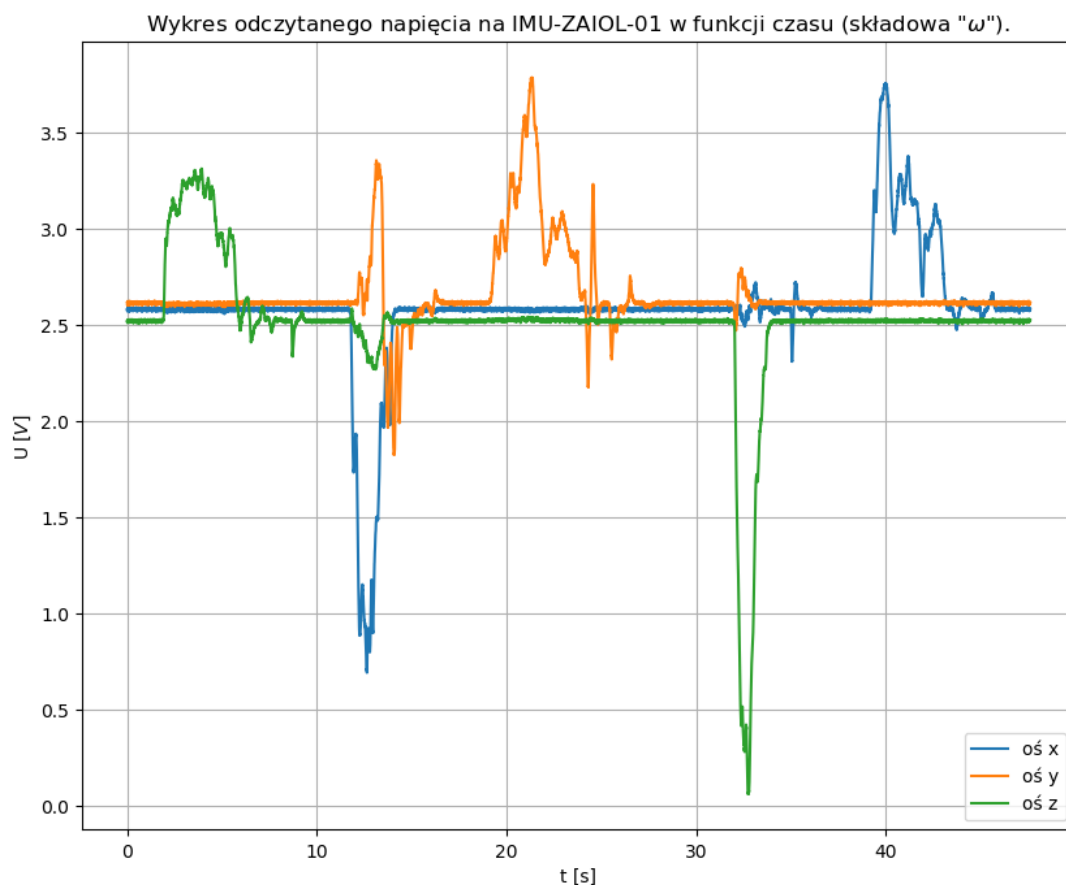
$$\omega_i = k_i (U_i - U_{0i})$$

Do obliczenia współczynników skalowania zostanie natomiast wykorzystana zależność:

$$\alpha = \int_{t_1}^{t_2} \omega dt$$

Oznaczenia:

- Ω – prędkość kątowa [$^\circ/\text{s}$]
- U – napięcie [V]
- k – współczynnik nachylenia charakterystyki [$^\circ/\text{sV}$]
- U_0 – napięcie spoczynkowe [V]
- i – oś giroskopu
- α – kąt o jaki układ pomiarowy został obrócony [$^\circ$]
- t – czas [s]
- t_1, t_2 – czasy rozpoczęcia i zakończenia pomiaru [s]



Wykres 2

Na podstawie otrzymanych wyników uzyskano współczynniki:

oś	U_0 [V]	$k_i[\frac{^\circ}{sV}]$
x	2,582	39,875
y	2,614	39,936
z	2,524	40,949

Tabela 2

Zależności na prędkości kątowej przyjmują ostatecznie postać:

$$\omega_x = 39,875 (U_x - 2,582)$$

$$\omega_y = 39,936 (U_y - 2,614)$$

$$\omega_z = 40,949 (U_z - 2,524)$$

Komentarz: na wszystkich 3 osiach pomiarowych współczynniki służące do przeliczenia napięcia na prędkość kątową mają podobną wartość, jednak podobnie jak w punkcie 1. Parametry na osi z wyraźnie odstają od tych na pozostałych osiach. Źródłem błędu mogą być niedoskonałości urządzenia, nierówności na stanowisku pomiarowym, drgania budynku jak również niedokładność kąta podczas obrotu.

4. Wyznaczenie orientacji początkowej:

Cel: wyznaczenie położenia początkowego, niezbędnego w metodach nawigacji zliczeniowej wykorzystywanych w bezwładnościowych układach pomiaru kątów.

Na laboratoriach wykorzystano metodę obliczenia kątów odchylenia od pionu (Φ, Θ). W tym celu wykorzystano przyspieszeniomierze i przyspieszenie ziemskie. Zakłada się również, że układ przed rozpoczęciem nawigacji znajduje się w spoczynku a azymut wynosi 0.

Do wyznaczenia kątów użyte zostały równania:

$$\Theta_0 = \arcsin\left(\frac{a_x}{g}\right)$$

$$\Phi_0 = \arcsin\left(\frac{-a_y}{g \cos \Theta_0}\right)$$

Otrzymano wyniki:

Θ_0 [°]	Φ_0 [°]
0,1294	0,1294

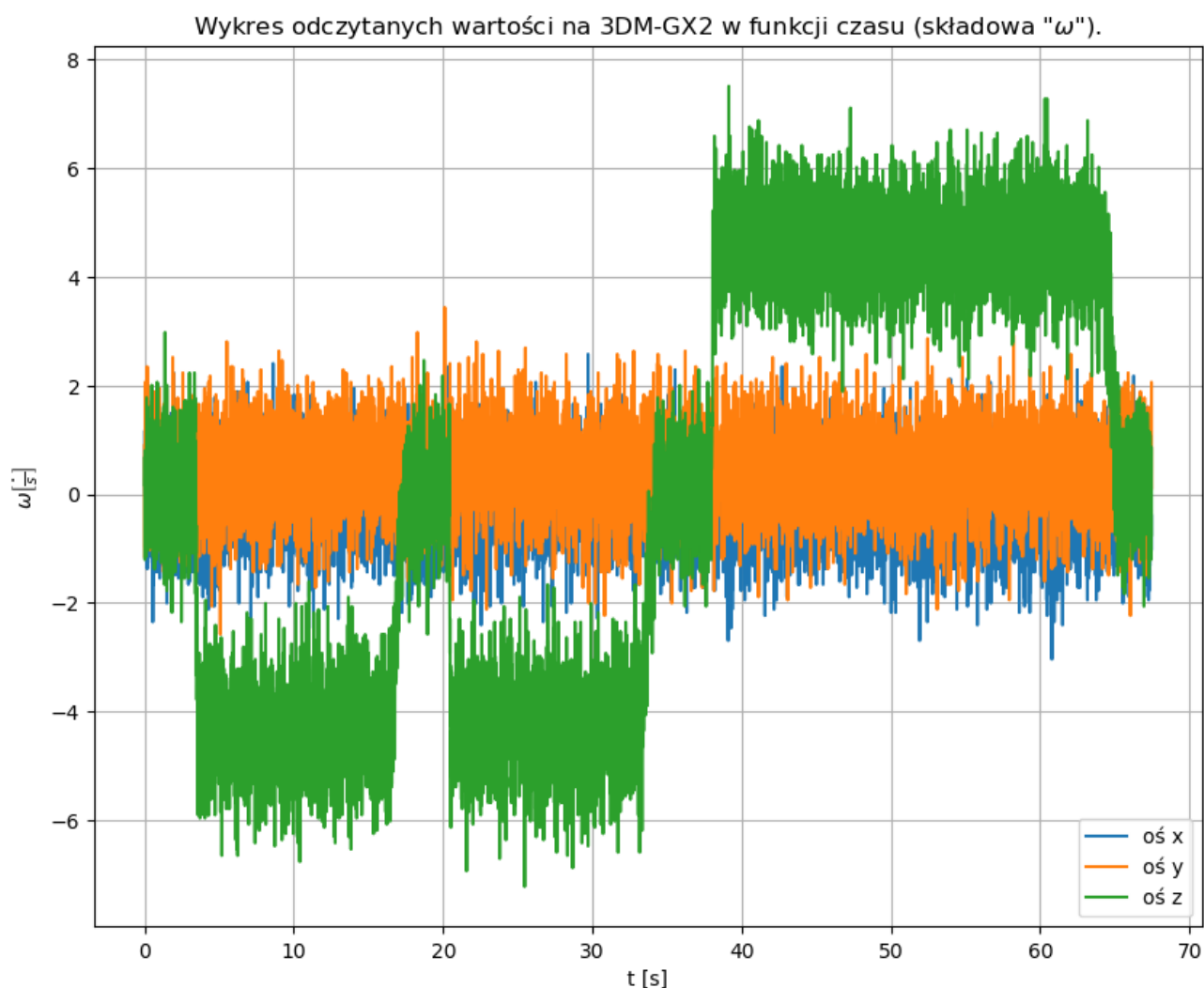
Tabela 3

Komentarz: wyznaczone kąty odchylenia od pionu są niewielkie jednak zauważalne. Przy ich wykorzystaniu podczas innych pomiarów należy uwzględnić iż same są obarczone błędami, wynikającymi chociażby z niedoskonałości urządzenia czy drganiami budynku oraz stołu pomiarowego.

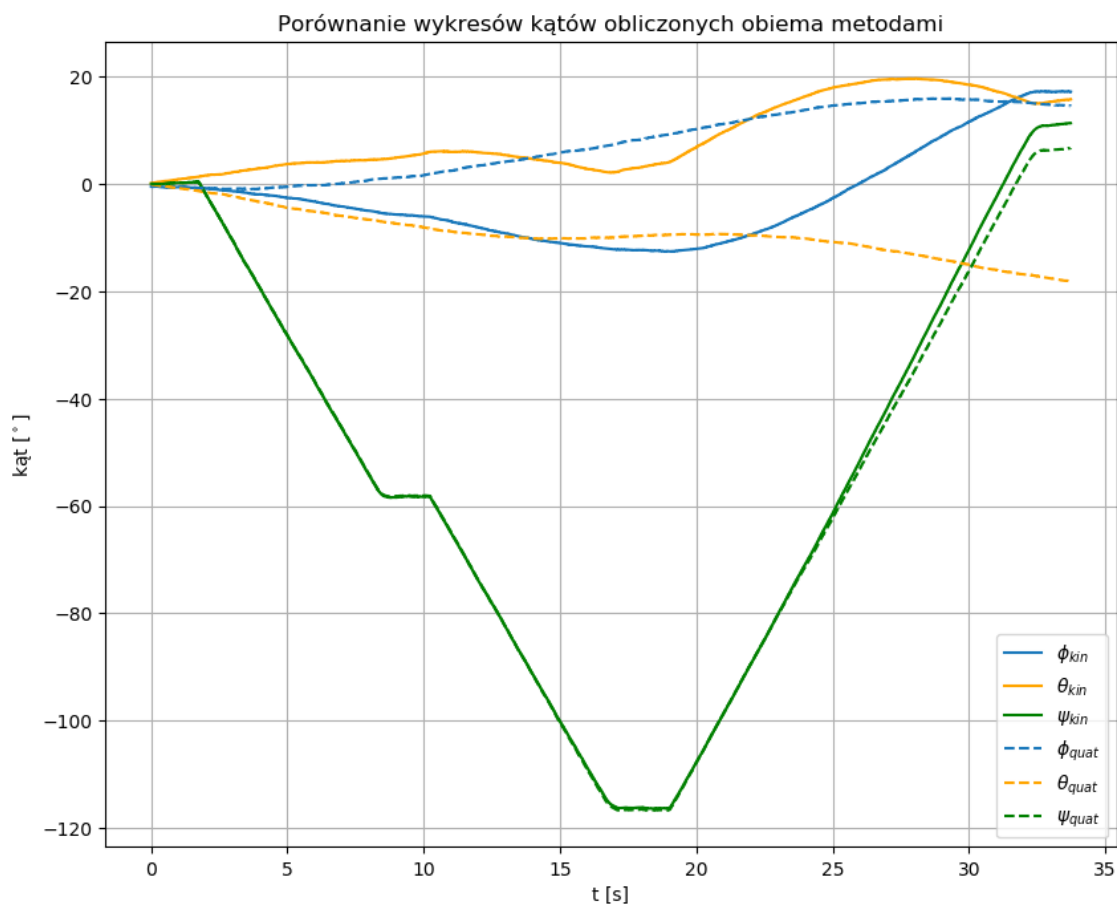
5. Ruch obrotowy o zadany kąt:

Cel: Porównanie algorytmu opartego o równania kinematyczne oraz kwaternionowego do wyznaczania przebiegów orientacji kątowej podczas ruchu o znany kąt.

Jednostka pomiarowa została ustawiona na stole obrotowym. Dokonano pomiarów początkowych kątów pochylenia i przechylenia układu pomiarowego od pionu. Pomiar rozpoczęto w momencie gdy układ znajdował się w spoczynku po to aby odjąć średnią wartość prędkości otrzymanej przez układ pomiarowy w tym stanie a przez to zmniejszyć błąd. Następnie stół obrócił się o zaprogramowany kąt.



Wykres 3



Wykres 4

	$\Phi[^\circ]$	$\Theta[^\circ]$	$\Psi[^\circ]$
kąty początkowe	-0,515	-0,118	0,003
kąty końcowe: równania kinematyczne	17,150	15,731	11,331
kąty końcowe: kwaterniony	14,520	-18,150	6,625

Tabela 4

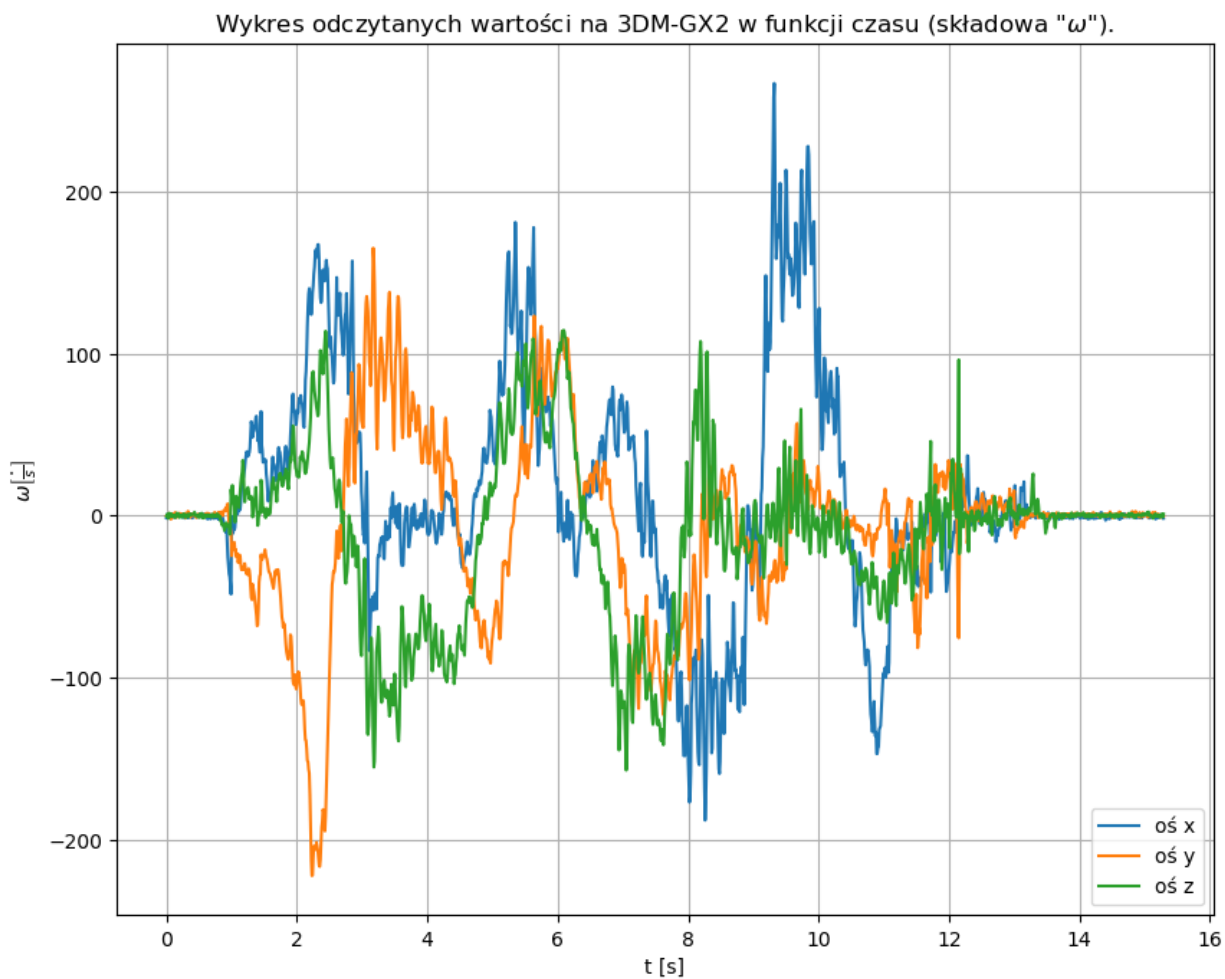
Komentarz: otrzymane obiema metodami wyniki w dużym stopniu różnią się od siebie w przypadku kąta Θ (powyżej 30° na końcu pomiaru) gdzie w pewnym momencie wartości otrzymane metodą kinetyczną nagle zaczęły rosnąć. W przypadku kąta Ψ wyniki były niemal identyczne przez prawie cały czas trwania pomiaru. Zarówno w przypadku algorytmu kwaternionowego jak i opartego o równania kinetyczne kąty końcowe znacząco odbiegają od początkowych.

Pomiar prędkości kątowych jest niezwykle zaszumiony co można tłumaczyć dużą czułością urządzenia pomiarowego, drganiami budynku spowodowanego m. in. ruchem drogowym czy poruszaniem się ludzi w sali oraz drganiami mechanizmu stołu, na którym wykonywany był pomiar.

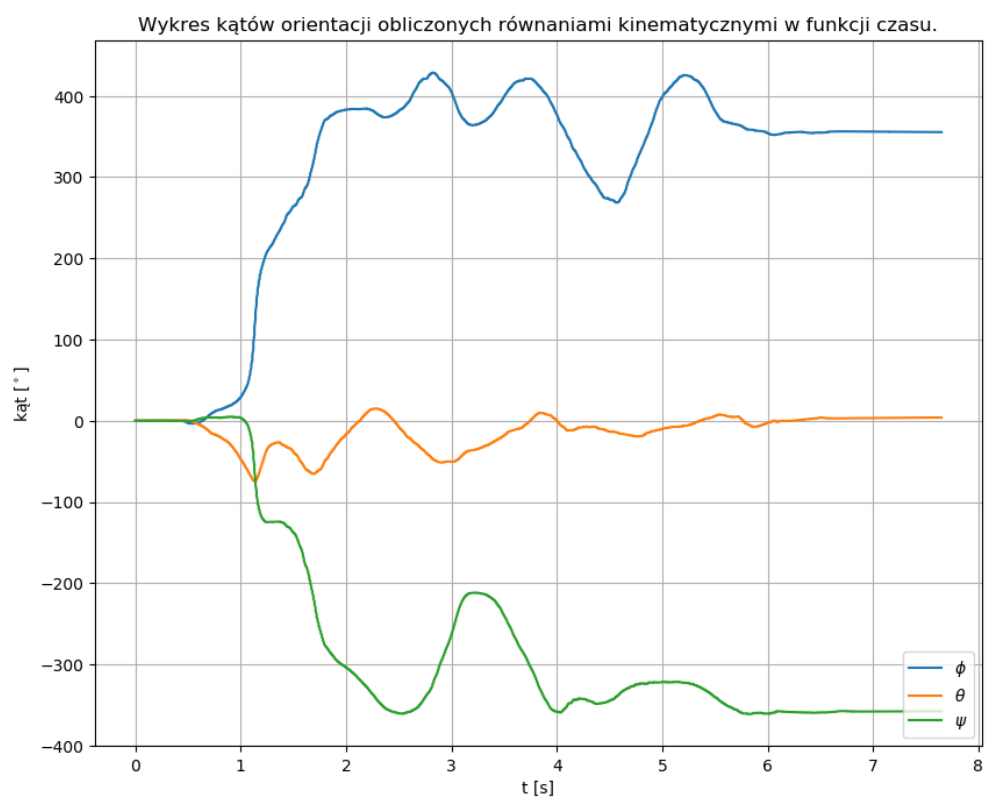
6. Przestrzenny ruch swobodny:

Cel: Zbadanie i porównanie dokładności algorytmu kwaternionowego i opartego o równania kinematyczne podczas ruchu swobodnego oraz wyznaczenie błędów nieortogonalności.

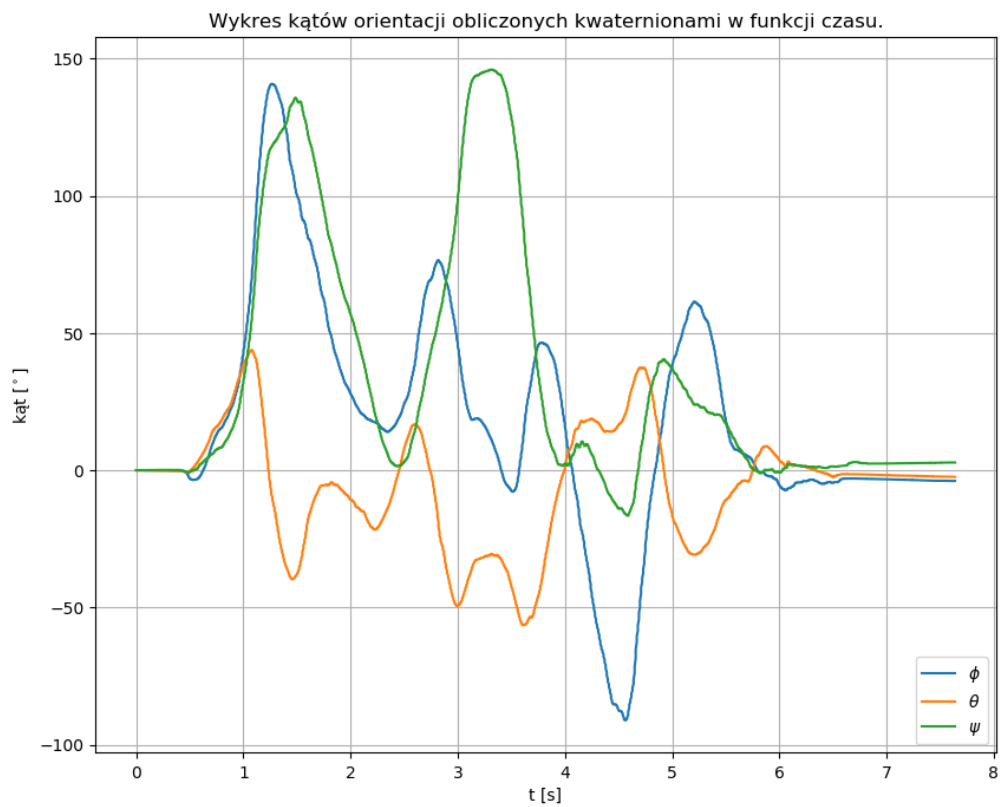
Urządzenie pomiarowe ustawiono na rogu stołu i przyjęto dane położenie za początkowe zakładając, że kąty orientacji przestrzennej są zerowe. Po uruchomieniu pomiaru urządzeniem wykonywano ruch dowolny przez niecałe 14 sekund. Jednostkę pomiarową ustawiono w położeniu początkowym i zakończono pomiar.



Wykres 5

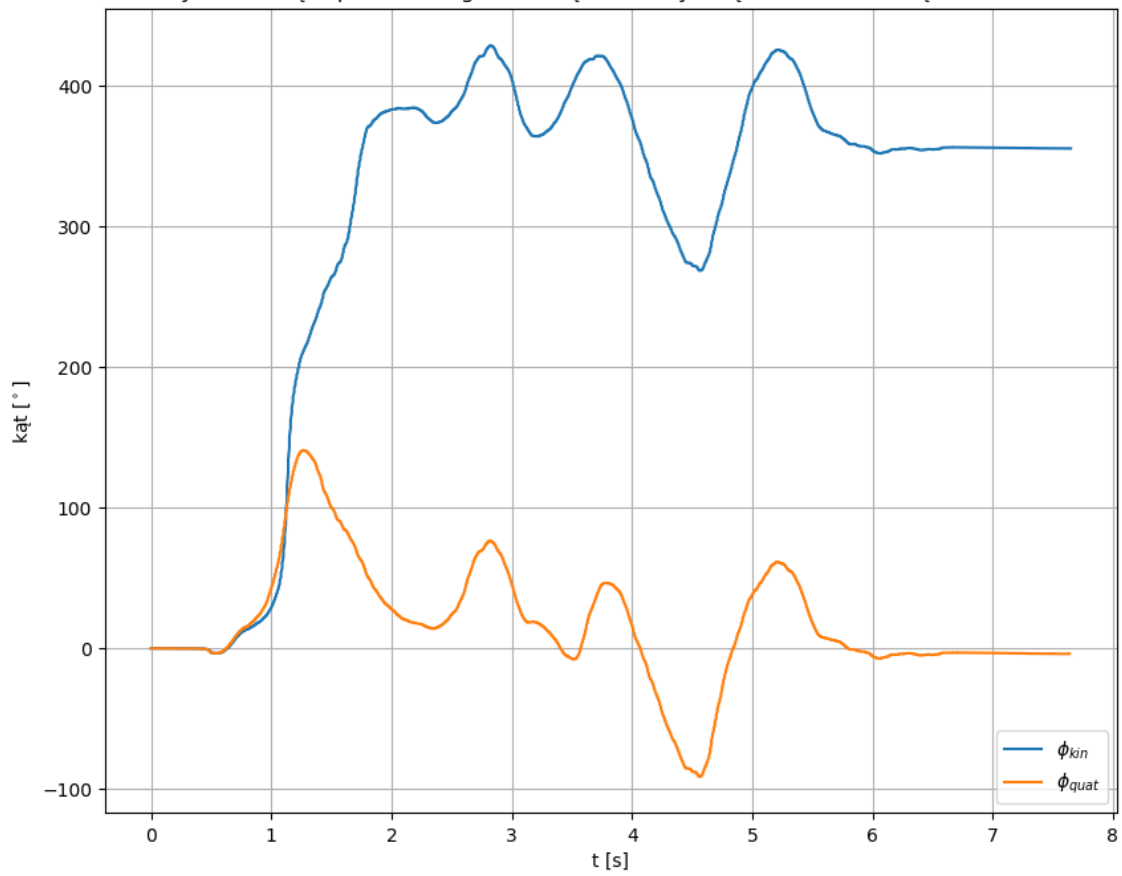


Wykres 6



Wykres 7

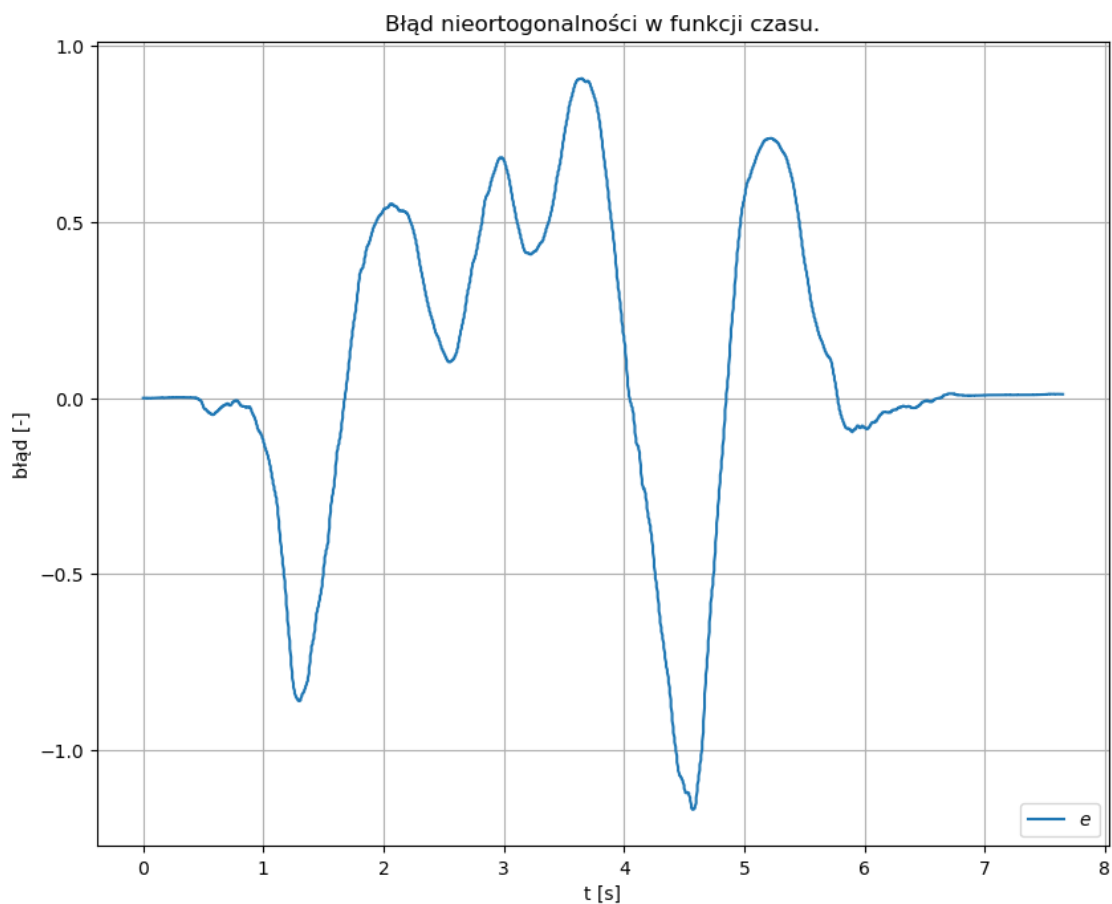
Porównanie wykresów kąta ϕ obliczonego metodą kinematyczną i kwaternionową dla ruchu swobodnego.



Wykres 8

Błąd nieortogonalności w funkcji czasu wyznaczono wykorzystując poniższą zależność:

$$e = q_0 + q_1 + q_2 + q_3 - 1$$



Wykres 9

	$\Phi[^\circ]$	$\Theta[^\circ]$	$\Psi[^\circ]$
kąty początkowe	-0,015	0,000	-0,003
Kąty końcowe: kwaterniony	-3,923	-2,410	2,812
Kąty końcowe: równania kinematyczne	355,311	3,964	-357,618
Kąty końcowe: równania kinematyczne po uwzględnieniu pełnego obrotu	-4,689	3,964	2,382

Tabela 5

Komentarz: Oba algorytmy dały wynik kątów końcowych inny od wartości początkowej o kilka stopni. Między metodami największa różnica wystąpiła przy kącie Θ . Warto zauważyć, że przy wykorzystaniu równań kwaternionowych wyniki zostały „przesunięte” o jeden pełny obrót, co jest charakterystyczne dla wystąpienia osobliwości podczas obliczeń (zbyt wysoki kąt pochyłu i przechyłu).

Na błąd pomiaru mogła wpłynąć duża chaotyczność ruchu i jego znaczna zmienność. Podobnie jak w poprzednim zadaniu na pomiar prędkości znaczny wpływ miały drgania oraz niedokładność urządzenia. Błąd nieortogonalności znacznie zmienia się w czasie, przyjmując momentalnie wartość powyżej 1.