

# MOŻLIWOŚCI SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W NAWIGACJI INERCYJNEJ W LOGISTYCE

DOI: 10.24136/atest.2018.315

Data zgłoszenia: 30.08.2018. Data akceptacji: 25.09.2018.

*W artykule omówiony został problem jakości powietrza wewnątrz w kabinach samochodów osobowych. Problematykę przedstawiono w oparciu o dyskusję zjawisk istotnie wpływających na zanieczyszczenie powietrza wewnątrz, głównie nowych, samochodów, metod badawczych stosowanych w motoryzacji w celu oceny obecności tych zanieczyszczeń, a także wskazywania i eliminacji ich źródeł. Podkreślono istotne różnice w działaniach zmierzających do poprawy jakości powietrza we wnętrzach nowych samochodów wprowadzanych na rynek, podejmowanych przez producentów i/lub wymaganych przepisami prawnymi.*

## 1. SZTUCZNA INTELIGENCJA I NAWIGACJA INERCYJNA – WZAJEMNE ZWIĄZKI

### 1.1. Sztuczna inteligencja

Charakteryzując zagadnienia dotyczące sztucznej inteligencji (z ang. *Artificial Intelligence*) warto wyjść od zdefiniowania tego terminu. Co istotne, pomimo tego, że obecnie jest on powszechnie używany, jego dokładne wyjaśnienie sprawia bardzo dużo trudności. Wynika to głównie z tego, że jak dotąd nie udało się określić jasnej oraz precyzyjnej definicji samej inteligencji [6].

Pierwsze próby określenia istoty tego, czym jest sztuczna inteligencja, zostały podjęte już w latach pięćdziesiątych XX w. Od tego czasu pojawił się cały szereg propozycji w tym zakresie, przy czym punktem wyjścia praktycznie w każdym przypadku były definicje inteligencji. Tak na przykład według W. Sterna inteligencja to ogólna wartość, która odnosi się do adaptacji do nowych warunków oraz realizacji określonych zadań. J. Piaget uznał, że inteligencja jest zdolnością do rozwiązywania różnorodnych problemów. Z kolei C. Spearman stwierdził, że inteligencją należy nazwać dostrzeganie określonych relacji i zależności, G. Ferguson, że jest ona zdolnością do uczenia się, natomiast B.M. Tiejłow, że obejmuje właściwość psychiczną, która pozwala na względnie stałą i charakterystyczną dla każdej jednostki efektywność wykonywania różnorodnych zadań [7].

Wychodząc od definicji inteligencji szereg badaczy próbowało określić, co jest istotą sztucznej inteligencji. Propozycje niektórych spośród nich zostały zawarte w tab. 1.

**Tab. 1. Wybrane definicje sztucznej inteligencji [8,9]**

Autor definicji	Sztuczna inteligencja to:
W. Duch	- dziedzina nauki, która zajmuje się rozwiązywaniem problemów efektywnie niealgorytmizowalnych, co jest realizowane w oparciu o określone modele wiedzy
P. Fulmański	- dziedzina wiedzy, której celem i przedmiotem badań są wszelkie maszyny potrafiące rozwiązywać takie zadania, przy których człowiek jest zmuszony do wykorzystywania swojej inteligencji
The McGraw-Hill Illustrated Encyclo-	- komputery, które są w stanie naśladować niektóre aspekty ludzkiego myślenia; dotyczy to w szczególności tych urządzeń,

pedia of Robotics & Artificial Intelligence	które potrafią uczyć się na własnych błędach bądź samodzielnie rozmawiać, nie obejmuje więc między innymi kalkulatorów
J. Haugeland	- próby stworzenia myślących komputerów, a więc maszyn, które posiadają umysły wzorowane na człowieku
R. Kurzweil	- dziedzina badań, która ma doprowadzić do stworzenia maszyn naśladowujących ludzką inteligencję, obejmująca na przykład systemy z bazami wiedzy, systemy ekspertowe, robotykę, rozumienie języka naturalnego czy rozpoznawanie obrazów
E Rich, K. Knight	- nauka o czynnościach, które mogłyby doprowadzić do tego, że maszyny będą realizować funkcje tradycyjnie należące do człowieka
R.J. Schalkoff	- dziedzina nauki, która zajmuje się wyjaśnianiem oraz emulowaniem inteligentnych zachowań przy wykorzystaniu metod obliczeniowych
P.H. Winston	- realizowanie prac za pomocą metod obliczeniowych, które umożliwią maszynom zdobycie umiejętności w zakresie postrzegania, wnioskowania oraz działania

W literaturze przedmiotu można więc spotkać różnorodne definicje sztucznej inteligencji. Ogólnie, na podstawie przedstawionych w tab. 1 propozycji w tym zakresie, można stwierdzić, że sztuczna inteligencja jest dziedziną nauki i wiedzy, której celem jest doprowadzenie do tego, by określone maszyny, w tym głównie komputery, pozyskały umiejętność logicznego myślenia.

Warto tutaj dodać, że współcześnie istnieją dwa podstawowe podejścia do kwestii związanych ze sztuczną inteligencją. Zostały one wyszczególnione przez J. Searle'a i są określane jako *strong AI*, a więc silna sztuczna inteligencja, a także *weak AI*, czyli słaba sztuczna inteligencja. *Strong AI* charakteryzuje się tym, że w jej ramach podkreśla się, iż każde zachowanie, do którego dochodzi w otoczeniu człowieka, można opisać za pomocą programu komputerowego. W ten sposób taki program może również stanowić podstawę do rozwiązywania wszelkich problemów stawianych przed sztuczną inteligencją rozumianą jako dziedzina wiedzy. Zwolennicy *strong AI*, określani jako algorytmici, zakładają więc, że jest możliwe takie zaprogramowanie komputera, w którym byłby on w istotny sposób równoważny mózgowi, a więc charakteryzowałby się tym, że wykorzystywałby elementy ludzkiej inteligencji. Z kolei w ramach *weak AI* zaznacza się, że pełne poznanie zagadnień związanych ze sztuczną inteligencją jest możliwe, ale nie powinno się opierać na procedurach algorytmicznych [10].

Trzeba podkreślić, że obecnie w ramach wielu ośrodków i instytucji naukowych prowadzone są intensywne prace nad rozwojem badań związanych ze sztuczną inteligencją. Do czołowych spośród takich ośrodków zaliczyć należy Massachusetts Institute of Technology (MIT), International Business Machines (IBM), Advanced Telecommunications Research (ATR) czy laboratoria należące do Fujitsu, Hitachi, Sony oraz Hondy. Przy tym współcześnie w ramach sztucznej inteligencji nacisk kładziony jest głównie na:

- efektywne rozwiązywanie problemów logicznych, takich jak gry i zagadki logiczne, co stanowi podstawę do testowania i opracowywania bardziej skomplikowanych metod rozumowania,

- gromadzenie i wydobywanie wiedzy z różnych systemów,
- rozumienie przez różnorodne urządzenia języka naturalnego, w tym również słowa mówionego,
- tłumaczenie maszynowe,
- programowanie automatyczne, które pozwala na uczenie się przez komputery na przykładach,
- optymalizowanie ruchów wykonywanych przez roboty,
- dokonywanie ekspertyz przez komputery w ramach systemów doradczych [11].

## 1.2. Nawigacja inercyjna

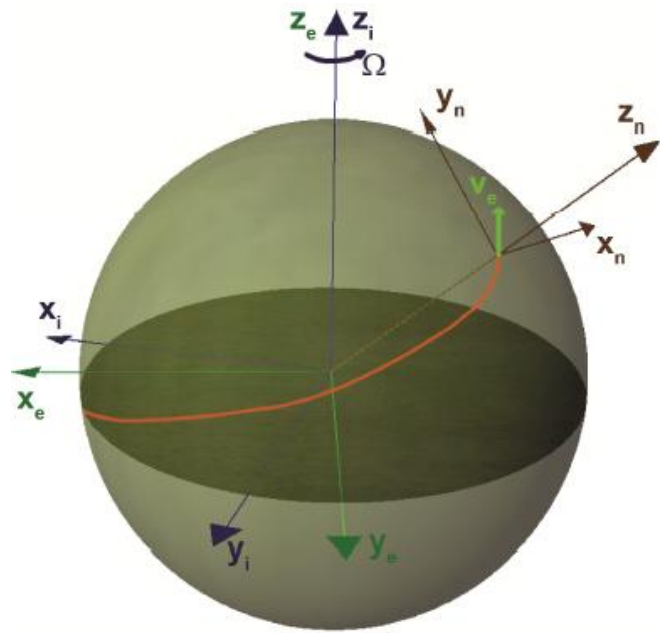
Poza sztuczną inteligencją w pierwszej części artykułu należy omówić podstawowe zagadnienia odnoszące się do nawigacji inercyjnej. Systemy tej nawigacji (z ang. *Inertial Navigation Systems*, w skrócie INS), określane również jako bezwładnościowe systemy nawigacyjne czy systemy inercjalne [12], służą głównie do wyznaczenia położenia określonych obiektów oraz ich orientacji katowej. Co istotne, obliczenia dokonywane w ramach tych systemów są realizowane w czasie rzeczywistym. Przy tym wykorzystywane są dwa podstawowe elementy, a więc II zasada dynamiki Newtona oraz filtr Kalmana.

W ramach II zasady dynamiki Newtona jest mowa o tym, że przyspieszenie ciała jest wprost proporcjonalne do oddziałującej na to ciało siły, natomiast odwrotnie proporcjonalne do masy tego ciała. Zależności te są wykorzystywane na szeroką skalę w ramach systemów nawigacji inercyjnej, gdy dokonywane są pomiary dotyczące drogi czy kierunku przemieszczania się konkretnych obiektów.

Z kolei jeśli chodzi o filtr Kalmana (nazwa pochodzi od węgierskiego naukowca Rudolfa Kalmana, który w 1960 r. opracował ten filtr) to trzeba podkreślić, że umożliwi on wyznaczenie estymatów wektora stanu modelu liniowego określonego układu za pomocą pomiarów wejścia oraz wyjścia tego układu [14]. Współcześnie filtr ten znajduje niezwykle szerokie zastosowanie, gdyż jest on wykorzystywany między innymi do realizacji zadań z zakresu:

- nawigacji kosmicznej, lotniczej, lądowej oraz morskiej,
- naprowadzania bezwładnościowego,
- autopilotażu,
- śledzenia za pomocą radarów i sonarów,
- wyznaczania trajektorii ruchu różnych obiektów,
- numerycznego prognozowania pogody,
- rozpoznawania obrazów,
- tworzenia map,
- sterowania procesami produkcyjnymi,
- realizacji procesów uczenia w logice rozmytej oraz sieciach neuronowych,
- ekonomii, w tym szczególnie makroekonomii oraz ekonometrii [15].

Wykorzystywanie systemów nawigacji inercyjnej jest widoczne szczególnie w ramach śledzenia oraz wyznaczania ruchu samolotów komunikacyjnych dalekiego zasięgu oraz statków poruszających się po morzach i oceanach [13]. Przy tym określanie pozycji w tych systemach odbywa się za pomocą określonych układów współrzędnych, a więc układu inercyjnego  $i$  (jest to punkt przecięcia osi obrotu Ziemi z płaszczyzną równika), układu geocentrycznego  $e$  (jest on nieruchomy względem powierzchni Ziemi i obraca się razem z nią z prędkością katową) oraz układu nawigacyjnego  $n$  (jego osie pokrywają się z kierunkiem północnym i wschodnim oraz kierunkiem linii pionu). Zostało to przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Układy współrzędnych stosowane w systemach nawigacji inercyjnej [16]

W ramach nawigacji inercyjnej wykorzystuje się ogólne równanie ruchu, które służy do wyznaczania pozycji określonych obiektów. Równanie to przedstawia się następująco (1): [17]

$$\frac{d v(t)}{dt} = a(t) - [\omega(t) \times \Omega_z] \times v(t) + g_z$$

gdzie:

- $v(t)$  – wektor prędkości podróźnej obiektu,
- $a(t)$  – wektor składowych przyspieszenia liniowego obiektu, które są mierzone w przyjętym układzie platformy, a więc kardanowej bądź analitycznej,
- $\omega(t)$  – wektor składowych prędkości katowej obiektu, które są mierzone w określonym układzie platformy,
- $\Omega_z$  – wektor prędkości katowej ruchu obrotowego Ziemi,
- $G_z$  – wektor przyspieszenia ziemskiego pochodzący od siły ciężkości Ziemi.

Należy dodać, że w ramach nawigacji inercyjnej są stosowane dwa podstawowe typy systemów. Są nimi układy kardanowe, zawierające zawieszenie kardanowe, umożliwiające utrzymywanie platformy systemu w stałym położeniu względem konkretnego układu współrzędnych, jak również układy bezkardanowe, które są związane na stałe z danym układem współrzędnych [18]. Systemy inercyjnej są zbudowane z kilku podstawowych elementów, a więc żyroskopu (jest to urządzenie przeznaczone do pomiaru bądź utrzymywania położenia katowego), akcelerometru, czyli przyspieszeniomierza (jest wykorzystywany do pomiaru przyspieszeń liniowych bądź katowych) oraz magnetometru (służy do pomiaru pola magnetycznego Ziemi)[19]

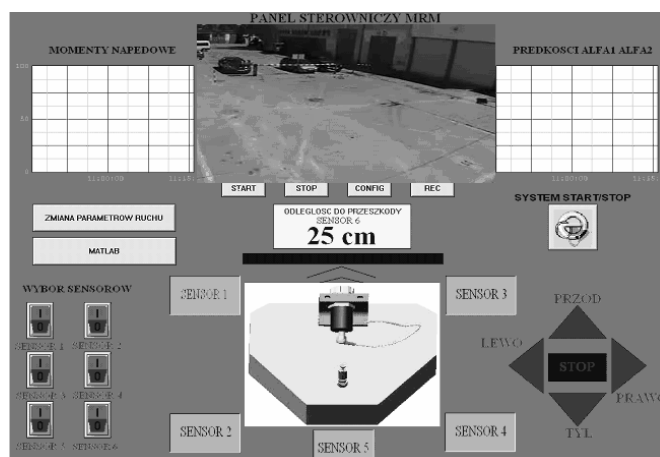
## 1.3. Wykorzystywanie sztucznej inteligencji i nawigacji inercyjnej w logistyce

Zarówno sztuczna inteligencja, jak i nawigacja inercyjna są wykorzystywane na szeroką skalę w ramach logistyki. Jeśli chodzi o AI to dotychczas udało się osiągnąć już dość znaczące rezultaty w stosowaniu sztucznej inteligencji przy realizacji procesów logistycznych. Wśród tych sukcesów należy wspomnieć o:

- technologiach opartych na logice rozmytej, dzięki którym możliwe staje się efektywne sterowanie realizacją procesów logistycznych w wielu przedsiębiorstwach, szczególnie w warunkach braku wystarczającej ilości informacji (dotyczy to między innymi sterowania zapasami) [20],
- systemach ekspertowych, które przyjmują postać rozbudowanych baz danych z wszczepioną sztuczną inteligencją, umożliwiając zadawanie im pytań w języku naturalnym oraz uzyskiwanie w tym samym języku odpowiedzi (systemy takie są wykorzystywane na przykład w ramach realizacji procesów zaopatrzeniowych [21] czy wspomagania procesu obsługi i diagnostyki różnych pojazdów, w tym na przykład statków powietrznych [22]),
- sieciach neuronowych, które są wykorzystywane głównie do rozpoznawania i klasyfikowania określonych wzorców, jak również realizacji procesów związanych z kompresją, predykcją, identyfikacją, sterowaniem czy asocjacją określonych działań (w ramach logistyki sieci te służą na przykład do szacowania ładowności pojazdów transportowych na podstawie ich gabarytów [23]),
- maszynowym tłumaczeniu tekstów, a więc systemie Systrans,
- eksploracji danych, która jest stosowana głównie do pozyskiwania wiedzy,
- rozpoznawaniu optycznym na przykład na zdjęciach satelitarnych,
- rozpoznawaniu mowy i ręcznego pisma, które jest wykorzystywane na szeroką skalę na przykład w elektronicznych notatnikach, znacznie usprawniających przebieg między innymi procesów logistycznych [24].

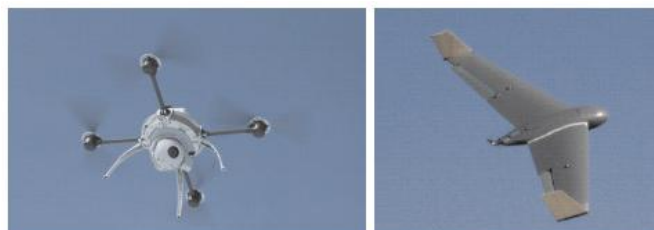
Jeśli chodzi o systemy nawigacji inercyjnej to, podobnie jak technologie związane z wykorzystywaniem sztucznej inteligencji, są one stosowane na szeroką skalę w ramach logistyki. Jest tak z tego względu, że systemy te posiadają szereg zalet, do których zalicza się w szczególności natychmiastowe otrzymywanie wskazań odnośnie pozycji i prędkości obiektu, bez względu na to, gdzie znajduje się ten obiekt, możliwość prezentacji tych wskazań w sposób ciągły, brak wymogu związanego z koniecznością dostarczania informacji do systemu z zewnątrz, brak wrażliwości na zakłócenia oraz możliwość dokonywania pomiarów za pomocą czujników znajdujących się na obiektach [25]. W logistyce nawigacja inercyjna jest stosowana na przykład do rejestracji trajektorii ruchu określonych obiektów czy śledzenia tych obiektów (urządzenia trackingowe), jak również badania dynamiki różnych procesów logistycznych.

Co istotne, w ramach logistyki podejmowane są już próby integrowania ze sobą możliwości, jakie oferuje sztuczna inteligencja oraz nawigacja inercyjna. Pomimo tego, że póki co projekty w tym zakresie nie są zbyt rozwinięte, to jednak faktem jest, że stopniowo zwiększa się ich ilość. Jako przykład można podać systemy służące do usprawniania nawigacji robotów wykorzystywanych podczas realizacji procesów magazynowych czy transportowych (pakiet MATLAB/SIMULINK bądź program In Touch). Schemat układu sterowania w programie In Touch przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat sterowania i nawigowania minirobotami mobilnymi w programie In Touch [26]

Ponadto warto wspomnieć o systemach nawigacyjnych wykorzystywanych w miniaturowych bezzałogowych statkach powietrznych (rys. 3), w ramach których integracja danych odbywa się między innymi przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych.



Rys. 3. Przykłady małych bezpilotowych statków powietrznych, które są sterowane dzięki integracji AI oraz nawigacji inercyjnej [27]

Przykłady te pokazują, że wykorzystywanie funkcjonalności oferowanych przez AI oraz nawigację inercyjną może prowadzić do zwiększenia efektywności działania systemów logistycznych. Taka właśnie przesłanka zdecydowała o realizacji omówionego w dalszej części artykułu projektu.

## 2. ZWIĘKSZENIE DOKŁADNOŚCI POZYCJONOWANIA DZIĘKI INTEGRACJI SZTUCZNEJ INTELIGENCJI ORAZ NAWIGACJI INERCYJNEJ

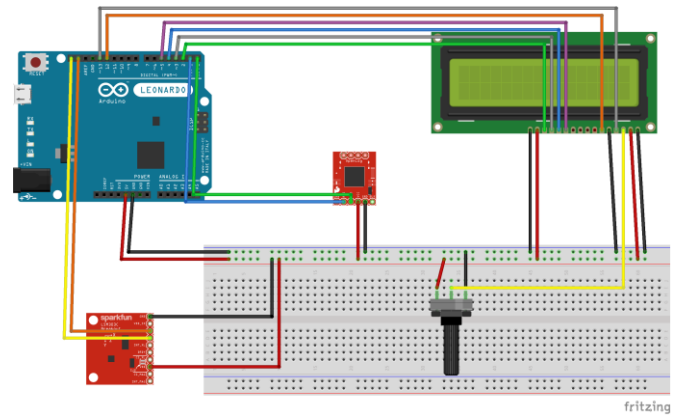
### 2.1. Budowa urządzenia

W celu umożliwienia wykorzystania sztucznej inteligencji oraz nawigacji inercyjnej do zwiększenia skuteczności pozycjonowania różnorodnych obiektów niezbędne jest zbudowanie odpowiedniego urządzenia. Podobnie jak w odniesieniu do projektu związanego z integracją nawigacji satelitarnej z inercyjną platformą bazową do stworzenia urządzenia była popularna platforma Arduino Leonardo. Jako źródło sygnału wykorzystano czujnik firmy SparkFun MPU-9250 9DoF (rys. 4), który jest połączeniem 3-osiowego żyroskopu, akcelerometru i kompasu. Pozwala on na pomiar przyspieszeń, pola magnetycznego oraz prędkości kątowej w konfigurowalnych zakresach. Moduł komunikuje się poprzez I2C, zasilany jest napięciem 2,4 do 3,6 V.



**Rys. 4.** Czujnik firmy SparkFun MPU-9250 9DoF

Wyniki uzyskiwane za pomocą tego urządzenia mogą być prezentowane poprzez port szeregowy (na przykład po podłączeniu do komputera) lub zapisywane bezpośrednio na kartę pamięci. Urządzenie jest wyposażone w rejestrator, zapisujący dane na kartę pamięci OpenLog firmy SparkFun, oraz w wyświetlacz LCD 2x16 znaków, służący do prezentowania aktualnych odczytów z czujników oraz informowania o aktualnie uruchomionym trybie pracy. Schemat skonstruowanego urządzenia przedstawiono na rys. 5.



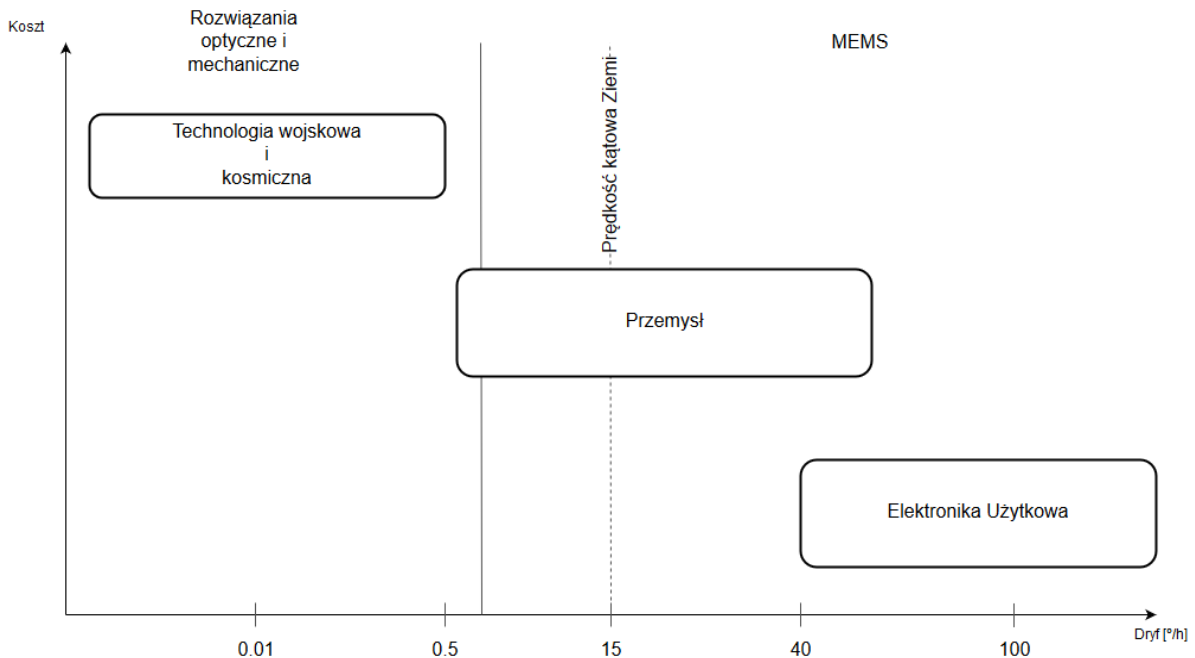
**Rys. 5.** Schemat urządzenia skonstruowanego w oparciu o platformę Arduino Leonardo

## 2.2. Odczyt danych z czujników

W ramach zbudowanego urządzenia do ustalenia zmiany aktualnej jego pozycji wykorzystywany jest sygnał z czujników żyroskopu oraz akcelerometru. Szczególna uwaga podczas realizacji opisywanego tutaj projektu została zwrócona na wybór rodzaju czujników. Było tak z tego względu, że w przyszłości może to mieć kolosalne znaczenie przy określaniu pozycji.

Przed przystąpieniem do implementacji algorytmów odpowiedzialnych za określanie pozycji zbadano dokładność czujników, jakie pozostawały do dyspozycji. Pomimo zastosowania czujników lepszej jakości ich wskazania odbiegały dość mocno od wartości idealnych.

W przypadku żyroskopów miarą błędów jest tzw. dryf, czyli wielkość opisująca fałszywą zmianę wskazań w czasie. Zostało to zobrazowane na rys. 6.



**Rys. 6.** Dryf żyroskopu

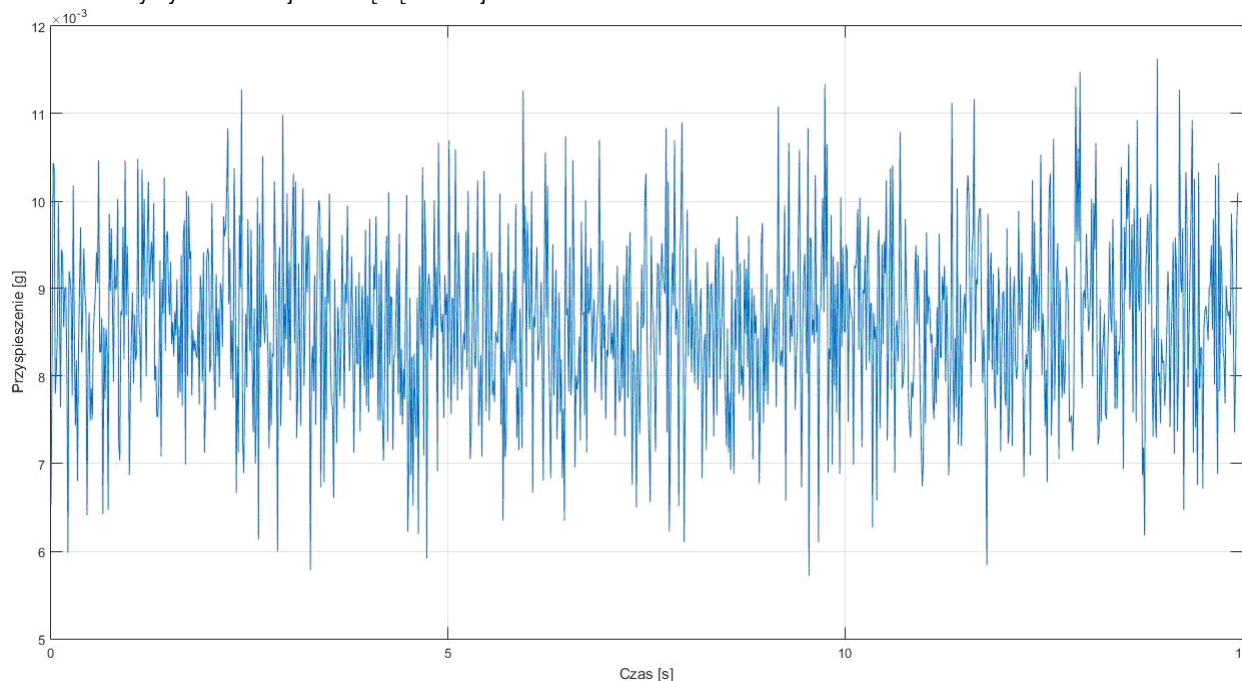
Jak można dostrzec na powyższym rysunku, dryf żyroskopu może przekroczyć nawet 100° na godzinę, co przekłada się na błędy nawet 1.5° na minutę. Rozwiązaniem tego problemu może być w pewnym stopniu zakupienie czujników lepszej jakości, co jednak może przekładać się na konieczność poniesienia wyższych kosztów.

Z kolei w przypadku akcelerometru błędem jest niedokładność podawanych informacji o zmianie pozycji. Poniżej, na rys. 7, przedstawiono zmiany pozycji akcelerometru w jednej z trzech osi, gdy urządzenie jest w spoczynku. Jak wynika z niego, pomimo tego, że urządzenie pozostawało w spoczynku, odczyt wartości bardzo się wahał, rzadko zbliżając się do poziomu 0. Jest to spowodowane głównie wpływem grawitacji. W konsekwencji urządzenie, które wskazywało pozostawienie w bezruchu, zmieniało swoje teoretycz-



ne położenie o kilka centymetrów nawet kilkanaście razy na sekundę.

Rozwiązaniem problemów związanych z uwidacznianiem się błędów w ramach funkcjonowania żyroskopów i akcelerometrów może być zastosowanie standardowego filtra Kalmana. Dzięki niemu wartości otrzymywane z czujników będą bardziej stałe.



Rys. 7. Zmiany pozycji akcelerometru w jednej z trzech osi

### 2.3. Implementacja nawigacji inercyjnej

Podczas kolejnych etapów realizacji omawianego tutaj projektu posłużono się odczytami z czujników znajdujących się w żyroskopie oraz akcelerometrze. Dzięki temu możliwe będzie określenie przemieszczania się obiektu w przestrzeni.

Akcelerometr służy do pomiaru składowych przyspieszeń obiektu. Pomiaru wykonywane są w 3 osiach układu współrzędnych. Znając chwilowe wartości można wyznaczyć zmianę prędkości oraz przebytą drogę według następujących wzorów (2): [31]

$$v(t) = \int_0^t a(t)dt + v_0$$

$$s(t) = \int_0^t v(t)dt + s_0 \quad (2)$$

gdzie:

$v$  – prędkość obiektu

$a$  – przyspieszenie

$s$  – droga przebyta przez obiekt

Wykorzystując te wzory można określić całkowitą przebytą drogę obiektu, gdyż możliwe jest założenie odnośnie tego, że początkowe  $v_0$  oraz  $s_0$  są równe 0. W kolejnym etapie będzie możliwość pobierania wartości początkowych z danych satelitarnych.

Znając przebytą drogę obiektu w trzech osiach konieczne jest przeniesienie danych do układu współrzędnych ziemi. Aby wykonać

W ramach omawianego w artykule projektu do implementacji filtra Kalmana posłużono się lekko zmodyfikowaną biblioteką dostępną na Arduino TKJElectronics [28, 29, 30].

taką transformację niezbędne są dane z żyroskopu, który podaje chwilową wartość kątową ziemi – dla każdej z osi oddzielnie.

Pomiary mogą zostać wykorzystane do obliczenia zmian kątów pochylenia, przechylenia i azymutu. Zmiana kątów wyznacza jest za pomocą następującego wzoru (3): [31]

$$\alpha = \int_0^t \omega(t)dt + \alpha_0 \quad (3)$$

gdzie:

$\alpha$  – zmiana kątowa orientacji

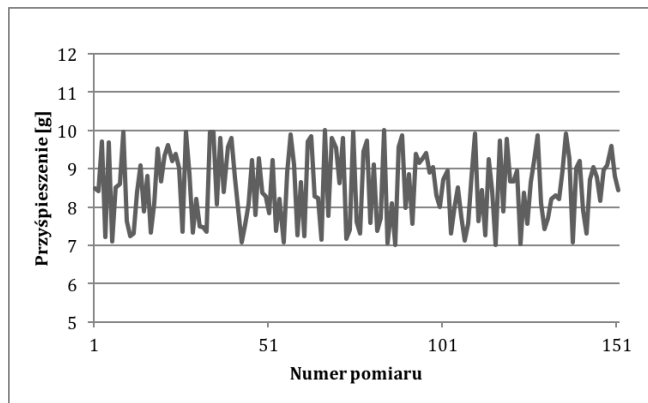
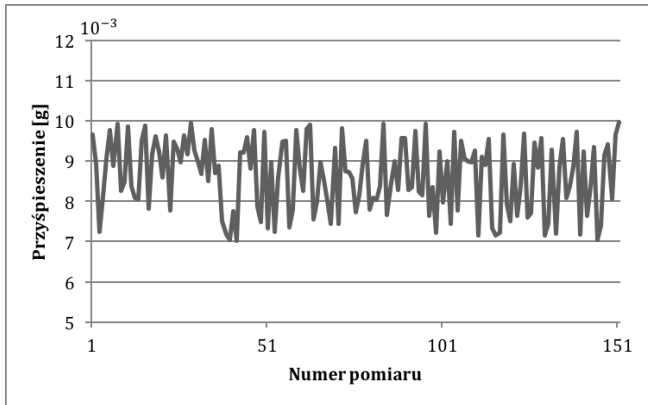
$\omega$  – prędkość kątowa

Dzięki wykorzystaniu powyżej zaprezentowanego wzoru możliwe staje się włączanie składowych ruchu do współrzędnych geograficznych oraz określanie nowego położenia. Przy tym przyjmuje się, że  $a_0$  jest równe 0.

### 2.4. Wyniki badań

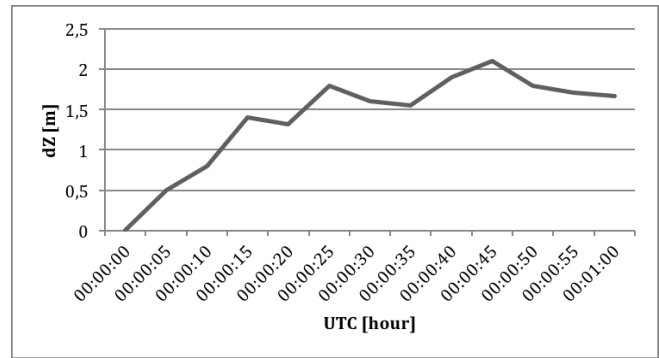
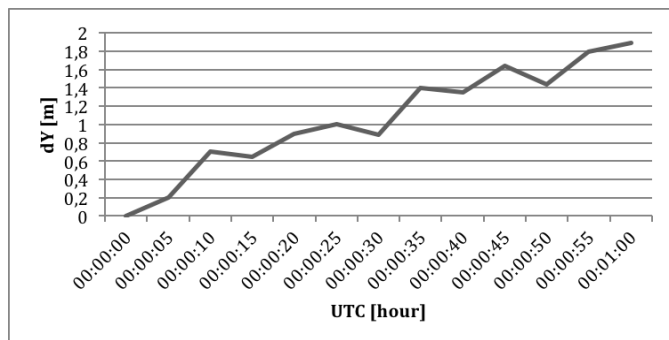
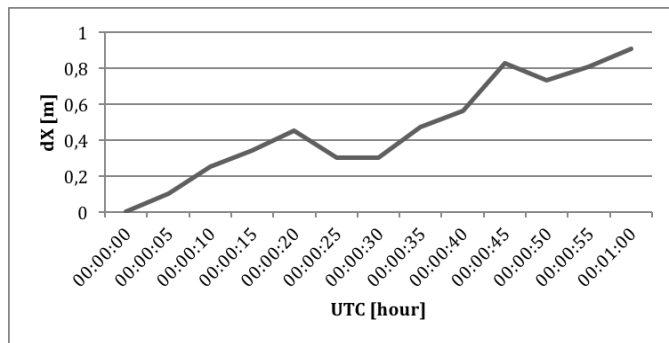
Badania zostały rozpoczęte od sprawdzenia dokładności czujników opisanych w punkcie 2.2. Badano przy tym wartości żyroskopu oraz akcelerometru dla urządzenia pozostającego w spoczynku. Czas badania w przypadku żyroskopu wynosił 15 minut, a w przypadku akcelerometru 30 sekund.

Dla uzyskania pewniejszych wyników pomiaru zostały wykonane dwukrotnie w przypadku akcelerometru.



W celu zmierzenia dokładności pomiarów nawigacji inercyjnej w stosunku do oryginalnie przebytej drogi przygotowano wzorcową trasę w pomieszczeniu zamkniętym na małym obszarze – całkowita długość drogi wyniosła 40 m. Z kolei na dużym obszarze wyznaczono znacznie większy odcinek drogi – miał on długość 2,4 km. Ponadto pomiary zostały dokonane w budynku w celu wyznaczenia różnicy wysokości.

Wyniki pomiarów na trasie w pomieszczeniu zamkniętym na małym obszarze przedstawiają się następująco:



### 2.5. Aktualizacja filtru Kalmana przy użyciu metod sztucznej inteligencji

Zazwyczaj w celu określenia pozycji obiektu jest wykorzystywany sygnał GPS lub nawigacja inercyjna. Coraz częściej (na przykład w nawigacjach samochodowych) stosowane są jednocześnie oba te systemy, przy czym nawigacja inercyjna jest głównym komponentem, natomiast sygnał GPS służy do kalibracji oraz minimalizacji pojawiających się błędów. Dzięki temu wykorzystywane są zalety obu systemów przy jednoczesnym znacznym ograniczeniu wad związanych z ich stosowaniem. Przy tym wykorzystanie sygnału GPS sprowadza się do poprawienia kalibracji nawigacji, jednak, co charakterystyczne, nie jest konieczne czekanie na dokładne określenie pozycji satelitów, ponieważ jednocześnie działa nawigacja inercyjna.

Najczęściej do łączenia sygnału GPS oraz nawigacji inercyjnej jest stosowany filtr Kalmana. Umożliwia on w czasie rzeczywistym określenie pozycji w układzie GPS/inercyjnym.

Podczas zrealizowanych na potrzeby niniejszego artykułu badań wykorzystano poprawiony sygnał GPS, który został otrzymany w wyniku integracji sygnałów otrzymywanych z satelitów GPS oraz GLONASS. W tym celu zastosowano specjalny czujnik, za pomocą którego możliwe staje się integrowanie funkcjonowania obu systemów satelitarnych.

Pierwszym zadaniem było zintegrowanie układu inercyjnego z wynikami otrzymywanymi z systemu GPS, a więc tymi odnoszącymi się do położenia oraz prędkości obiektu. Wykorzystano do tego następujące równanie (4): [32]

$$\begin{bmatrix} \dot{r}^l \\ \dot{v}^l \\ \dot{R}_b^l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D^{-1}v^l \\ R_b^l f^b - (2\Omega_{ie}^l + 2\Omega_{el}^l)v^l + g^l \\ R_b^l (\Omega_{ib}^b + \Omega_{il}^b) \end{bmatrix}$$

gdzie:

$r^l$  – wektor położenia

$v^l$  – wektor prędkości

$R_b^l$  – macierz transformacji z układu inercyjnego.

Równania składające się na filtr Kalmana podzielone są na dwie grupy - grupę przewidywania oraz grupę aktualizacji. Współczynniki przewidywania czasu są odpowiedzialne za przejście do przodu w czasie bieżącej epoki (k-1) do następnych epok (k). Równania predykcji są następujące (5): [32]

$$\hat{x}_k(-) = \Phi_k \hat{x}_{k-1}(+)$$

$$P_k(-) = \Phi_k P_{k-1}(+) \Phi_k^T + Q_{k-1}$$

gdzie:

$\hat{x}$  – optymalny szacunkowy wektor położenia

$\Phi$  – macierz przejścia stanu

$P$  – macierz wariancji i kowariancji stanów bezwładności

$Q$  – macierz szumu systemu

(-) - szacunkowa wartość po przewidywaniu

(+) - szacunkowa wartość po aktualizacji

W ramach opracowanego modelu aktualizacja macierzy Kalmana jest uruchamiana przy każdym pomiarze sygnału GPS. Przy tym wykorzystywana jest różnica pomiędzy danymi otrzymanymi z sygnałów GPS/GLONASS oraz układu inercyjnego. W sytuacji, gdy nie jest możliwe pozyskanie danych na temat aktualnej pozycji obiektu za pośrednictwem sygnału GPS bądź gdy dane te obarczone są zbyt dużą szacunkową wartością błędów, filtr Kalmana pracuje w trybie przewidywania.

W toku dalszych badań przewidywane jest wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do zminimalizowania ograniczeń związanych z wyznaczaniem położenia obiektów. Badania zostałyby skierowane na przetestowanie różnych algorytmów uczących się między innymi metody Levenberga-Marquardta, metody quasi-Newtonowskiej czy metody gradientu prostego oraz w kierunku zaprojektowania architektury sieci. Dzięki temu możliwe będzie opracowanie narzędzia, które pozwoli na dokonywanie coraz dokładniejszych pomiarów położenia czy prędkości różnorodnych obiektów, nawet w warunkach znacznie utrudniających realizowanie takich pomiarów (wysokie budynki, obszary, do których nie dociera sygnał GPS itp.).

## PODSUMOWANIE

Podsumowując tekst, konieczne jest zaznaczenie tego, że obecnie, poszukując możliwości w zakresie zwiększenia efektywności funkcjonowania konkretnych maszyn czy układów, wykorzystuje się na coraz szerszą skalę urządzenia, które łączą w sobie funkcjonalności określonych systemów. Jest to zauważalne między innymi w ramach logistyki, gdzie cały czas nacisk kładziony jest na zwiększanie efektywności realizacji procesów zaopatrzeniowych, produkcyjnych czy dystrybucyjnych, jak również minimalizowanie kosztów poprzez na przykład automatyzację wykonywania różnorodnych czynności, w tym między innymi tych związanych z magazynowaniem.

W związku z tym dochodzi do coraz ściślejszej integracji wykorzystywania różnych systemów. Obecnie, w ramach nawigacji, dotyczy to nie tylko systemów nawigacji satelitarnej (GPS, GLONASS) oraz inercyjnej (żyroskop, akcelerometri oraz magnetometri), ale również systemów inercyjnych oraz sztucznej inteligencji. Dzięki jednoczesnemu stosowaniu AI oraz systemów nawigacji inercyjnej możliwe jest zwiększanie sprawności oraz skuteczności działania różnorodnych urządzeń, w tym również tych, które służą

do wyznaczania położenia określonego obiektu oraz kierunku jego poruszania się.

Integracja AI oraz nawigacji inercyjnej jest jednym z podstawowych zadań, które zostało postawione przed realizacją omówionego w artykule projektu. Perspektywy dla niego są bardzo obiecujące, gdyż zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w połączeniu z nawigacją inercyjną może przyczynić się do zaktualizowania filtra Kalmana i tym samym do wzrostu efektywności dokonywania pomiarów położenia obiektów. Konieczne jest jednak dalsze rozwinięcie tego projektu.

*(Praca finansowana z działalności statutowej - grant doktorski)*

## BIBLIOGRAFIA

1. Kolecki J., Wyznaczanie elementów orientacji zewnętrznej zdjęć naziemnych z wykorzystaniem obserwacji fotogrametrycznych, inercjalnych i satelitarnego systemu pozycjonowania, rozprawa doktorska, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Kraków 2012, s. 22.
2. Merkisz J., Inteligentne rozwiązania systemów informacyjnych w pojazdach osobowych i ciężarowych, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Transportu i Logistyki” 2010, nr 12, s. 170-171.
3. Komorek A., Kowalik R., Bińczak R., Wyznaczanie dokładności pozycji obiektów ruchomych w przestrzeni 3D, „Autobusy” 2016, nr 12, s. 1038.
4. Maćkowiak M., Waluś K.J., Badanie cech kinetycznych ruchu motocykla – przegląd aparatury pomiarowej (część II), „Logistyka” 2015, nr 4, s. 4636-4646.
5. Pokorski J., Sar H., Fundowicz P., Reński A., Badania porównawcze skuteczności hamowania z wykorzystywaniem odbiornika nawigacji satelitarnej GPS i czujnika korelacyjnego Correvit-L, „Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów” 2013, nr 5, s. 31-38.
6. Różanowski K., Sztuczna inteligencja: rozwój, szanse, zagrożenia, „Zeszyty Naukowe Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki” 2007 r., nr 2, s. 109.
7. Franz M., Inteligencja twórcza (ujęcie psychologiczne i socjologiczne), „Aesthetics and Ethics of Pedagogical Action” 2016, nr 13, s. 19.
8. Różanowski K., op. cit., s. 110-111.
9. Fulmański P., Elementy sztucznej inteligencji, <http://kolos.math.uni.lodz.pl/~archive/Sztuczna%20inteligencja/P.Fulmanski%20-%20sztuczna%20inteligencja.pdf>, dostęp: 09.10.2017 r.
10. M.M. al-Rifaie, M. Bishop, Work and Strong Computational Creativity, [w:] Computational Creativity Research: Towards Creative Machines, red. T.R. Besold, M. Schorlemmer, A. Smail, Atlantis Press, Paris 2015, s. 44-46.
11. Duch W., Fascynujący świat komputerów, Wydawnictwo Naukom, Poznań 1997, s. 295-300.
12. Czuj P., Analiza istniejących systemów nawigacji lotniczej. Obsługa metrologiczna testera TACAN AN/ARM-188, „Biuletyn WAT” 2012, nr 2, s. 351.
13. Gucma M., Montewka J., Podstawy morskiej nawigacji inercyjnej, Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2006, s. 27.
14. Kolecki J., op.cit., s. 22.
15. Dul F., Wprowadzenie do sztucznej inteligencji, [https://www.meil.pw.edu.pl/pl/content/download/21172/112839/..AI\\_Wstep\\_14.pdf](https://www.meil.pw.edu.pl/pl/content/download/21172/112839/..AI_Wstep_14.pdf), dostęp: 09.10.2017 r., s. 12.
16. Kolecki J., op. cit., s. 23.

17. Szelmanowski A., Możliwości diagnozowania systemów nawigacji inercyjnej na bazie analizy wartości błędów Schulera, „Prace Naukowe ITWL” 2013, z. 33, s. 162.
18. Gucma M., Montewka J., op. cit., s. 22-26.
19. Gucma M., Montewka J., op. cit., s. 42-58.
20. Rogowska D., Zastosowanie logiki rozmytej w zarządzaniu zapasami, „Logistyka” 2011, nr 5, s. 1240-1247.
21. Kubiak N., Inteligentny system hybrydowy zarządzania logistyką zaopatrzeniową, rozprawa doktorska, Wydział Inżynierii i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013.
22. Golański P., Szczekala M., Zastosowanie przenośnego systemu ekspertowego z rzeczywistością rozszerzoną do obsługi statku powietrznego, [http://logistyka.wnp.pl/zastosowanie-przenośnego-systemu-ekspertowego-z-rzeczywistością-rozszerzoną-do-obsługi-statku-powietrznego,271488\\_2\\_0\\_0.html](http://logistyka.wnp.pl/zastosowanie-przenośnego-systemu-ekspertowego-z-rzeczywistością-rozszerzoną-do-obsługi-statku-powietrznego,271488_2_0_0.html), dostęp: 11.10.2017 r.
23. Duchaczek A., Skorupka D., Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w systemach wspomagania decyzji z obszaru zarządzania logistyką, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych” 2011, nr 4, s. 270-277.
24. Różanowski K., op. cit., s. 112-113.
25. Narkiewicz J., Podstawy układów nawigacyjnych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999, s. 134.
26. Giergiel J., Giergiel M., Małka P., Metody nawigacji minirobotów kołowych na przykładzie miniroboty kołowego m.r.k., „Pomiary Automatyka Kontrola” 2007, nr 10, s. 50-54.
27. Kraszewski T., Kaniewski P., Kubicki I., Systemy nawigacyjne miniaturowych bezzałogowych statków powietrznych, „Biuletyn WAT” 2013, nr 4, s. 161.
28. <https://github.com/TKJElectronics/KalmanFilter>, dostęp: 06.10.2017 r.
29. <http://blog.tkjelectronics.dk/2012/09/a-practical-approach-to-kalman-filter-and-how-to-implement-it/>, dostęp: 06.10.2017 r.
30. <https://forbot.pl/blog/filtr-kalmana-teorii-praktyki-1-id2855>, dostęp: 06.10.2017 r.
31. Woodman O.J., An introduction to inertial navigation, “Technical Report”, nr 696, s. 15-16.
32. Dul F., op. cit., s. 10.

---

## Application of artificial intelligence in inertial navigation in logistics

*The article discusses the issues relating to mutual relations between artificial intelligence and inertial navigation, which are noticeable within logistics. The main focus has been on showing how the use of inertial navigation systems used in logistics can affect the use of artificial intelligence. The reflections taken in the article are both theoretical and practical. As part of the theory, we tried to show, based on the literature of the subject, what is the essence of artificial intelligence and inertial navigation and what are the relationships between them. The results of our own research were also presented (practical aspect).*

---

Autorzy:

dr hab. inż. **Dariusz Baczyński** – Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki; [dariusz.baczynski@ee.pw.edu.pl](mailto:dariusz.baczynski@ee.pw.edu.pl)  
mgr inż. **Krzysztof Bartczak** – Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny; [bartczak@ee.pw.edu.pl](mailto:bartczak@ee.pw.edu.pl)