

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

Warszawa, 10 stycznia 2018 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 31 stycznia 2018 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

mgr inż. Łukasza Maślikowskiego

temat: „Zastosowanie techniki MIMO w radarze szumowym do jednoczesnej obserwacji obiektów w wybranym sektorze kątowym”

promotor – prof. dr hab. inż. Krzysztof Kulpa z Politechniki Warszawskiej

recenzenci:

prof. dr hab. inż. Edward Sędek z Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy

dr hab. inż. Jerzy Pietrański, prof. Wojskowej Akademii Technicznej

Obrona odbędzie się w dniu 31 stycznia 2018 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 12.00.

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Łukasz Maślikowski

Zastosowanie techniki MIMO w radarze szumowym do jednoczesnej obserwacji obiektów w zadanym sektorze kątowym

Streszczenie

W rozprawie przedstawiono ideę radaru szumowego z falą ciągłą wykorzystującego technikę MIMO (ang. Multiple Input - Multiple Output). Radar szumowy, dzięki losowemu i stałemu rozproszeniu sygnału w dziedzinie częstotliwości, jest trudniejszy do wykrycia, zaklasyfikowania i zmylenia, zwłaszcza gdy pracuje z falą ciągłą i obniżoną mocą szczytową. Z tego powodu można go zaliczyć do radarów LPI (ang. Low Probability of Intercept). Szczególną właściwością zestawu niezależnych realizacji sygnału losowego jest ich niemal pełna ortogonalność, która sprawia, że można je bezpośrednio wykorzystać w koherentnym radarze MIMO. Każdy element antenowego szyku nadawczego takiego radaru nadaje inny sygnał, a w poszczególnych kanałach odbiornika możliwe jest ich odróżnienie. Idea koherentnego formowania wiązki MIMO jest pewnym uogólnieniem koncepcji fazowanego szyku antenowego z elektronicznie sterowaną wiązką, pozwalającej na określenie kierunku nadejścia echa.

Otwartym zagadnieniem do tej pory było pełne, krytyczne porównanie bardziej złożonego w implementacji radaru MIMO z jego powszechnie znanym odpowiednikiem wykorzystującym szyk fazowany i elektroniczne sterowanie wiązką, zwłaszcza dla przypadku radaru szumowego z falą ciągłą. W literaturze radar MIMO często przedstawiany jest jako lepsze rozwiązanie. Jednak niektóre z przypisywanych mu zalet wynikają ze źle postawionych porównań, nie są cechami techniki MIMO, bądź są jedynie obiecująco brzmiącymi sformułowaniami niewnoszącymi bezpośredniej informacji o walorach użytkowych radaru. Ponadto do tej pory na świecie nie zaprezentowano wyników eksperymentalnych pomiarów terenowych zrealizowanych radarem szumowym z falą ciągłą pracującym w trybie MIMO.

W ramach niniejszej pracy przedstawiono zasadę działania radaru szumowego, analizę metod formowania wiązki dla radaru szumowego MIMO i jego porównanie do klasycznego szyku fazowanego oraz opisano zbudowany na potrzeby pracy demonstrator i wyniki terenowych eksperymentów pomiarowych, podczas których obserwowano rzeczywiste obiekty. Wykazano, że radar MIMO przy obserwacji zadanego sektora kąowego, dzięki jednoczesnej obserwacji wielu kierunków, może osiągać taki sam stosunek sygnału do szumu jak radar klasyczny, ale uzyskuje przy tym lepszą rozróżnialność prędkościową. W trybie fali ciągłej może także uzyskać większy zasięg niż odpowiednik z szykiem fazowanym, jeśli ograniczeniem dynamiki są silne echa od bliskich obiektów. W pracy określono też inne praktyczne zalety radaru szumowego MIMO, a także cechy, które - wbrew obiegowym opiniom - nie są właściwościami radaru MIMO.

Abstract

In this thesis, the idea of continuous wave noise radar using MIMO (Multiple Input - Multiple Output) technique is presented. A noise radar, due to random, possibly most non-regular transmitted waveform and constant power spread in frequency domain, is more robust to detection, classification and deception, especially when working in continuous wave mode with low peak power. That is why it can be classified as an LPI radar (Low Probability of Intercept). A distinctive feature of a set of independent realizations of a random signal is their nearly full orthogonality. Due to this, they can be used in a MIMO radar, a device becoming increasingly popular in scientific literature, in which each component of transmit antenna array transmits different signal, that can be distinguished in particular channels of the receiver. The idea of coherent MIMO beamforming is a generalization of a phased antenna array with electronically scanned beam, that allows to determine the direction of incoming echoes.

Up till now complete and critical comparison between more complex MIMO radar to widely known counterpart with phased array and electronically scanned beam, especially in continuous wave mode, is an open issue. In the literature the MIMO radar is often presented as a better solution but some of advantages attributed to it result from wrongly set comparisons, are not features of MIMO technique or are only promisingly sounding phrases, that do not bear direct information on usable radar qualities. Moreover, in the world literature there have not been presented so far any outdoor experimental measurement results for continuous wave noise radar working in MIMO mode.

Within this work, the principle of noise radar operation, analysis of beamforming methods for MIMO radar, as well as its comparison to classical phased array have been presented. The radar system demonstrator, built for the purpose of this work, and the results of field measurement experiments, including observation of real targets, have been described. Particularly, it has been shown, that due to simultaneous multidirectional surveillance, a MIMO radar observing an angular sector of space may achieve the same signal to noise ratio as classical radar but with better velocity resolution. In continuous wave mode, it can achieve even greater range than its phased array counterpart, if these are the strong echoes from close objects, which limit the dynamic range of the receiver. Other practical advantages of the MIMO radar have been determined in comparison to phased array counterpart as well as the features that, against common opinions, are not typical for MIMO radar.

tytuł, stopień, imię i nazwisko
prof. dr hab. inż. Edward Sędek

data 22.10.2017

miejsce pracy:

Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy
Al. S. Kaliskiego 7, 87-789 Bydgoszcz

*KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RDY
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ*

Tytuł rozprawy: Zastosowanie techniki MIMO w radarze szumowym do jednoczesnej obserwacji obiektów w wybranym sektorze kątowym.

Autor rozprawy: mgr inż. Łukasz Maślikowski

- 1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

W rozprawie autor omawia koncepcję radaru szumowego z falą ciągłą wykorzystującego technikę MIMO. Celem pracy była analiza praktycznych korzyści z zastosowania tej techniki w radarze szumowym oraz budowa i eksperymentalna weryfikacja działania demonstratora takiego urządzenia. Doktorant stawia główne dwie tezy pracy, w następującej postaci:

- *„Przy założeniu ustalonego czasu obserwacji sektora kąowego i liczbie wiązek nadawczych równej liczbie anten nadawczych, użycie szumowego radaru MIMO z falą ciągłą daje możliwość jednoczesnej obserwacji całego sektora kąowego i poprawy rozróżnialności prędkościowej w stosunku do jego odpowiednika z klasycznym szykiem fazowanym, przy zachowaniu takiego samego stosunku mocy sygnału do mocy szumu,*
- *Przy dominacji wpływu silnych ech od obiektów oświetlonych listkiem głównym charakterystyki nadawczej na stosunek mocy sygnału do mocy szumu, w radarze szumowym MIMO z falą ciągłą można uzyskać lepszy stosunek mocy sygnału do mocy szumu niż w odpowiedniku z szykiem fazowym”.*

Tezy rozprawy zostały sformułowane w sposób jasny. W kolejnych rozdziałach pracy autor konsekwentnie udowadnia postawione tezy. Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny.

- 2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

W rozprawie autor powołuje się na 85 pozycji literatury zaczerpniętej z renomowanych czasopism zagranicznych i materiałów konferencji międzynarodowych. W 9-ciu z nich jest ich współautorem. Dokonując oceny przytoczonych materiałów źródłowych stwierdzam, że

analiza źródeł została przeprowadzona właściwie. Wszystkie przytoczone materiały źródłowe dotyczą zagadnień omawianych i analizowanych w rozprawie. Świadczy to o wysokiej wiedzy autora i swobodzie poruszania się w literaturze przedmiotu. Wnioski z przeglądu literatury, zarówno krytyczne jak i pozytywne, są sformułowane w sposób nie budzący wątpliwości i przekonujący.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Rozprawa składa się z sześciu rozdziałów. I tak w rozdziale 2 autor przedstawia model sygnału używanego w radarze szumowym, technikę kompresji odległościowej oraz różne architektury realizacji sprzętowej radaru szumowego. Analizuje szczegółowo zagadnienia związane z określeniem stosunku sygnału do szumu po korelacji, zarówno dla szumu gaussowskiego jak również unimodularnego. W kolejnym rozdziale opisuje uniwersalny model sygnałów dla radaru z wieloelementowym szykiem antenowym. Wykorzystuje zwężony zapis macierzowy pozwalający na łatwą implementację algorytmów formowania wiązki. Formownie wiązki opisuje z uwzględnieniem dostępności informacji o przestrzennym rozkładzie zakłóceń. Prezentuje charakterystyki teoretyczne radaru z klasycznym szykiem fazowanym oraz radaru MIMO. Dokonuje ponadto porównania wyników osiąganych dla obu typów radarów. Zastosowane metody analityczne są właściwe, a przyjęte założenia uzasadnione. Wykorzystanie ich pozwoliło na zaprojektowanie i budowę demonstratora radaru szumowego, co doktorant przedstawia w rozdziale 4. W kolejnym rozdziale szeroko opisuje przeprowadzone badania terenowe demonstratora. W ostatnim rozdziale zamieszcza wnioski wynikające z przeprowadzonych badań. Wnioski są sformułowane w sposób zrozumiały i uzasadniony.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność rozprawy polega na:

- dokonaniu przez autora krytycznej analizy literatury dotyczącej koherentnego radaru MIMO;
- opracowanie koncepcji radaru szumowego MIMO z falą ciągłą i określenie jego parametrów użytkowych w porównaniu do jego odpowiednika z elektronicznie sterowaną wiązką;
- zaprojektowanie i wykonanie demonstratora radaru szumowego MIMO pracującego z falą ciągłą;
- przeprowadzenie badań terenowych obejmujących obserwację obiektów ruchomych i nieruchomych za pomocą demonstratora radaru. Przeprowadzone badania radaru MIMO są jedne z pierwszych w skali światowej (na podstawie danych literaturowych);

Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki światowej mieści się w nurcie najnowszych osiągnięć w dziedzinie radarów szumowych.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Autor rozprawy przedstawia uzyskane przez siebie wyniki w sposób jasny i przekonujący. Dotyczy to w szczególności charakterystyk i odpowiedzi kierunkowych szyku antenowego w różnych warunkach przedstawionych w rozdziale 3. Również projekt i budowa demonstratora radaru MIMO została przedstawiona w sposób wyczerpujący. Rozprawa napisana jest w sposób zwięzły i jasny. Drobne błędy redakcyjne wymieniono w następnym punkcie.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Rozprawa w zasadzie nie ma wad. Autor konsekwentnie przedstawia elementy analizy radaru MIMO, które potwierdza eksperymentalnie w czasie badań demonstratora radaru w warunkach terenowych. Do słabych stron rozprawy zaliczyłbym: brak jednoznacznego określenia co autor rozumie pod pojęciem „antenowy szyk klasyczny str. 64 i inne, brak w rozprawie krótkiego przedstawienia przewidywanych zastosowań radaru MIMO, brak wyjaśnienia w zależności (4.47) parametru S_a i drobny błąd redakcyjny: słowo „fizycznym” na str. 65 należy zamienić na „fizycznemu”.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Rozprawa i jej wyniki są przydatne dla rozwoju nowych technologii, jakimi są koherentne radary MIMO z falą ciągłą. Otrzymane wyniki zostały już częściowo opublikowane na renomowanych międzynarodowych konferencjach radarowych i przyjęte przez środowisko naukowe tych konferencji. Ponadto należy pokreślić, iż wykonany demonstrator radaru był przedmiotem badań jako jeden z pierwszych na świecie w 2015r., wprawdzie w zakresie ograniczonym, niemniej uzyskane wyniki pozwoliły na określenie dalszych kierunków prac. Kierunki te zostały sformułowane przez autora we wnioskach końcowych rozprawy. Zatem przydatność rozprawy dla nauk technicznych recenzent uznaje za wysoką.

8. Do której kategorii Recenzent zalicz rozprawę:

- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawą doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b)
- c) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Powyższe pytania mają charakter pomocniczy. Wskazane jest także formułowanie treści recenzji, by można było ją odczytywać bez przeczytania pytań



podpis

Dr. hab. inż. Jerzy PIETRASIŃSKI

Warszawa, 30.10.2017

Wojskowa Akademia Techniczna

Wydział Elektroniki

Instytut Radioelektroniki

ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2

00-908 Warszawa

**KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy:

*Zastosowanie techniki MIMO w radarze szumowym do jednoczesnej obserwacji obiektów
w zadanym sektorze kątowym*

Autor rozprawy: mgr inż. Łukasz Maślikowski

Jakie zagadnienie jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Rozprawa dotyczy radaru szumowego z falą ciągłą w którym zastosowano techniki MIMO (*Multi Input Multi Output*). Tezy pracy są właściwie sformułowane przez Autora i zostały zapisane następująco:

„Przy założeniu ustalonego czasu obserwacji sektora kąowego i liczby wiązek nadawczych równej liczbie anten nadawczych, użycie szumowego radaru MIMO z falą ciągłą daje możliwość jednoczesnej obserwacji całego sektora kąowego i poprawy rozróżnialności prędkościowej w stosunku do jego odpowiednika z klasycznym szykiem fazowanym, przy zachowaniu takiego samego stosunku mocy sygnału do mocy szumu.

Przy dominacji wpływu silnych ech od obiektów oświetlonych listkiem głównym charakterystyki nadawczej na stosunek mocy sygnału do mocy szumu, w radarze szumowym MIMO z falą ciągłą można uzyskać lepszy stosunek mocy sygnału do mocy szumu niż w odpowiedniku z szykiem fazowanym”.

Rozprawa ma charakter teoretyczno – doświadczalny. W rozdziale trzecim przedstawiono rozważania teoretyczne dotyczące modelu sygnałów oraz algorytmów formowania wiązki antenowej w wieloelementowym szyku antenowym. Tamże podano i przeanalizowano charakterystyki teoretyczne oraz otrzymane w wyniku badań symulacyjnych. W rozdziale czwartym

scharakteryzowano oryginalny demonstrator radaru szumowego skonstruowany na bazie elementów typu COTS na potrzeby pracy. Wyniki ciekawych badań poligonowych przedstawiono w rozdziale piątym. Rozdział szósty zawiera wnioski końcowe.

Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł/ w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczący o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski przedstawiono w sposób jasny i przekonujący?

W rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, a w tym przegląd literatury światowej. W bibliografii podano 85 pozycji literaturowych na które Autor powołuje się w rozprawie, z których 16 opublikowano przed rokiem 2000. Wszystkie cytowane publikacje zostały poprawnie wybrane i stanowią właściwe źródło informacji o tematyce rozprawy. Świadczą one o bogatej, usystematyzowanej wiedzy Autora w literaturze przedmiotu.

W oparciu o dane literaturowe oraz bazując na bogatych doświadczeniach Autora, w rozprawie przeprowadzono trafną analizę poziomu „dojrzałości” radaru szumowego pracującego w trybie MIMO z której wynika, że rozwiązanie to jest na świecie w fazie badań laboratoryjnych. W tym kontekście wykorzystanie przez Autora demonstratora radaru szumowego w badaniach poligonowych należy uznać za duże osiągnięcie.

Podane w rozdziale szóstym wnioski są dowodem dojrzałości Autora w uprawianym obszarze badań. Wnioski te są krytyczne, obiektywne oraz przekonujące. Akcentuje się w nich znaczenie założeń oraz precyzji kryteriów oceny analizowanych rozwiązań. O właściwej postawie Autora jako badacza świadczy m.in. fakt, że z uwagi na istniejące wciąż liczne wątpliwości dotyczące porównania radaru szumowego pracującego w trybie MIMO z radarem klasycznym, akcentuje on potrzebę kontynuowania badań. Uznanie wzbudza też ostatnie zdanie w rozprawie, gdzie Autor, będący prawdopodobnie entuzjastą badanego radaru, napisał: *nie jest natomiast prawdą, że [szumowy radar MIMO] jest od nich [czyli rozwiązań klasycznych] zawsze lepszy*. Taka powinna być postawa rzetelnego badacza.

Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Zdecydowanie stwierdzam, że Autor z nadmiarem rozwiązał postawione zadanie używając do tego właściwych metod badawczych oraz przyjmując poprawne założenia. Zgodnie z zapisami w rozdziale 1.3, udowodnił, iż przy określonych założeniach, *szumowy radar MIMO z falą ciągłą daje możliwość jednoczesnej obserwacji całego sektora kąтового i poprawy rozróżnialności prędkościowej w stosunku do jego odpowiednika z klasycznym szykiem fazowanym, przy zachowaniu takiego samego stosunku mocy sygnału do mocy szumu*. Wnioski te zostały sformułowane na podstawie wyników uzyskanych zarówno w rezultacie rozważań teoretycznych jak i badań symulacyjnych. Autor opracował oryginalny model sygnału występującego w koherentnym radarze z wieloelementowym szykiem antenowym, a w tym także macierzowy model sygnału po kompresji w odległości. Ciekawe są też teoretyczne rozważania dotyczące formowania wiązki w szyku antenowym z wykorzystaniem widma przestrzennego (*spatial spectrum*).

Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanego przez literaturę światową?

Oryginalność rozprawy przejawia się w koncepcji zastosowania radaru szumowego na fali ciągłej w technice MIMO udokumentowanej obszernymi porównaniami właściwości takiego rozwiązania w porównaniu z rozwiązaniem klasycznym. Podstawę tych rozważań stanowią oryginalne wyniki Autora uzyskane metodą teoretyczną oraz symulacyjną. Na szczególne podkreślenie zasługują wyniki otrzymane z wykorzystaniem w badaniach poligonowych zbudowanego chyba pierwszego na świecie demonstratora radaru szumowego typu MIMO na fali ciągłej. Do ważnych osiągnięć Autora trzeba też zaliczyć opracowanie teorii szumowego radaru typu MIMO.

Autor trafnie dobrał i twórczo przeanalizował dostępną literaturę w badanej problematyce.

Wszystkie ww. osiągnięcia prowadzą do wniosku o istotnym wkładzie Autora rozprawy w dziedzinie.

Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Recenzowana rozprawa jest przekonująca, ma logiczny układ oraz charakteryzuje się dużą precyzją treści. Jednym z jej walorów jest merytoryczna analiza prac wielu autorów innych publikacji. Moim zdaniem istotny wpływ na wysoki poziom rozprawy ma też aktywna praca Autora w zespołach badawczych Panelu SET STO NATO działających w tematyce radaru szumowego od 2011r. Fakt ten świadczy również o znaczeniu tej problematyki w skali światowej.

Jakie są słabe strony rozprawy i jej wady?

Powodem drobnego niedosytu jest fakt, że w rozprawie nie znalazłem satysfakcjonującego mnie opisu komórki odległościowej oraz prędkościowej, do których Autor nawiązuje w swoim tekście.

Zgodnie z założeniami podanymi w rozdziale 1.3 Autor skupił się na obserwacji zadanego sektora kąтового i określeniu odległości, prędkości oraz pozycji azymutalnej znajdujących się w nim obiektów. Akceptując te założenia i mając świadomość na jakim etapie rozwoju jest radar szumowy, byłbym jednak rad, gdyby Autor we wnioskach dotyczących właściwości radaru szumowego, odniósł się również, w formie prognozy profesjonalisty, do zadań realizowanych przez typowy radar obserwacyjny.

Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Recenzowana rozprawa ma niewątpliwie duże znaczenie w procesie przystosowywania radaru szumowego z falą ciągłą do zastosowań w praktyce. Świadczą o tym chociażby wnioski precyzyjnie wypunktowane w rozdziale 6.

Rozprawa ta doskonale wpisuje się w światowe trendy badań w zakresie radiolokacji. Dotyczą one poszukiwań nowych rozwiązań w dziedzinie typów i właściwości sygnałów sondujących (*waveform diversity*), co z kolei wiąże się ściśle z radarem kognitywnym (*cognitive radar*). Radar szumowy jest także interesującym rozwiązaniem w kontekście wymagań kojarzonych z tzw. cichością pracy radaru.

Do której z następujących kategorii recenzent zalicza rozprawę?

- a) Nie spełniająca wymagań
- b) Wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) Spełniająca wymagania
- d) Spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) Wybitnie dobra zasługująca na wyróżnienie

