

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Marii Makuch
pt. „Zastosowanie naziemnego skaningu laserowego w procesie
modernizacji hiperboloidalnych chłodni kominowych”,**

1. Podstawy prawne wykonania recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest pismo z dnia 18 grudnia 2017 roku Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Geodezji – prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Gawrońskiego. Na podstawie uchwały Rady Wydziału nr 153/2017 z dnia 13 grudnia 2017 r., powołano mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Makuch, realizowanej w Katedrze Geodezji, pod opieką dr. hab. inż. Andrzeja Kwinty oraz dr. inż. Bartosza Mitki jako promotora pomocniczego.

2. Zasadność podjęcia tematu pracy

Chłodnie hiperboloidalne są przemysłowymi obiektami masywnymi o wysmukłej konstrukcji, co oznacza, że te dwie cechy determinują specyfikę i trudność w odpowiednim zaprojektowaniu, wznoszeniu oraz użytkowaniu takich konstrukcji. Każdy wymieniony etap jest związany z indywidualnym potraktowaniem zagadnienia, w którym istotą rolę ogrywają czynniki środowiskowe, w których budowla będzie użytkowana. Poza naturalnymi dla obiektów wysmukłych czynnikami, związanymi z oddziaływaniem wiatru oraz insolacją, należy wziąć pod uwagę czynnik przyspieszający korozję płaszcza budowli i jej wnętrza, związany ze składem atmosfery przemysłowej w jej najbliższym otoczeniu. Problem ten jest

tym bardziej widoczny, gdy (mimo swojej masywności) konstrukcje hiperboloidalne muszą charakteryzować się cienkościenną obudową płaszcza żelbetowego. Z tego względu już projektowanie a później wznoszenie musi podlegać szczególnym rygorom związanym z możliwością przeniesienia przez kilkadziesiąt lat znacznych obciążeń przez konstrukcję oraz zachowania szczelności jej płaszcza.

Niestety, obecnie wykorzystywane chłodnie hiperboloidalne (kilkadziesiąt w Polsce) wybudowane były przede wszystkim w czasach 70-tych i 80-tych XX wieku, gdy nagminne były błędy w doborze lub zastępstwie materiałów a rzetelność wykonania nie była priorytetowa. Z tego też względu dochodziło do wielu sytuacji generujących zagrożenie dla bezpieczeństwa budowli, co przyspieszane było często przez brak bieżących napraw, pozwalających profilaktycznie przeciwdziałać destrukcji obiektów.

Doktorantka bardzo obszernie opisała wszelkie aspekty związane z procesem degradacji płaszcza budowli, powstawaniem ubytków, korozją zbrojenia. Słusznie zauważyła, że specyficzny kształt płaszcza chłodni, przyjmujący formę obrotowej hiperboloidy jednopowłokowej o dwukierunkowej ciągłości krzywizny zapewnia stabilność i trwałość cienkościennych konstrukcji. Z tego względu zachowanie wytrzymałości i stateczności takiej chłodni zależy nie tylko od czynników budowlanych ale również od zachowania właściwego kształtu powłoki. Dlatego istotnym elementem oceny geometrii, na który wskazała Autorka w ślad za cytowaną literaturą, jest ocena odchylenia osi budowli od linii pionu oraz analiza potencjalnego zmieniania kształtu profilu poprzecznego z kołowego na owalny. Doktorantka przytoczyła kryterium lokalnej oceny stateczności powłoki, opartej na analizie południkowych i równoleżnikowych naprężeń zapoczątkowanych modelowymi badaniami przez Morgana. Tym samym podkreśliła, że do prawidłowej oceny kształtu nie wystarczą powyżej podane wskaźniki oceny geometrii ale również należy poddać analizie profile podłużne (południkowe), które powinny być analizowane pod kątem zgodności z profilem teoretycznym hiperboli.

Z punktu widzenia geodezyjnego należy więc wykonać pomiary pozwalające dokonać oceny wyżej wymienionych wskaźników zgodności geometrycznej z kształtem teoretycznym, tak by była możliwa analiza stanu kształtu konstrukcji, jego powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej oraz grubości płaszcza. Te wszystkie czynności wpisują się w zakres działań diagnostycznych, będących ich istotnym elementem.

Autorka dokonała przeglądu stosowanych dotychczas technologii geodezyjnych, co szczegółowo opisała w rozdziale 2.3 oraz 3. W oparciu o przeprowadzone wnioski zaproponowała zastosowanie kombinacji naziemnego skaningu laserowego za pomocą

skanera fazowego z precyzyjnymi pomiarami poligonizacyjnymi. Mają one na celu utworzenie chmury punktów o odpowiedniej dokładności względem referencyjnego układu geodezyjnego, co pozwoli na wykonywanie opisanych w dalszej części dysertacji analiz. Autorka oparła swoje wnioskowanie na bardzo obszernie cytowanych pozycjach literaturowych (również zagranicznych), dotyczących stosowania skaningu laserowego do oceny geometrii obiektów przemysłowych w tym również chłodni kominowych, co pozwoliło na uporządkowanie stanu wiedzy na temat „modernizacji hiperboloidalnych chłodni kominowych”.

Tym samym wydaje się być słuszne postawienie przez Doktorantkę tezy brzmiącej:

Odpowiednio pozyskane i opracowane dane z naziemnego skaningu laserowego dostarczają kompleksowej informacji o stanie powłoki hiperboloidalnej chłodni kominowej przed jej modernizacją oraz umożliwiają weryfikację poprawności i trwałości przeprowadzonych prac remontowych.

Za cel badawczy, który ma pomóc udowodnić powyższą tezę przyjęła Doktorantka ocenę możliwości zastosowania technologii naziemnego skaningu laserowego w wyznaczaniu imperfekcji geometrycznych i uszkodzeń powierzchniowych powłok hiperboloidalnych chłodni kominowych dla potrzeb ich modernizacji. Na tej podstawie Doktorantka zmierzała również do opracowania koncepcji wykorzystania TLS w procesie modernizacji chłodni kominowych tak, by od momentu pomiaru po specjalne, algorytmiczne opracowanie pozyskanych danych dokonać obiektywnej oceny diagnostycznej obiektu.

Teza pracy skonstruowana jest prawidłowo, choć w domyśle mowa jest o kompleksowej informacji o stanie *geometrycznym* powłoki, albowiem bez specjalistycznej wiedzy budowlanej nie jesteśmy w stanie stwierdzić, czy materiał zastosowany podczas remontu jest zgodny z projektem technicznym modernizacji. Być może skaningu laserowego pozwoliłoby rozwiązać ten problem, jednak należałoby wykonać dodatkowe badania i analizy porównawcze, które wykraczają poza zakres tej dysertacji. Połączenie w tezie analiz geometrycznych kształtu z detekcją uszkodzeń powłoki jest jednak istotnym wskaźnikiem oceniającym stan konstrukcji chłodni hiperboloidalnej.

3. Charakterystyka pracy, dyskusja przyjętej metodyki i uzyskanych wyników.

Praca jest zawarta na 165 stronach i podzielona na 10. rozdziałów opisujących: problematykę modernizacji hiperboloidalnych chłodni kominowych (rozd. 2), naziemny skaning laserowy i możliwości jego zastosowania w ocenie deformacji konstrukcji oraz stanu powierzchni (rozd. 3), problematykę badawczą wraz z celem i tezą rozprawy (rozd. 4), charakterystykę obiektu badawczego (rozd. 5), metodykę pomiarów doświadczalnych (rozd. 6), procedury opracowania i weryfikowania danych pomiarowych (rozd.7), badanie geometrii powłoki chłodni hiperboloidalnej (rozd. 8), ocenę stanu powierzchni modernizowanej powłoki (rozd. 9) oraz podsumowanie i wnioski (rozd.10). W pracy zawarto 62 rysunki, 35 tabel oraz 355 pozycji literatury, 21 aktów prawnych, 6 pozycji dokumentacji technicznej oraz 5 odwołań do źródeł internetowych.

Część teoretyczna obejmuje rozdziały 1 - 3, w których na ponad 40 stronach przedstawiono podstawy teoretyczne zagadnień opisujących zadania i znaczenie modernizacji żelbetowych chłodni hiperboloidalnych, cele oceny stanu technicznego chłodni, metody diagnostyczne tej oceny. Następnie omówiono wykorzystanie TLS w zadaniach inżynierskich, w tym ocenie deformacji konstrukcji budowlanych oraz stanu powierzchni powłokowych. Autorka bardzo szczegółowo potraktowała przegląd dotychczas wykonywanych działań diagnostycznych chłodni, poczynając od nakreślenia zagrożeń związanych z brakiem działań remontowych a kończąc na ocenie geometrii konstrukcji i jej powierzchni metodami geodezyjnymi (również za pomocą skaningu laserowego). Doktorantka wykazała przy tym, że doskonale zapoznała się z aktualną wiedzą światową związaną z geodezyjnymi metodami wykonywania diagnozy takich konstrukcji, ale również dotyczącą aspektów budowlanych, w tym strategii zarządzania konstrukcją, pozwalających na utrzymanie jej właściwego stanu.

Podczas czytania części teoretycznej czuć jednak niedosyt związany z przedstawieniem podstaw matematycznych i geometrii powierzchni drugiego stopnia nazywanej hiperboloidą jednopowłokową. Równanie jej zostało co prawda omówione w rozdziale 8.3, ale jest potraktowane jako element wyjściowy do przekształcenia pozwalającego wyznaczyć trzy parametry modelu teoretycznego (a , c i z_0) konstrukcji wraz z oceną statystyczną jego wpasowania w chmurę punktów TLS.

Rozdział 4 poświęcony jest przedstawieniu i uzasadnieniu celowości zaprezentowanej tezy rozprawy. Doktorantka kładzie nacisk nie tylko na kompletność pozyskanej informacji za pomocą pomiarów skaningu laserowego (pod warunkiem odpowiednio dokładnych pomiarów referencyjnych w postaci pomiarów kątowno-liniowych), ograniczonych jak wspomniałem wyżej do części analiz geometrycznych ale również podkreśla zwiększenie obiektywności wykonywanych w ten sposób analiz, z uwagi na uwolnienie się od subiektywnej oceny uszkodzeń powierzchni wykonywanej podczas tradycyjnych inspekcji.

Kolejne rozdziały (5 i 6) poświęcone są charakterystyce obiektu testowego oraz technologii wykonanych pomiarów geodezyjnych (kątowno-liniowych i skaningu laserowego za pomocą skanera fazowego). Autorka duży nacisk położyła na aspekt dotyczący stabilności punktów referencyjnej sieci badawczej, która powinna być niezmienna w przeciągu całego procesu modernizacji, a więc pomiaru przed remontem, w serii inwentaryzacyjnej po remoncie oraz w serii kontrolnej po upływie pewnego czasu od remontu. Mimo istotności tych czynności, wydaje się być to zagadnieniem czysto inżynierskim, ale przedstawione dowody na jego poprawną realizację o odpowiednich dokładnościach pomiaru potwierdzają umiejętności zarządzania projektem badawczo-pomiarowym przez Doktorantkę. Opisany tu proces opracowania danych jest punktem wyjścia do zaprezentowanych w zasadniczej (rozd. 7.3 – 9) części dysertacji analiz oraz wniosków potwierdzających założoną tezę. Zaangażowanie Autorki w wykonywane pomiary potwierdzone jest poprzez zgłoszenie wzoru użytkowego na stalowe kule referencyjne wraz z adapterami do mocowania w różnych warunkach (nr zgłoszeń W.126075 i W.126076). Mimo poprawnie wykonanych procedur pomiarowych wskazane byłoby przeprowadzenie wcześniejszych analiz *a priori* konfiguracji sieci badawczej, pozwalających na upewnienie się, że przyjęte podczas serii pomiarowych założenia pozwolą na wykonanie badań z sukcesem. Co prawda Autorka zdaje sobie sprawę z istotności takich analiz, jednak zastosowała je tylko do zrównoważenia już pozyskanego materiału pomiarowego (czyli ustalenia wag obserwacji).

Aspekt badawczy ma jednak analiza statystyczna scalonych i wyrównanych obserwacji TLS przedmiotowego obiektu badań, która umożliwiła weryfikację wyznaczonych rozbieżności między metodami pomiarowymi (TLS vs pomiar tachymetryczny profili rozmieszczonych na obiekcie) w świetle zgodności z rozkładem normalnym niepewności pomiarowej (tzw. błędów pomiaru). Wykonane tu rozważania oparte są o rozkłady histogramów rozbieżności. Analiza ich geometrii (asymetria i kurtoza) oraz przeprowadzone testy statystyczne świadczą o umiejętnościach Doktorantki związanych z oceną materiału

badawczego. Przede wszystkim jednak potwierdziły pierwsze założenie celu badawczego, że TLS wraz z precyzyjną tachimetrią bezreflektorową jest odpowiednią metodą pozyskania danych dla utworzenia w pełni metrycznego, quasi-ciągłego modelu modernizowanej konstrukcji.

Najcenniejsze z punktu widzenia uzasadnienia tezy są rozdziały 8 oraz 9. W pierwszym z nich przedstawiono badanie geometrii hiperboloidalnej powłoki, w którym Doktorantka skupiła się na obligatoryjnym przy badaniu budowli wysmukłych wyznaczeniu odchylenia osi budowli od linii pionu. Słusznie zauważyła, że obserwacje zbioru punktów, reprezentujących zewnętrzną powłokę obiektu, nie stanowią podstaw rzetelnej interpretacji imperfekcji geometrycznych konstrukcji. Warunek zgodności z hiperboloidą jednopowłokową, stawiany jest powierzchni środkowej, co obliguje do uwzględnienia zmiennej grubości powłoki oraz dokonania redukcji pozyskanych danych, poprzedzającej określenie kształtu obiektu względem teoretycznego modelu konstrukcji.

Wyznaczenie wektora odchylenia od pionu, oparła o analizę jedenastu przekrojów poprzecznych rozłożonych wzdłuż osi pionowej budowli. Estymowane, na podstawie metody minimalizacji sumy kwadratów odchyłek, współrzędne środków tych przekrojów posłużyły do wyznaczania składowych wychylenia osi obrotu konstrukcji od linii pionu. Doktorantka wykonała również badanie kołowości tych profili. Jest to również zagadnienie opisane w literaturze (np. Noakowski). Doktorantka zastosowała metodę skojarzenia konkretnych wartości odchyłek od kołowości z poszczególnymi punktami przekrojów oraz stworzenia rozkładu hipsometrycznego tych odchyłek, z wykorzystaniem tzw. pola skalarnego, co umożliwiło szczegółową analizę imperfekcji geometrycznych oraz detekcję symptomów owalizacji powłoki, jako szczególnie niebezpiecznych anomalii geometrii analizowanej chłodni. Autorka wykorzystwała histogramy uzupełnione krzywymi gęstości rozkładów normalnych do prezentacji rozkładu liczebności wyznaczonych odchyłek od kołowości, co umożliwiło weryfikację aspektów ich dwumodalności, przyjętych jako detektor owalizacji powłoki. Dzięki takiemu podejściu wykryto owalizację niższych poziomów konstrukcji, która może świadczyć o przenoszeniu nadmiernych obciążeń wzdłuż osi wychylenia budowli. Należy podkreślić, że metoda ta jest bardzo interesującym sposobem detekcji prawdopodobnych zmian kształtu w omawianych przekrojach poprzecznych. Umożliwia również wykonanie wiarygodnych analiz na wytypowanych profilach, mimo dyskretyzacji modelu cyfrowego.

Na podkreślenie zasługują działania Doktorantki w analizie grubości powłoki. Wykonanie map różnicowych chmur punktów z „podprogową” dokładnością zostało wykonane

z odpowiednią podbudową statystyczną, która udowodniła zasadność i wiarygodność podjętych działań analitycznych. Średnią współosiowość estymowanych okręgów wewnętrznej i zewnętrznej części płaszcza żelbetowego Doktorantka wyznaczyła na około ± 2 mm, co jest potwierdzone przez zastosowanie algorytmu M3C2 (progr. Cloud Compare), uwzględniającego źródła niepewności przez uwzględnienie wpływu szumów pomiarowych oraz wiarygodności procesu orientacji. Wyniki zmiany grubości przedstawiono na mapie w projekcji na pobocznice walca, zgodnie z propozycjami przedstawionymi przez np. Gawalkiewicza

Kolejnym elementem analizy geometrii kształtu hiperboloidy poddanym analizom było określenie zgodności profilu pobocznicy z rozkładem teoretycznym. W tym celu Autorka dokonała estymacji współczynników konkretnej postaci powłoki hiperboloidy modelowej, który porównała z rozkładem uzyskanym z pomiarów TLS w postaci chmury punktów zredukowanej do powierzchni środkowej płaszcza. Pozwoliło to na wyznaczenie imperfekcji geometrycznych przedstawionych, jak wspomniano wcześniej, w postaci rozkładu hipsometrycznego w rzucie na pobocznice walca jak również w postaci wybranych przekrojów pionowych. Analizy te jednoznacznie potwierdziły deformacje newralgicznych rejonów konstrukcji, sięgających od -12 cm do +13 cm. Interesującym w ocenie danych TLS jest wykorzystanie do oceny niezmienności stanu obiektu histogramów imperfekcji z krzywymi gęstości Weibulla, z poszczególnych cykli pomiarowych. Zaproponowana ocena jest w przypadku analizy danych skaningu laserowego bardzo wydajna i pozwalająca na szybkie i obiektywne porównanie ogromnych zbiorów danych, choć Doktorantka zastrzega, że jest to tylko wstępna ocena wyników a bardziej szczegółową procedurą jest szczegółowa ocena statystyczna, którą zresztą również przedstawiła w rozprawie. Taka metoda jest przydatna w przypadku prac inwentaryzacyjnych po wykonaniu modernizacji, w celu ustalenia skuteczności przeprowadzonych działań naprawczych.

Bardzo ciekawą propozycją wykonywania badań diagnostycznych jest zaproponowana zautomatyzowana i kartometryczna detekcja uszkodzeń powierzchniowych z wykorzystaniem danych wektorowych oraz przypisanym im atrybutem intensywności odbicia światła laserowego. W ramach pierwszej grupy (pole wektorowe) Doktorantka zaproponowała (na podstawie wytypowanych pól badawczych na płaszczu chłodni) analizę statystyczną położenia każdego punktu rozrzedzonej chmury w stosunku do jego sąsiedztwa a następnie wytypowanie tzw. punktów odstających w analizie algorytmem SOR (porównanie z rozkładem średniej odległości w funkcji krotności odchylenia standardowego pomierzonych wszystkich punktów chmury). Doktorantka przeanalizowała w ten sposób lokalną krzywiznę

powierzchni reprezentowaną przez wektory do niej normalne, co umożliwiło według algorytmu przytoczonego przez np. Pauly'ego (PCA) wykorzystać je do estymacji wartości a później wektorów własnych sąsiedztwa analizowanych punktów. Kombinacja wartości własnych opisana jest wg wzoru (9.6) przez N i oznacza estymację zakrzywienia sąsiedztwa punktu p chmury. Autorka na szeregu przykładów przeanalizowała i wyznaczyła najlepszą wartość przekształcenia wartości N w zakresie transformaty pola skalarne, stosowanej do detekcji nieciągłości (w oprogramowaniu Cloud Compare) na \sqrt{N} , co podkreśliło wagę badanej cechy uszkodzenia i podniosło skuteczność analizy. Należy podkreślić, że wyznaczona optymalna wartość transformaty jest wkładem Doktorantki w przyspieszenie wykonania analiz za pomocą znanych z literatury metod filtrowania danych.

Omawiana analiza uszkodzeń jest rozszerzona ponadto o radiometryczną tzw. „czwartą współrzędną”, czyli intensywność odbicia wiązki lasera. Autorka poddała zbiór danych o intensywności odbicia operacji normalizacji, co wydobyczo analizowane różnice pomiędzy sąsiednimi punktami chmury. W analizie tej Doktorantka wykorzystowała techniki klasyfikacji obrazów, traktując atrybut intensywności jak wartość przypisaną pikselowi obrazu. Dzięki temu dokonała *analizy skupień* na podstawie tzw. właściwości spektralnych. Ustaliła, że najbardziej przydatnym algorytmem dalszej analizy będzie *Fuzzy K-Means* (wg. Mitka i in. 2016), umożliwiającym detekcję obszarów zawilgoconych i odmiennych właściwości materiałowych. Skuteczność procedury przetestowano poprzez porównanie ze zdefiniowanym polem skalarne na podstawie atrybutu intensywności odbicia. Uzyskano zbieżne wyniki podobieństwa analizowanych struktur obydwoma metodami, co potwierdziło wiarygodność rozwiązania zaproponowanego przez Doktorantkę. Pytaniem otwartym pozostaje nakład pracy potrzebny do uzyskania prawdopodobnie takiego samego wyniku, który można uzyskać oprogramowaniem weryfikującym koncepcję opartą o klasyfikację obrazów.

Rozdział 10 jest poświęcony podsumowaniu wyników badań oraz przedstawieniu wniosków. Należy podkreślić, że Doktorantka przedstawiając wszelkie analizy udowodniła przydatność zaproponowanych procedur opartych o pomiary TLS w procesie modernizacji hiperboloidalnych chłodni kominowych. W oparciu o wykonane analizy przygotowała propozycję procedury pomiarowo-analitycznej umożliwiającej diagnozę geometrycznego stanu obiektu oraz jego powierzchni bocznej. Zawarła w niej również kontrolę okresową uwzględniającą także kontrolę poprawności wykonanych prac modernizacyjnych.

Należy podkreślić, że bardzo mocną stroną dysertacji jest szerokie, prawie kompleksowe potraktowanie obiektu badań pod kątem analiz geometrycznych, uwzględniających potrzeby służb budowlanych ale również wykorzystujące najnowsze trendy badań i opracowań

geodezyjnych. Przeprowadzone analizy statystyczne podkreślają obiektywność wykonanych badań ale również pokazują biegłość Doktorantki w opracowaniu wielkich zbiorów danych.

4. Uwagi redakcyjne

Praca napisana jest w sposób przejrzysty, z odpowiednim podziałem na część teoretyczną i badawczą, choć byłoby można zmniejszyć objętość części teoretycznej a uzupełnić część badawczą i opracowania wyników o załączniki dokumentujące wykonane badania jak również prezentujące opracowane algorytmy w programie MATLAB. Prezentacja graficzna w sposób właściwy ilustruje omawiane zagadnienia, choć rysunki 9.1 do 9.4 są nieczytelne, co związane jest z procesem wydruku. Prawidłowo zastosowano powołania na bibliografię, która wydaje się aż zanadto obszerna. W pracy zdarzają się tylko nieliczne błędy edytorskie, co przy obszerności dysertacji świadczy o bardzo rzetelnym i skrupulatnym opracowaniu dysertacji. Niestety nie dołączono spisu tabel i rysunków co nieco utrudniło czytanie pracy.. Nie umniejsza to jednak jakości pracy pod względem edytorskim, którą można ocenić pozytywnie.

Pytania

1. Czy rozkład imperfekcji geometrycznych płaszcza jest zgodny z krzywą Gaussa? Jeśli tak, czy oznacza to zatem, że wartości (+) oraz (-) są ubytkami i nadwyżkami w stosunku do powierzchni płaszcza?
2. Jakie dodatkowe zalety jest związane z analizą detekcji uszkodzeń za pomocą filtrowania *Fuzzy K-Means* w stosunku do analizy pola skalarnego?
3. Czy analiza imperfekcji powierzchni była rozważana w postaci utworzenia modelu powierzchni w postaci siatki (GRID, TIN) a później modelowanie np. B-Spline, co pozwalałoby przetestować skuteczność detekcji uwzględniając proces modelowania 3D?

5. Wnioski końcowe

Podsumowując wykonany powyżej opis pracy doktorskiej mgr inż. Marii Makuch pt. „Zastosowanie naziemnego skaningu laserowego w procesie modernizacji hiperboloidalnych chłodni kominowych” stwierdzam, że praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z art.13 pkt.3 ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach

naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz 595 z późn. zm. i Dz.U. z dnia 28 kwietnia 2017, poz 859). Autorka przedstawiła w dysertacji oryginalne rozwiązanie autorskie związane z określeniem parametru transformaty pola skalarnego w filtrowaniu na \sqrt{N} , co podkreśliło wagę badanej cechy uszkodzenia w detekcji nieciągłości powierzchni bocznej chłodni i podniosło skuteczność analizy. Zaproponowała również metodę kompleksowej oceny stanu geometrycznego i powierzchni chłodni za pomocą skaningu laserowego z uwzględnieniem grubości płaszcza oraz redukcji na powierzchnię środkową. Rozprawa doktorska wykazała również ogólną wiedzę Doktorantki w dyscyplinie geodezja i kartografia. Mgr inż. Maria Makuch dowiodła również umiejętności samodzielnego wykonywania prac naukowych od momentu ich projektowania aż po przetworzenie i opracowanie danych. Z tego względu wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Marii Makuch do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Tomasz Lipiecki