

Prof. dr hab. inż. Andrzej Maślowski
Em. profesor zwyczajny
Politechnika Warszawska;
Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Warszawa, dnia 26.02.2025 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEiTK

Wpłynęło dnia 3.03.2025

Zarejestrowano pod nr 50-17-7/25

Podpis 

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aruna Kumary Yadava pt.

“Crack inspection methodology for box girders the overhead crane”

(Metodyka kontroli uszkodzeń w dźwigarach skrzynkowych suwnic pomostowych)

1. Informacja formalna.

Opinia niniejsza została przygotowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Szkoły Doktorskiej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (zawiadomienie nr 12/2025 z dnia 10.01.2025 o wyznaczeniu na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora, opierające się o uchwałę Rady Dyscypliny nr 75/2024 z dnia 9.01.2025).

2. Przedmiot rozprawy.

Należy się zgodzić z przedstawioną przez Autora pracy doktorskiej argumentacją, popartą zacytowanymi danymi statystycznymi np. z Crane Inspection & Certification Bureau CICB czy Bureau of Labour Statistics, o potrzebie analizy przyczyn uszkodzeń dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych, jak i bieżącej oceny ich stanu technicznego. W szczególności związane jest to z identyfikacją trwałych zmian w strukturze materiałów konstrukcyjnych.

Obecnie dysponujemy szeregiem metod i systemów diagnostyki stanu różnych konstrukcji, ale stale istnieje potrzeba opracowywania ich dedykowanych i innowacyjnych wersji. Dotyczy to również zapewnienia bezpieczeństwa pracy diagnostów i możliwości regularnych kontroli stanu złożonych konstrukcji. To implikuje konieczność stosowania rozwiązań zapewniających zdalną, niedestrukcyjną inspekcję uszkodzeń (tu struktury materiałowej dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych

o złożonej geometrii). I to jest przedmiotem recenzowanej rozprawy, a w szczególności opracowanie, wykonanie i badania specjalistycznej, pomiarowej (w trybie on-line) platformy mobilnej wyposażonej w czujniki magnetooporowe GMR, mogącej poruszać się po trajektorii planowanej semi-autonomicznie lub zdalnie sterowanej przez operatora.

Podsumowując powyższe, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Aruna Kumary Yadava podejmuje ważną tematykę zastosowania platformy mobilnej (robota) w badaniach destrukcji konstrukcji. Rozważany problem można uznać za aktualne zagadnienie w obszarze automatyki i robotyki, a zatem mieszczący się w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Do jego rozwiązania konieczne były studia literaturowe, rozszerzenie dotychczasowych, znanych wyników badań i aplikacji, zastosowanie innowacyjnego rozwiązania oraz przeprowadzenie szeregu eksperymentów.

3. Ocena zawartości rozprawy.

Recenzowana rozprawa doktorska napisana jest w jęz. angielskim, a jej treść została przedstawiona na 190 stronach maszynopisu, podzielonych na 7 rozdziałów, z 1 załącznikiem zawierającym streszczenia 9 publikacji, których mgr inż. Yadav jest współautorem. Spis literatury obejmuje 78 pozycji, prawie wszystkie są cytowane w pracy. Poziom edycyjny, standard językowy w zasadzie nie budzą zastrzeżeń, a stosowane nazewnictwo jest na ogół prawidłowe. Układ pracy jest podporządkowany tematowi rozprawy, jakim jest autorska metodyka kontroli uszkodzeń w dźwigarach skrzynkowych suwnic pomostowych, metodyka rozumiana tu jako zbiór: metody diagnozowania, zasad konstrukcji i projektowania elementów mechanicznych, układów elektronicznych, elektrycznych i pomiarowych, a także algorytmów i oprogramowania ruchu dedykowanego inspekcyjnego robota mobilnego.

Cel rozprawy został jasno określony – jest to zautomatyzowanie i zrobotyzowanie prac inspekcyjnych w wielkogabarytowych konstrukcjach dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych, zapewniających bezpieczeństwo personelowi diagnozującemu.

Teza pracy jest związana z procesem realizacji takiego systemu kontroli, bazującego na pomiarowym robocie mobilnym.

Pierwszym, klasycznym, etapem dowodu tezy jest przegląd i analiza tematycznych publikacji i opracowań pod kątem doboru najwłaściwszych rozwiązań z zakresu metod i procedur pomiarowych, stosowanych konstrukcji robota mobilnego, stosowanych układów napędowych, układów sterowania, planowania ruchu robota w trybie semi-autonomicznym lub zdalnie sterowanym, transmisji i wizualizacji danych pomiarowych. Ten zakres został wykonany w zasadzie prawidłowo, jednakże uważam, że jego dokumentacja w tekście pracy jest za obszerna w stosunku do oryginalnych wyników badań weryfikujących przyjętą koncepcję i projekt zrobotyzowanego systemu pomiarowego. Dotyczy to zarówno rozdz. 2 (właściwego przeglądu literatury) jak i innych. Wskazane byłoby albo tylko cytowanie źródeł albo przeniesienie większości opisów do załączników. Tu chciałbym zwrócić uwagę na istnienie jeszcze innych, nie cytowanych, projektów zrobotyzowanych systemów diagnostycznych wykorzystujących ideę przyczepności magnetycznej (np. wykonanych w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów – patrz: G. Kowalski et al, *"Spider – a mobile robot for industry"*, in *Proceedings of the 5th Workshop on European*

Drugim, istotnym, jest etap opracowania (związanego już z autorską metodyką kontroli) koncepcji i projektu oraz wykonanie zrobotyzowanego systemu pomiarowego, a w szczególności robota mobilnego (rozdz. 3 – 6) oraz przeprowadzenie, w pierwszym kroku, częściowych badań symulacyjnych i eksperymentalnych elementów systemu. Ocena ogólna tej części rozprawy jest pozytywna, ale tu też należy odnieść się do kilku kwestii. I tak, brak jest przedstawienia, w ujęciu systemowym, architektury całego systemu kontroli, co nadałoby cechę uniwersalności opracowanej koncepcji. Ale trzeba zaznaczyć, że Autor przedstawił, w kilku przypadkach, taką architekturę dla elementów systemu (np. w rozdz. 4 schemat blokowy wytworzonej platformy mobilnej i użytych komponentów - Fig. 4.1 i Fig. 4.2). Natomiast zagadnienia związane z konstrukcją robota i jego wyposażenia pomiarowego są prawidłowo przedstawione, również na tle innych stosowanych rozwiązań (przy uwzględnieniu uwagi z poprzedniego akapitu o proporcji między materiałem cytowanym a oryginalnym). Tu na wyróżnienie zasługuje zastosowanie elastycznej ramy robota, umożliwiającej jego ruch przy zmianie płaszczyzny pomiaru np. z poziomej na pionową. Pozwala to na badanie uszkodzeń struktury materiałowej konstrukcji dźwigarów o złożonej geometrii. Szkoda, że zagadnienie omijania przeszkód sprowadzono tylko do rozpatrzenia przypadku zmiany orientacji płaszczyzn pomiarowych (rozdz. 5.4). Obecnie dysponujemy w robotyce mobilnej dużym zbiorem metod nawigacji z algorytmami omijania przeszkód. Natomiast zagadnienia doboru optymalnych układów zasilania i napędu robota zostały przeprowadzone poprawnie. Należy wyróżnić też zastosowanie sprawdzonego układu sterowania Ackermanna platformami czterokołowymi (rozdz. 5.2). Obliczenia kinematyki ramy robota wraz z symulacją graficzną zostały przeprowadzone poprawnie w wymiarze podstawowym. Kolejnym autorskim rozwiązaniem jest zastosowanie kół magnetycznych o określonej geometrii, spełniających podwójną rolę - elementu układu jezdnego (wykorzystanie zjawiska przyczepności magnetycznej) oraz generującego pole magnetyczne. Jednoczesne zastosowanie sensorów matrycowych GMR, rejestrujących zmianę gęstości strumienia magnetycznego, umożliwia detekcję, w przypadku uszkodzenia elementu stalowego, zmian przewodności elektrycznej i gęstości pola magnetycznego. Podstawy zjawisk fizycznych są w tym przypadku znane, ale wartość dodana do stanu wiedzy polega tu na doborze parametrów pracy układu pomiarowego i ich symulacyjnej i eksperymentalnej weryfikacji (rozdz. 3.1, 6.4, 6.7). Dobrze dobrano materiał i geometrię kół jezdnych, zapewniając spełnienie warunku utrzymania przyczepności robota o określonych wymiarach i wadze (rozdz. 3.3). Odnośnie do zastosowanych modułów elektronicznych sterowania (Fig. 4.1) i transmisji, wraz z wizualizacją danych pomiarowych, należy stwierdzić ogólną poprawność ich doboru i oprogramowania.

Finalnie, wykonanie, co prawda w ograniczonym zakresie, badań eksperymentalnych całego systemu, weryfikujących słuszność przyjętych rozwiązań i założeń, świadczy o wykonalności procesu zautomatyzowania, w wyniku zastosowania specjalistycznego robota mobilnego i pomiarów w trybie on-line, prac inspekcyjnych dźwigarów suwnic pomostowych skrzynkowych, zwiększających ich trwałość eksploatacyjną.

Podsumowując powyższe, należy stwierdzić pozytywne przeprowadzenie dowodu tezy, postawionej w rozprawie doktorskiej.

Recenzowaną rozprawę doktorską kończą: podsumowanie, wnioski i sugestie przyszłych prac w przedmiotowym temacie, z którymi należy się zgodzić (np. montaż interfejsu czyszczącego pole pomiaru czy też zastosowanie połączonych metod GMR& MMM (Metal Memory Method)). Należy przy tym dodać, że zakres wykonanej pracy jest na technologicznym poziomie koncepcji, projektu, badań doświadczalnych i pre-prototypowych systemu kontroli uszkodzeń w dźwigarach skrzynkowych suwnic pomostowych, przy wykorzystaniu zrobotyzowanej platformy pomiarowej. Nadaje to cechę aplikacyjności pracy doktorskiej. Jest przy tym oczywiste, że uzyskanie produktu komercyjnego będzie wymagało przeprowadzenia pełnego cyklu rozwojowego, z uwzględnieniem adekwatnych nakładów finansowych.

Na zakończenie oceny zawartości rozprawy doktorskiej mogę stwierdzić, że najważniejszymi, oryginalnymi osiągnięciami Autora są:

- A. Zaprojektowanie i zbudowanie doświadczalnej zrobotyzowanej platformy mobilnej do diagnozowania uszkodzeń struktury materiałowej dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych o złożonej geometrii.
- B. Zaproponowanie i przeprowadzenie serii eksperymentów i miar ilościowych do weryfikacji elementów (choć nie wszystkich) opracowanego systemu kontroli.
- C. Przygotowanie i wstępne zbadanie szeregu komponentów dla całego systemu diagnostyki zdalnej, w tym konstrukcji pomiarowego robota mobilnego, jego układów mechanicznych, układu sterowania, elektronicznych i elektrycznych, modułów programowych jak i narzędzi prezentacji wyników pomiarów.

4. Uwagi szczegółowe.

W trakcie analizy treści rozprawy zidentyfikowano nieliczne błędy w zakresie językowym czy korekty tekstu pracy (np. literówki, czy opuszczony fragment tekstu). To jednak nie ma wpływu na ogólną pozytywną ocenę manuskryptu pracy.

Natomiast poniższe kwestie, dotyczące proponowanej metodyki kontroli, wymagałyby wyjaśnienia.

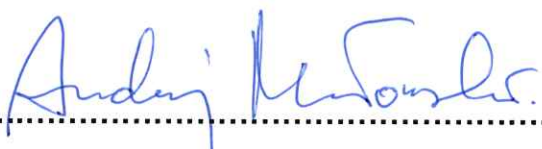
1. Czy wymóg kompatybilności elektromagnetycznej jest istotny z punktu widzenia dokładności pomiarów matrycą czujników GMR, zamontowanych tak, jak pokazuje Fig. 6.25?
2. Czy ze względu na przemysłowe warunki środowiskowe, w których znajdują się suwnice pomostowe, rozpatrywano analizę poprawności działania robota i jego elementów pomiarowych wobec zaburzeń elektromagnetycznych występujących w takim środowisku oraz czy rozpatrywano sposoby filtracji i zabezpieczeń przed zaburzeniami elektromagnetycznymi?
3. Czy rejestrowano przerwy w transmisji danych w trakcie badań w laboratorium i jak działałaby komunikacja w warunkach rzeczywistych? Co się stanie, jeżeli wystąpi przerwa w transmisji danych?
4. Czy moduł GPS pozycjonowania robota (Fig. 4.8) był użyty podczas eksperymentów pokazanych na Fig. 6.26, a jeżeli tak to w jaki sposób? Co się stanie w przypadku zakłóceń systemu GPS?

5. Czy w miarę rozładowywania się akumulatora w czasie pracy robota obserwowano pogarszające się właściwości pomiarowe czujników (np. czułość sensorów) wykorzystywanych do inspekcji uszkodzeń?
6. Czy są, a jeżeli tak to jakie, ograniczenia co do rodzaju i wielkości uszkodzeń konstrukcji suwnicy, możliwych do zdiagnozowania opracowanym pomiarowym robotem mobilnym?
7. W jaki sposób zaznaczane (rejestrowane) są miejsca uszkodzeń na konstrukcji suwnicy? Jak miejsce uszkodzenia identyfikuje się po zakończeniu inspekcji robotem?

5. Wniosek końcowy.

Wymienione uwagi i sugestie mają przede wszystkim charakter dyskusyjny i edycyjny. Nie umniejszają podstawowych cech naukowo-badawczych i aplikacyjnych recenzowanej rozprawy doktorskiej. Autor wykazał się odpowiednią wiedzą i umiejętnościami prowadzenia badań naukowych i aplikacyjnych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Zawartość przedłożonej rozprawy spełnia wymagania stawiane przez art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Aruna Kumary Yadava pt. "Crack inspection methodology for box girders the overhead crane" (Metodyka kontroli uszkodzeń w dźwigarach skrzynkowych suwnic pomostowych) do publicznej obrony.



.....

REVIEW

of the doctoral dissertation of Arun Kumar Yadav, MSc. Eng., entitled

“Crack inspection methodology for box girders the overhead crane”

(Metodyka kontroli uszkodzeń w dźwigarach skrzynkowych suwnic pomostowych)

1. Formal information.

This opinion has been prepared at the request of the Chairman of the Board for the Discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies at the Doctoral School of the AGH University of Krakow (notice No. 12/2025 of 10.01.2025 on appointment as a reviewer in the procedure for awarding the doctoral degree, based on the resolution of the Board of the Discipline No. 75/2024 of 9.01.2025).

2. Subject matter of the dissertation.

The arguments presented by the Author of the doctoral dissertation, supported by the cited statistical data, e.g. from the Crane Inspection & Certification Bureau CICB or the Bureau of Labour Statistics, regarding the need to analyse the causes of damage to box girders of overhead cranes, as well as the ongoing assessment of their technical condition, should be agreed. In particular, this is related to the identification of permanent changes in the structure of construction materials.

Currently, we have a number of methods and systems for diagnosing the condition of various structures, but there is still a need to develop their dedicated and innovative versions. This also applies to ensuring the safety of diagnosticians and the ability to check the condition of complex structures on a regular basis. This implies the need to use solutions ensuring remote, non-destructive damage inspection (in this case, the material structure of box girders of overhead cranes with complex geometry), and this is the subject of the dissertation under review, in particular the development, execution and testing of a specialised, measurement (on-line) mobile platform equipped with GMR magnetoresistance sensors, which can move along a trajectory planned semi-autonomously or remotely controlled by the operator.

Summing up the above, I conclude that the doctoral dissertation of Arun Kumar Yadav, MSc. Eng., takes up an important topic of the use of a mobile platform (robot) in the study of

structure destruction. The problem under consideration can be considered a current issue in the field of automation and robotics, and therefore falling within the discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies. In order to solve it, it was necessary to study the literature, extend the existing, known research and application results, apply an innovative solution and conduct a number of experiments.

3. Evaluation of the content of the dissertation.

The reviewed doctoral dissertation is written in English, and its content is presented on 190 typewritten pages, divided into 7 chapters, with 1 appendix containing summaries of 9 publications, of which Yadav, MSc. Eng., is a co-author. The list of literature includes 78 items, almost all of which are cited in the dissertation. The level of editing, the language standard do not raise any objections in principle, and the nomenclature used is generally correct. The layout of the dissertation is subordinated to its topic, which is the author's methodology of damage control in box girders of overhead cranes, the methodology understood here as a set of: diagnostic methods, principles of construction and design of mechanical elements, electronic, electrical, and measurement systems, as well as algorithms and software for dedicated mobile robot inspection movement.

The purpose of the dissertation has been clearly defined – it is the automation and robotisation of inspection works in large-size structures of box girders of overhead cranes, ensuring the safety of diagnostic personnel.

The thesis of the work is related to the process of implementing such a control system based on a mobile measuring robot.

The first, classic, stage of proof of the thesis is the review and analysis of thematic publications and studies in terms of selecting the most appropriate solutions in the field of measurement methods and procedures, mobile robot structures used, drive systems used, control systems, robot motion planning in semi-autonomous or remotely controlled mode, transmission and visualisation of measurement data. In principle, this scope has been performed correctly, however, I believe that its documentation in the dissertation is too extensive in relation to the original research results verifying the adopted concept and design of the robotic measurement system. This applies to both Chapter 2 (literature review) and other chapters. It would be advisable to either only cite sources or transfer most of the descriptions to the appendices. Here I would like to draw attention to the existence of other, not cited, projects of robotic diagnostic systems using the idea of magnetic adhesion (e.g. made at the Industrial Institute of Automation and Measurements – see: G. Kowalski et al, *"Spider- a mobile robot for industry"*, in *Proceedings of the 5th Workshop on European Scientific and industrial Collaboration on promoting Advanced Technologies in Manufacturing (WESIC'2007)*, Warsaw, Poland, 2007, (pp. 184-191).

The second, important stage is the development (already related to the author's control methodology) of the concept and design and the implementation of a robotic measurement system, in particular a mobile robot (Chapters 3-6) and conducting, in the first step, partial simulation and experimental tests of the components of the system. The overall assessment of this part of the dissertation is positive, but several points should also be addressed here. Thus, there is no presentation, in systemic terms, of the architecture of the entire control system, which would give a feature of universality to the developed concept. However it should be noted that the Author has presented, in several cases, such an architecture for the components of the system (e.g. in Chapter 4: block diagram of the manufactured mobile platform and the

components used – Fig. 4.1 and Fig. 4.2). On the other hand, the issues related to the construction of the robot and its measuring equipment are correctly presented, also against the background of other solutions used (taking into account the comment from the previous paragraph on the ratio between the cited and original material). Here, the use of a flexible robot frame deserves a distinction, enabling its movement when changing the measurement plane, e.g. from horizontal to vertical. This allows damage to the material structure of girders with a complex geometry to be investigated. It is unfortunate that the issue of avoiding obstacles was reduced only to considering the case of changing the orientation of the measurement planes (Chapter 5.4). Currently, we have a large set of navigation methods with obstacle avoidance algorithms in mobile robotics. On the other hand, the issues of selecting optimal power and drive systems for the robot were carried out correctly. It is also important to highlight the use of a proven Ackermann steering system for four-wheeled platforms (Chapter 5.2). The calculations of the kinematics of the robot frame together with the graphic simulation were carried out correctly in the basic dimension. Another original solution is the use of magnetic wheels with a specific geometry, fulfilling a double role – a component of the driving system (using the phenomenon of magnetic adhesion) and generating a magnetic field. Simultaneous use of GMR matrix sensors, recording the change in magnetic flux density, allows the detection of changes in electrical conductivity and magnetic field density in the event of damage to a steel component. The basics of physical phenomena are known in this case, but the value added to the state of knowledge consists in the selection of operating parameters of the measurement system and their simulation and experimental verification (Chapters 3.1, 6.4, 6.7). The material and geometry of the wheels were well selected, ensuring that the condition for maintaining the adhesion of the robot with specific dimensions and weight is met (Chapter 3.3). Regarding the applied electronic control (Fig. 4.1) and transmission modules, together with the visualisation of measurement data, it should be stated that their selection and programming are generally correct.

Finally, the performance, to a limited extent, of experimental tests of the entire system, verifying the correctness of the adopted solutions and assumptions, proves the feasibility of automating the process, as a result of the use of a specialised mobile robot and online measurements, inspection works of girders of overhead cranes, increasing their service life.

Summing up the above, it should be stated that the proof of the thesis presented in the doctoral dissertation has been positively carried out.

The doctoral dissertation under review ends with: a summary, conclusions and suggestions of future works on the subject, with which one should agree (e.g. installation of an interface cleaning the measurement field or the use of combined GMR & MMM (Metal Memory Method)). It should be added that the scope of the work performed is at the technological level of a concept, design, experimental and pre-prototype tests of the damage control system in box girders of overhead cranes, using a robotic measurement platform. This gives the feature of the applicability of the doctoral dissertation. At the same time, it is obvious that obtaining a commercial product will require a full development cycle, taking into account adequate financial outlays.

At the end of the evaluation of the content of the doctoral dissertation, I can conclude that the most important, original achievements of the Author are:

- A. Designing and building an experimental robotic mobile platform for diagnosing damage to the material structure of box girders of overhead cranes with a complex geometry.

- B. Proposing and conducting a series of experiments and quantitative measures to verify the components (although not all) of the developed control system.
- C. Preparation and preliminary examination of a number of components for the entire remote diagnostics system, including the construction of the measuring mobile robot, its mechanical systems, control system, electronic and electrical modules, as well as tools for the presentation of measurement results.

4. Detailed comments.

The content analysis of the dissertation identified few errors in terms of language or proofreading of the text of the dissertation (e.g. typos or an abandoned fragment of the text). However, this has no effect on the overall positive evaluation of the dissertation manuscript.

On the other hand, the following issues, regarding the proposed audit methodology, would require clarification.

1. Is the requirement of electromagnetic compatibility relevant from the point of view of the accuracy of measurements with the GMR sensor matrix, mounted as shown in Fig. 6.25?
2. Due to the industrial environmental conditions in which overhead cranes are located, was the analysis of the correct operation of the robot and its measuring elements against electromagnetic disturbances occurring in such an environment considered, and were methods of filtration and protection against electromagnetic disturbances considered?
3. Were interruptions in data transmission recorded during laboratory tests and how would real-world communication work? What happens if there is a data interruption?
4. Was the GPS positioning module of the robot (Fig. 4.8) used during the experiments shown in Fig. 6.26, and if so, how? What happens in the event of GPS interference?
5. As the battery discharges while the robot is running, have you observed deteriorating measuring properties of the sensors (e.g. sensor sensitivity) used to inspect for damage?
6. Are there, and if so, what are the limitations as to the type and size of damage to the crane structure, diagnosable with the developed mobile measuring robot?
7. How are the damage points on the crane structure marked (recorded)? How is the place of damage identified after the inspection using the robot?

5. Final conclusion.

The above-mentioned comments and suggestions are primarily of a discussion and editorial nature. They do not diminish the basic scientific and research and application features of the doctoral dissertation under review. The author demonstrated appropriate knowledge and skills in conducting scientific and application research in the discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies. The content of the submitted dissertation meets the requirements set out in Art. 187 of the Act of July 20, 2018 The Law on Higher Education and Science.

I request the admission of the doctoral dissertation of Arun Kumar Yadav, MSc. Eng., entitled "Crack inspection methodology for box girders the overhead crane" (Metodyka kontroli uszkodzeń w dźwigarach skrzynkowych suwnic pomostowych) to public defence.

/illegible signature/

