

Politechnika Warszawska
Warsaw University of Technology
<http://repo.pw.edu.pl>

Rodzaj dyplomu / Diploma type	Rozprawa doktorska / PhD thesis
Autor / Author	Ruszczak Małgorzata
Tytuł / Title	Oznaczanie grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową (GPR) /
Rok powstania / Year of creation	2020
Promotor / Supervisor	Garbacz Andrzej, Lejzerowicz Anna
Jednostka dyplomująca / Certifying unit	Wydział Inżynierii Lądowej / Faculty of Civil Engineering
Adres publikacji w Repozytorium URL / Publication address in Repository	http://repo.pw.edu.pl/info/phd/WUTc512dca769cf438b939e2af8d2c2910d/
Data opublikowania w Repozytorium / Deposited in Repository on	2021-05-13

WPLYNĘŁO

Recenzja rozprawy doktorskiej | 1

Dnia 10.02.2021
L. dz. IL. PW / 69 / 2021



Politechnika Wroclawska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz
10/02/2021
DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Lądowej
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

Recenzent:

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz

Wrocław, 31.01.2021 r.

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Politechniki Wroclawskiej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27

50-370 Wrocław

Tel. +48 71 320 29 00, kom. +48 608 040 183

E-mail: krzysztof.schabowicz@pwr.edu.pl

Adresat Recenzji:

Rada Naukowa Dyscypliny

Inżynieria Lądowa i Transport

Politechnika Warszawska

Al. Armii Ludowej 16

00-637 Warszawa

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr inż. Małgorzata Ruszczak

pt.: „Oznaczenie grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową (GPR)”

1. Podstawa formalna

Podstawę formalną do wykonania niniejszej recenzji stanowią:

- Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 17 listopada 2020 r.,
- Pismo Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 18 listopada 2020 r., sygnatura WTBD.521.DR.4.2020 i podpisane przez Przewodniczącego

Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej Pana dra hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni.

2. Podstawa prawna

- Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003, nr 65, poz. 595, z póź. zm.),
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669),
- Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 19 stycznia 2018 r (Dz.U. z 30.01.2018 r. poz. 261).

3. Przedmiot i opis ogólny rozprawy

Przedmiot recenzji stanowi rozprawa doktorska mgr inż. Małgorzaty Ruszczak pt.: „Oznaczenie grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową (GPR)”, a jej promotorem jest prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz, promotorem pomocniczym dr Anna Lejzerowicz.

Rozprawa została przedłożona w formie zwartego dwustronnie zadrukowanego skryptu i liczy 292 strony. Składa się ona z 14 rozdziałów. Bibliografia stanowi łącznie imponującą liczbę 224 pozycji. Praca zawiera aż 211 rysunków i 65 tablic.

Układ pracy jest czytelny i logiczny, charakterystyczny dla prac naukowych i badawczych, a sposób jej wydania w formie książkowej, moim zdaniem, jest bardzo interesujący, trafny i zasługujący na podkreślenie.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

4.1. Przedmiot, cel i tezy rozprawy

Choć nie napisano tego w rozprawie to, moim zdaniem, przedmiotem pracy są grubości warstw nawierzchni drogowych i ich oznaczenie metodą georadarową. Znajduje się wprawdzie w pracy rozdział 5.1. pt. „Wprowadzenie do oznaczania grubości warstw metodą GPR”, ale przedmiotu pracy tam nie zamieszczono. Napisano natomiast, że celem rozprawy jest udzielenie odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

- 1) Czy stałe dielektryczne oznaczone na podstawie amplitud fal odbitych od powierzchni i stałe dielektryczne oznaczone na podstawie odwiertu różnią się statystycznie istotnie?
- 2) Czy obecność niejednorodności w nawierzchniach drogowych w statystycznie istotny sposób wpływa na wartość oznaczonej grubości warstwy?
- 3) Czy stan przypowierzchniowy nawierzchni wynikający z warunków atmosferycznych w statystycznie istotny sposób wpływa na wartość oznaczonej grubości warstwy?
- 4) Czy zaawansowana analiza sygnału daje możliwość uzyskania dodatkowych informacji, które mogłyby wpłynąć na zwiększenie dokładności oznaczeń grubości warstwy metoda georadarową?

i w pełni znajduje to odzwierciedlenie w treści rozprawy.

4.2. Charakterystyka i ocena poszczególnych rozdziałów rozprawy

Układ rozprawy stanowią rozdziały poprzedzone streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz słownik ważniejszych symboli. Rozdziały od 1 do 6 zamieszczono w części teoretycznej, a rozdziały od 7 do 14 w części doświadczalnej.

Rozdział 1. Pt.: „Wprowadzenie” zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki pracy, genezę podjęcia tematu zakończoną wnioskami, z których wynika potrzeba przeprowadzenia analizy zagadnienia oznaczenia grubości warstw nawierzchni drogowych za pomocą metody georadarowej. Rozdział ten kończą cele rozprawy, nie zamieszczono jednak też ani zakresu rozprawy. Moim zdaniem cel pracy został poprawnie określony, a określenie zadania badawczego w formie pytań jest bardzo ciekawe, choć na pierwsze z nich można odpowiedzieć bez badań ponieważ nie zdefiniowano na przykład pojęcia statystycznej istotności.

Rozdział 2. pt.: „Nawierzchnie drogowe - wprowadzenie” stanowi przegląd literaturowy odnoszący się generalnie do nawierzchni podatnych, półsztywnych i sztywnych oraz podziału uszkodzeń nawierzchni drogowych z rozróżnieniem nawierzchni asfaltowych i betonowych.

Rozdział 3 stanowią „Wybrane metody nieniszczącej diagnostyki nawierzchni drogowych”. Przedstawiono w nim metody mechaniczne, w tym sklerometryczną i ugięciomierzy FWD i HWD oraz sejsmiczną. W dalszej części omówiono metody elektromagnetyczne i magnetyczne, w tym termografię podczerwoną, georadarową, prądów wirowych i radiologiczne. Przedstawiając metodę georadarową zastosowana bardzo dużą liczbę cytowań literatury, nie opisując czego dana pozycja dotyczy. Nasuwa się naturalnie pytanie czy Doktorantka zapoznała się z tymi pozycjami?

W kolejnych punktach rozdziału 3 przedstawiono metody elektrochemiczne: zmian potencjału i DiaCorr oraz akustyczne: Impact Echo, ultradźwiękową i emisji akustycznej, a także spektroskopii laserowej LIBS. Omówiono także ocenę stanu powierzchni drogi za pomocą badań wizualnych,

równości podłużnej i poprzecznej nawierzchni, a także szorstkości nawierzchni. Rozdział ten zakończono syntetycznym porównaniem metod nieniszczącej diagnostyki nawierzchni drogowych, kończąc stwierdzeniem, że najlepszym urządzeniem do pomiarów grubości nawierzchni drogowych w sposób ciągły jest georadar.

W rozdziale 4 pt. „Metoda georadarowa” przedstawiono podstawy teoretyczne metody georadarowej podając zasadę działania georadaru również w ciekawej formie graficznej, a także propagacji fal elektromagnetycznych: prędkość propagacji fal elektromagnetycznych, odbicie fal elektromagnetycznych na granicy dwóch ośrodków, tłumienie oraz częstotliwość fal elektromagnetycznych. W dalszej części rozdziału przedstawiono właściwości elektryczne i magnetyczne badanego ośrodka oraz parametry wpływające na rozpoznanie metodą georadarową, a także anteny georadarowe stosowane w diagnostyce nawierzchni. Omówiono także pomiary radarowe dróg metodą profilowania refleksyjnego, i inne metody pomiarów radarowych takie jak: georadarowy pomiar prędkości fali EM, pomiar metodą prześwietlania, pomiar metodą profilowania otworowego. Kolejno przedstawiono wizualizacje graficzną danych GPR z pomiarów nawierzchni drogowych i filtracje danych GPR.

Rozdział 5 stanowi „Oznaczenie grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową”. Przedstawiono w nim jak odbywa się oznaczenie grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową, jaka jest dokładność oznaczenia grubości i czynniki wpływające na dokładność oznaczeń grubości tych warstw.

W rozdziale 6 pt. „Zastosowanie zaawansowanej analizy sygnału w celu zwiększenia dokładności oznaczeń grubości warstw metodą GPR” omówiono zastosowanie szybkiej transformaty Fouriera FFT i analizy falkowej w badaniach georadarowych podając liczne przykłady z literatury światowej oraz parametry wykorzystania tych narzędzi.

Rozdział 7 to „Plan badań”. Przedstawiono w nim schemat szacowania grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową, a także przeprowadzonych w rozprawie analiz czynników wpływających na dokładność szacowania grubości warstw metodą georadarową. Pierwszy schemat jest w miarę czytelny, natomiast drugi niestety nie. Proszę o wyjaśnienie tego schematu. W rozdziale tym ponadto w tabelach zebrano informacje odnośnie do czynników wpływających na dokładność szacowania grubości warstw metodą georadarową analizowane na modelowych płytach betonowych, asfaltowych, na nawierzchni drogi asfaltowej o stałej i o zmiennej grubości.

Z kolei w rozdziale 8 przedstawiono „Badania GPR modelowych płyt betonowych na poligonie badawczym Politechniki Warszawskiej” przeprowadzone na czternastu płytach o wymiarach 120×80×20 cm posiadających sztucznie wprowadzone nieciągłości, a w rozdziale 9 badania GPR modelowych płyt asfaltowych na poligonie badawczym TPA przeprowadzone na pięciu trójwarstwowych płytach o wymiarach 50×50×22 cm zbudowanych z różnych mieszanek mineralno-

asfaltowych. W obydwu przypadkach przedstawiono opis wariantów pomiarowych, operacje na danych z pomiarów, przetwarzanie danych, interpretacje danych, wyniki oceny wpływu zastosowanej anteny georadarowej i stanu przypowierzchniowego nawierzchni, kończąc rozdziały dyskusją i podając wnioski dotyczące badań GPR. W podobny sposób przedstawiono w rozdziale 10 badania GPR drogi asfaltowej o stałej grubości na poligonie badawczym TPA i w rozdziale 11 badania GPR drogi asfaltowej o zmiennej grubości. Rozdziały od 8 do 11 są bardzo obszerne i wnikliwie przedstawiono w nich przeprowadzone badania, które następnie poddano dyskusji i przedstawiono wnioski z nich wynikające. Takie szerokie badania to chyba obecnie rzadkość. Niewątpliwie jest to nośna tematyka i obecnie istotna. Przedstawiony opis jest precyzyjny i wyczerpujący z punktu widzenia podjętej tematyki.

W rozdziale 12 Doktorantka zaproponowała algorytm oznaczania grubości warstw metodą GPR na podstawie pomiarów anteną sprzężoną pośrednio z podłożem oraz algorytm określenia wpływu niedogęszczeń i obecności chlorków na grubość na podstawie pomiarów anteną sprzężoną bezpośrednio z podłożem.

Rozdział 13 to wnioski, które podzielono na wnioski ogólne odnoszące się do celów rozprawy, dotyczące oznaczenia grubości warstw nawierzchni metodą georadarową.

Sformułowano także szereg istotnych wniosków szczegółowych i dodatkowych, które potwierdzają, że postawione w pracy cele badawcze zostały w pełni osiągnięte. W zakończeniu pracy podano ogólnie kierunki dalszych badań, ale ich nie sprecyzowano, a mogłoby być to przydatne autorce rozprawy w jej dalszej karierze naukowej.

Przedstawiona w rozprawie i zweryfikowana doświadczalnie tematyka jest moim zdaniem poprawna pod względem merytorycznym. Przedstawiono rozważania teoretyczne, badania własne, które efektywnie prowadzą do oznaczenia grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową. Proces rozumowania jest logiczny, a przedstawione argumenty są jak najbardziej trafne. Zaprezentowane analizy odnoszą się zarówno do literatury krajowej jak i międzynarodowej. Podjęta tematyka jak najbardziej wydaje się aktualna i potrzebna.

5. Uwagi krytyczne

Na wstępie chciałbym podkreślić, że przedstawione w niniejszym punkcie uwagi krytyczne odnośnie recenzowanej rozprawy nie obniżają jej wartości merytorycznej i jej jednoznacznie pozytywnej oceny. Zostały one podane w charakterze dyskusji i pewnego rodzaju uporządkowania przedstawionych treści z nadzieją, że mogą być przydatne i zostaną wykorzystane w trakcie opracowywania publikacji naukowych kierowanych do czasopism z tej tematyki.

Znaczną część uwag krytycznych podano już w punkcie 4.2 przy recenzowaniu poszczególnych rozdziałów. Poniżej je zebrano i usystematyzowano. I tak:

- 5.1. Praca napisana jest dobrym językiem, zarówno pod względem stylistycznym i gramatycznym, i trudno dopatrzeć się w niej błędów interpunkcyjnych i literowych. Ze względu na ich minimalną liczbę zrezygnowano z ich wskazania.
- 5.2. Tytuł rozprawy jest krótki, ale odpowiedni, szczegółowy i zawiera wszystko to co jest w rozprawie, choć wydaje się nie potrzebnym umieszczenie w nim skrótu GPR.
- 5.3. Nie napisano wprost co jest przedmiotem rozprawy.
- 5.4. W recenzowanej pracy nie wskazano tezy. Z punktu widzenia formalnego nie jest to konieczne, natomiast przy realizacji celów wskazuje na dochodzenie do sedna i meritum problemu. Co ważne ich udowodnienie wyraźnie akcentuje uzyskanie przyjętego celu i tym samym rozwiązanie zdefiniowanego zadania badawczego.
- 5.5. Zabrakło też dokładnego wyartykułowania, co jest oryginalnym osiągnięciem Doktorantki.
- 5.6. Recenzent odczuwa pewien niedosyt w prezentacji samych wyników badań przedstawionych w rozdziale 7, szczególnie na rysunku 7.2. Proszę o wyjaśnienie tego schematu.
- 5.7. Na stronie 175 ostatni wiersz rozprawy użyto określenia „gorący dzień”. Co to oznacza?
- 5.8. Na stronie 192 pierwszy akapit rozprawy podano następujące stwierdzenie: „(...) zaproponowane współczynniki korygujące dotyczą geometrii płyt asfaltowych, na których wykonano badania zasymulowanych warunków atmosferycznych i zastosowanych anten”. Proszę o wyjaśnienie tego stwierdzenia szczególnie w aspekcie „innych geometrii”.
- 5.9. Zarówno w sformułowanych celach jak i w dalszej części pracy Doktorantka używa określenia „statycznej istotności”. Proszę o wyjaśnienie co przez to Doktorantka rozumie, szczególnie jeśli formułuje wnioski, że określone wyniki są nieistotne statystycznie.
- 5.10. Proszę o wyjaśnienie dlaczego dokładność oszacowania grubości warstwy nawierzchni można poprawić na podstawie amplitud fal elektromagnetycznych za pomocą analizy falkowej?
- 5.11. Na stronie 224 ostatnie zdanie rozdziału 11.2.1 rozprawy napisano, że „(...) zastosowano współczynniki korygujące oznaczone za pomocą anteny 1,0 GHz, mimo tego, że pomiary wykonano anteną 2,0 GHz.” Skąd taki pomysł i czy rozwiązanie to jest poprawne w aspekcie informacji podanej w części teoretycznej.

- 5.12. Na stronie 227 rysunek 11.3. Czy prawidłowo oznaczono poziom zero i spód nowego pakietu warstw asfaltowych (niebieska strzałka)?
- 5.13. Brakuje w pracy wyników obliczeń. Prezentowane są bardzo obszernie i powtarzane wzory obliczeniowe (przykładowo od str. 228 wzory od 11.1 do 11.28), a brakuje wyników obliczeń.
- 5.14. Na rysunkach od 11.14 do 11.18 przedstawiono współczynniki korelacji, które wydają się bardzo niskie. Czy to jest prawidłowe rozwiązanie?
- 5.15. W rozdziale 12 przedstawiono algorytm oznaczania grubości warstw metodą GPR na podstawie pomiarów anteną sprzężoną pośrednio z podłożem oraz algorytm określenia wpływu niedogęszczeń i obecności chlorków na grubość na podstawie pomiarów anteną sprzężoną bezpośrednio z podłożem. Czy zvalidowano te algorytmy na przykładach praktycznych?
- 5.16. W rozdziale 13 podano, że istotność statystyczną błędów szacowania grubości na podstawie danych z pomiarów nawierzchni drogowej określono w oparciu o test T Studenta. Brakuje w tekście rozprawy prezentacji tych wyników.

6. Wnioski

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Małgorzaty Ruszczak pt.: „Oznaczenie grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową (GPR)”, a jej promotorem jest prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz, promotorem pomocniczym dr Anna Lejzerowicz stanowi rozwiązanie oryginalnego zadania naukowego dotyczącego oznaczenia grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową.

Uważam, że przedstawiony w rozprawie cel został osiągnięty, a na postawione pytania badawcze uzyskano odpowiedzi.

Należy zauważyć, że Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy naukowej i technicznej w zakresie prezentowanej tematyki, która podejmowana jest od pewnego czasu na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Świadczy to o dojrzałości naukowej Doktorantki, a przede wszystkim o jakości szkoły z jakiej się wywodzi. Niewątpliwie wpłynęło to korzystanie na całość pracy i dało możliwość nauczenia się programowania i prowadzenia badań naukowych i doświadczalnych. W tym względzie wykonano szeroki zakres badań, które poszerzyły istniejącą bazę wiedzy. Na tej podstawie dokonano krytycznej analizy otrzymanych rezultatów, przeanalizowano je i opracowano poprawne wnioski. Jednoznacznie świadczy to o bardzo dobrym przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia prac naukowych

i badawczych. Rozprawa wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport, ma znaczenie naukowe i praktyczne.

7. Sentencja Recenzji

Moim zdaniem recenzowana rozprawa mgr inż. Małgorzaty Ruszczak pt.: „Oznaczenie grubości warstw nawierzchni drogowych metodą georadarową (GPR **spełnia wymogi stawiane w Ustawie** z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669) i z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003, nr 65, poz. 595, z póź. zm.) **oraz w Rozporządzeniu** Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 19 stycznia 2018 r (Dz.U. z 30.01.2018 r. poz. 261). – **i dlatego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Z poważaniem,



Prof. hab. inż. Krzysztof Schabowicz