

*Recenzja spełnia wymogi formale*

Przewodniczący Rady Dyscypliny  
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

dr hab. inż. Marcin Staniek, prof. PŚ  
Katowice, 26.06.2023 r.

dr hab. inż. Andrzej Kowalski, prof. GIG  
Główny Instytut Górnictwa  
Katowice

**R e c e n z j a**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Kaluży na temat**  
**„Badania i analizy nawierzchni poddanych oddziaływaniom górniczym”**

**1. Wstęp**

Recenzję opracowałem na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport na Politechnice Śląskiej z dnia 27.04.2023r. i Umowy z dnia 15.05.2023 L.dz. 1559/UMC/RB0-3/2023.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Joanna BZÓWKA, promotorem pomocniczym dr inż. M. KOTASIŃSKI.

Recenzent podjął się wykonania recenzji odpowiadając na postawione Umowy w szczególności § 2 pkt 5 w którym określono zasady wykonywania recenzji.

Recenzent jest specjalistą według starej klasyfikacji w dyscyplinie naukowej Górnictwo i Geologia Inżynierska, a nowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Zawodowo zajmuje się problematyką prognozowania i pomiaru deformacji powierzchni oraz ich wpływu na obiekty budowlane, w tym także drogi.

Ponadto wiedzę na temat geotechniki, jej wpływu na deformacje powierzchni, pozyskał głównie z bezpośredniej współpracy z prof. dr hab. Jerzym Kwiatkiem, autorem książek z 1997r. 2007r. (pozycje cytowane przez doktoranta).

Z tego też względu w recenzji odniósł się głównie do aspektów górniczych, to jest oddziaływania deformacji górniczych na nawierzchnię drogową

**2. Podstawowe informacje o mgr inż. Mateuszu Kaluży**

Mgr inż. Mateusz Kaluża jest absolwentem Politechniki Śląskiej na Wydziale Budownictwa. Studia inżynierskie ukończył w 2014r., a magisterskie w 2016r. Temat pracy magisterskiej „Analiza nakładów rzeczowych w kosztorysowaniu robót drogowych.

Aktualnie prowadzi firmę drogową CERTIGOS ENGINEERING. Zajmuje się nadzorowaniem inwestycji, sporządzaniem i weryfikacją dokumentacji projektowych służących realizacji inwestycji publicznych. Sporządza ekspertyzy z zakresu rozwiązań drogowych. Zarządza firmą zgodnie z obowiązującym porządkiem prawnym. Autor i współautor ponad 80 projektów budów przebudów oraz rozbudów dróg publicznych. Jest autorem publikacji na konferencji na VSB w Ostrawie w języku angielskim w 2019r.

**3. Informacje i analiza rozprawy doktorskiej**

**Tytuł rozprawy** jest sformułowany jednoznacznie choć bardzo ogólnie, gdyż rozprawa dotyczy niewielkiego wycinku problemu badawczego którym jest badanie wzmocnienia nawierzchni drogowej pojedynczą przekładką geosyntetyczną, konkretnie wpływ wzmocnienia siatką z włókna szklanego na nawierzchnię z betonu asfaltowego. Jest to

Wpłynęło dnia 4.07.2023 r.

podstawowy problem badawczy rozprawy, którego celem jest stwierdzenie, że to wzmocnienie poprawi nośność i czas użytkowania nawierzchni drogowej.

**Ocena układu rozprawy** w tym o jej poszczególnych częściach.

Rozdział 1- Wstęp, który zawiera przedmiot rozprawy, jest nim ocena wzmocniania nawierzchni drogowej siatką z włókna szklanego w spodzie warstw z betonu asfaltowego na terenach górniczych, w szczególności odpowiedź na pytanie, czy wzmocnienie nawierzchni drogowej pojedynczą przekładką geosyntetyczną poprawi nośność i czas użytkowania nawierzchni. Zamieszczone zostały cele cząstkowe, na których odpowiedź daje odpowiedź na problem badawczy. Ponadto przedstawiono zakres pracy.

Rozdział 2 –obejmuje podstawowe informacje o deformacjach na terenach górniczych i ich oddziaływania na drogi.

Rozdziały 3 i 4 opisują charakterystyki nawierzchni drogowych i geosyntetyków stosowanych w budownictwie dróg.

Rozdział 5 zawiera opis i interpretacje badań laboratoryjnych prowadzonych przez promotora pomocniczego na aparacie wielkowymiarowym prof. A. Rosikonina.

Rozdział 6 jest zasadniczym i podstawowym w pracy doktorskiej mgr inż. M. Kałuży gdyż obejmuje badania i analizy przeprowadzone na poligonach badawczych z którego wynikają wnioski rozprawy doktorskiej.

Rozdział 7 zawiera wnioski i zalecenia do dalszych badań.

W odpowiedzi na pytanie, czy układ rozprawy jest właściwy, można odpowiedzieć pozytywnie, choć recenzent oczekiwałby jednoznacznego wykazania stanu wiedzy w problemie badawczym i wykazanie luki badawczej którą wypełnił.

**Ocena zastosowanego piśmiennictwa.** Doktorant jest specjalistą budowlanym konkretnie zajmuje się budownictwem drogowym, z kolei recenzent „patrzy” na rozprawę jako ekspert górniczy. Z tego powodu zauważa pewne usterki w nazewnictwie zarówno w tekście jak i na rysunkach. Przykładowo:

Str. 12 w 6 od góry, należy rozróżniać pojęcia osiadania i obniżenia.

Str. Rys. 2.2.  $w_{max}$  – nie jest obniżeniem całkowitym, a maksymalnym, definicja obniżenia maksymalnego jest podana wzorem (2.9) i jest przedstawione graficznie na rys. 2.8.

Str. 13 wzór (2.5) w ochronie terenów górniczych dynamikę procesu deformacji określa się pochodnymi wskaźników deformacji, najprościej obniżania się powierzchni, którym jest prędkość obniżen.

Str. 13 w. 10 od dołu, cytuję „teren leżący pod eksploatowanym polem obniża się” ???

Str. 13 ostatni akapit, według recenzenta nie zawsze wpływy ustalone są większe o wpływów nieustalonych.

Rys. od 2.2 do 2.8 na których oznaczenia zmiennych powinny być opisane pismem pochyłym.

Str. 18, w 6 od góry. Proponuje się i tak używa się w ochronie terenów górniczych pojęcia przemieszczenia poziome a nie przesunięcia.

Str. 18, w.7 od dołu. Określenie „postęp wydobywania” nie jest poprawne, używać należy prędkość frontu ścianowego.

Str. 21 w.4 od góry, podane wartości współczynników eksploatacyjnych są historyczne, bowiem są cytowane za Żak i Chlipalskim i są z 1988r.

Str. 21 w.7 od góry, o znaczeniu w ochronie obiektów budowlanych na terenach górniczych nie decyduje  $w_{max}$  a obniżenie a właściwie jego zmiana czyli nachylenie.

Str. 24. Brakuje komentarza do rys. 3.1, dla recenzenta jest niezrozumiały. Dla lepszego zrozumienia dla górnika dobrze byłoby na wstępie podać klasyfikację dróg

Str. 35, w.11 od góry. Proszę o komentarz do oddziaływa szkliwości deformacji do II kategorii terenu górniczego

Str.38. Zamieszczony w oznaczeniach do wzorów (3.15 – 3.22) współczynnik eksploatacyjny  $a$  nie jest wykorzystywany. W ochronie terenów górnich (dawniej nazywano ten zakres wiedzy szkodami górnich) deformacje można generalnie podzielić na: małe (I i II kategoria terenów górnich), duże III i IV kategoria oraz bardzo duże > IV kategorii.

Str. 44-56. Rozdział 4 jest klasycznym sprawozdaniem o wykorzystaniu geosyntetyków w budownictwie drogowym.

Str. 56 – 67. Rozdział 5, jest opisem wyników badań promotora pomocniczego, na urządzeniu zbudowanym przez prof. A. Rosikon. Bardzo ciekawy, choć wnioski jakie z niego wynikają znajdują wcześniej wyraz w badaniach prof. J. Kwiatka (Kwiatek 2007). Szkoda, że Autor tego nie zauważył.

Rozdział 6, zawierający 82 strony na 153 strony tekstu bez spisu literatury, rysunków i tablic, jest podstawowym rozdziałem rozprawy i zasługuje na szczegółową i pogłębioną analizę i ocenę.

**Ostatnia część pracy Wnioski oraz zalecenia** są klarowne i dobrze oddają zawartość rozprawy, mają aspekty naukowe, są poznawcze (sposób dokumentowania wyników i metoda badań) oraz mogą być stosowane w praktyce. Stwierdzam też, że zostało wykazane że wzmacnianie nawierzchni drogowej siatką z włókna szklanego w spodzie warstw z betonu asfaltowego na terenach górnich, w szczególności wzmocnienie nawierzchni drogowej pojedynczą przekładką geosyntetyczną poprawi nośność i czas użytkowania nawierzchni.

#### 4. Szczegółowa analiza i ocena rozdziału 6

##### 4.1. Zakres rozdziału

W punkcie 6.1 doktorant przedstawia metodykę badań ugięć sprężystych nawierzchni, w punkcie 6.2 przedstawia opis poligonów badawczych A i B, a w punkcie 6.3 opisuje wyniki badań i analiz na poligonie badawczym. W ostatnim punkcie 6.4 zamieszcza podsumowanie z przeprowadzonych badań i analiz.

Treść rozdziału 6.1 powinna być bardziej zwięzła, ograniczona tylko do aktualnej wiedzy w zakresie pomiaru ugięć nawierzchni i powinna stanowić wprowadzenie do rezultatów pomiaru ugięć nawierzchni. Autor w rozdziale konkluduje, że „w przypadku pomiarów belką Benkelmana, czy też FWD, pomiaru dokonujemy zgodnie z ogólnie przyjętymi wytycznymi, opracowanymi między innymi przez IBDiM” nasuwa się zatem kolejne pytanie, **czy tylko te dwie metody są stosowane w krajowych badaniach nawierzchni?** Jeśli tak, to za wystarczającą charakterystykę należałoby uznać, tę odnoszącą się do pomiarów belką Benkelmana i ugięciomierzem FWD. Gdyby zaś celem pracy była analiza metod pomiaru ugięć nawierzchni, wówczas szczegółowy opis innych metod miałby swoje uzasadnienie. Za uzasadnione należy uznać wprowadzenie na początku rozdziału 6, dodatkowego punktu przedstawiającego plan badań i analiz.

## 4.2. Charakterystyka rozdziału

### *Punkt 6.1. Charakterystyka badania ugięcia sprężystego nawierzchni drogowej*

W punkcie tym, doktorant przedstawił różne metody pomiaru ugięć nawierzchni, w tym nawiązując do historycznych doświadczeń poczynając od lat 50 – tych XX wieku. Charakterystyka metod wydaje się nadbyt szczegółowa, zwłaszcza w kontekście przywołanej zależności na ugięcie nawierzchni  $U_{obl}$  według zależności (6.1) ze strony 68. Nasuwa się pytanie, **czy zależność z roku 1968, była wykorzystana niniejszej pracy do analizy wyników?** W podsumowaniu tego punktu, autor konkluduje, że: (...) „*W niniejszej rozprawie dokonano identyfikacji modułów sztywności warstw konstrukcji oraz pomiaru ugięć na podstawie badania FWD. W celu rozpoznania podłoża gruntowego oraz warstw niezwiązanych w konstrukcji jezdni wykonano odwierty geotechniczne wraz z wstępnym określeniem parametrów gruntu oraz badanie CBR.*” – ten fragment przedstawia niejako zakres badań terenowych, przynajmniej jego część (w kolejnych punktach tego rozdziału przedstawiona jest jeszcze wizualna ocena nawierzchni). Wydaje się za uzasadnione, aby doktorant zastanowił się nad wprowadzeniem (w przyszłości, w podobnych pracach) dodatkowego punktu w rozdziale 6, opisującym plan badań, analizy wyników i ich uzasadnienie (cel). Taka charakterystyka, porządkowała by opisywane treści i przyczyniła się do większej przejrzystości pracy.

### *Punkt 6.2. Opis poligonów badawczych*

Doktorant scharakteryzował dwa poligony badawcze: „A” i „B” wraz z informacjami o wpływach eksploatacji górniczej odnoszących się do okresu z przed i w trakcie prowadzonych obserwacji. Dane o deformacjach terenu zostały opracowane przez zakład górniczy.

Za kluczową informację dotyczącą dalszych analiz, należy uznać zastosowanie na poligonie A, na spodzie warstw asfaltowych geosiatki tylko na jednym pasie ruchu. Na drugim pasie ruchu został wymieniony pakiet asfaltowy, ale bez zastosowania geosiatki. Ze względu na cel pracy, taki wybór odcinka drogi należy ocenić jako właściwy, ponieważ pozwala na bezpośrednie porównanie występujących obok siebie nawierzchni drogowych. Na podstawie przedstawionej charakterystyki warunków górniczych, należy stwierdzić, że wpływy eksploatacji górniczej w obu lokalizacjach ujawniły się przed rozpoczęciem badań oraz, że wpływy te, należy określić jako stosunkowo łagodne (I kategoria terenu górniczego).

Do opisu można sformułować uwagę, dotyczącą braku kilometraża na rysunkach 6.4 i 6.5, pomimo, że w treści doktorant odwołuje się do rysunku 6.5 i do odcinka „pierwszych 100 m” – niestety nie wiadomo, od której strony rozpoczyna się ów pierwsze 100 m. W punkcie tym, została również przedstawiona charakterystyka geokompozytu zastosowanego do wzmocnienia pakietu mineralno – asfaltowego.

### *Punkt 6.3. Wyniki badań i analiz na poligonie badawczym*

W punkcie tym zostały przedstawione wyniki badań:

- 6.3.1 – Rozpoznanie układu warstw podłoża oraz nawierzchni bitumicznej,
- 6.3.2 – Analiza ruchu,
- 6.3.3 – Badania CBR,

6.3.4 – Analiza stanu spękań,

6.3.5 – Analiza ugięć, obliczenia odwrotne oraz wskaźniki krzywizny czaszy ugięć

Wyniki badań wskazują, że obserwacje były prowadzone na poligonie A. Na poligonie B, wykonano tylko jeden pomiar ugięć i nie wykonano żadnej analizy danych. W związku z tym, opis poligonu B, mógłby być pominięty w pracy.

Z przedstawionych wyników rozpoznania budowy nawierzchni poligonu A, wynika, że układ warstw jest niejednorodny i przede wszystkim różni się m.in. pod względem grubości warstw asfaltowych, co niestety w pewnym zakresie może skomplikować wyciągnięcie jednoznacznych wniosków.

Za bardzo trafny pomysł należy uznać inwentaryzację uszkodzeń nawierzchni (punkt 6.3.4) zgodnie z dokumentem Diagnostyka Stanu Nawierzchni. Wyznaczenie wskaźników spękań dla obu pasów ruchu, tj. wzmocnionego i bez wzmocnienia pozwoliła na bezpośrednią ocenę wpływu wzmocnienia geosiatką na rozwój uszkodzeń w warstwach asfaltowych. Ocena ta, dotyczy skuteczności wzmocnienia warstw asfaltowych w okresie od roku 2008 (wykonanie remontu nawierzchni) do roku 2019 (rozpoczęcie obserwacji na poligonie). W okresie tym prowadzona eksploatacja górnicza spowodowała obniżenia terenu około 15 cm i poziome odkształcenia średnio 0.6 mm/m (I kategoria terenu górniczego). Z wykresu wskaźników spękań według rysunku 6.15 wynika, że wzmocniony pakiet warstw asfaltowych cechuje się wyższą wartością wskaźnika spękań, czyli mniejszymi uszkodzeniami, co jednoznacznie wskazuje, na skuteczność wzmocnienia warstw asfaltowych geosiatką. Należy jednak przypomnieć, że obserwowane pasy ruchu cechuje zróżnicowana grubość warstw asfaltowych, w związku z tym nasuwa się pytanie, **w jakim zakresie zróżnicowana grubość warstw asfaltowych, mogła wpłynąć na wyznaczone wskaźniki spękań i czy doktorant szukał związku pomiędzy zakresem uszkodzeń, a grubością warstw asfaltowych?**

Najobszerniejszy zakres analizy dotyczy wyników pomiaru ugięć nawierzchni ugięciomierzem FWD (punkt 6.3.5). Doktorant przedstawił analizę wyników dotyczącą: (1) oceny wskaźników wykorzystujących maksymalne przemieszczenia jak również tylko w wybranych odległościach względem osi obciążenia (np. wskaźnik ugięć, wskaźnik BLI/SCI), (2) obliczonych modułów warstw modelu nawierzchni, (3) porównania obliczonych modułów z wybranymi wskaźnikami krzywizny czaszy ugięć, (4) obliczenia trwałości zmęczeniowej nawierzchni na przyjętych wcześniej odcinkach obliczeniowych, to jest. 1, 2 i 3, przy wykorzystaniu wcześniej obliczonych modułów warstw modelu nawierzchni, (5) oszacowania modułów warstw nawierzchni dla okresu poprzedzającego rozpoczęcie obserwacji terenowych.

W wyżej wymienionych analizach za najistotniejszą wydaje się analiza trwałości zmęczeniowej (tabela 6.27 lub tabela 6.28), prowadząca do wniosku, że spadek trwałości nawierzchni jest mniejszy na pasie warstw asfaltowych wzmocnionych geosiatką niż na pasie niewzmocnionym. Jest to bardzo ważny wniosek wskazujący na prawdopodobny pozytywny wpływ geosiatki na cechy nawierzchni. Wniosek ten, potwierdza również wartość wcześniej przywołanego wskaźnika spękań, który korzystniejsz kształtuje się na pasie wzmocnionym. Jednak uwagę zwraca fakt, że porównując moduły pakietu mineralno – asfaltowego (tabela 6.28) pomiędzy rokiem 2019, a 2021 ulegają większej redukcji na pasie wzmocnionym (odcinek 2 i 3), niż na pasach niewzmocnionych. **Czy zatem, o większej trwałości**

nawierzchni na pasie wzmocnionym geosiatką w warstwach asfaltowych, decyduje ów geosiatka, czy sztywność pozostałych warstw nawierzchni?

## **5. Ocena celu rozprawy, metod badawczych uzyskanych wyników**

Rozprawa doktorska dotyczy zagadnienia związanego z współdziałaniem nawierzchni drogi z deformującym się podłożem gruntowym na terenach górniczych. Uważam że spełnione zostały wymogi ustawy dotyczącej rozwiązania problemu naukowego oraz że Doktorant posiada wiedzę teoretyczną w zakresie pomiarów deformacji drogi na terenach górniczych, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Reasumując Doktorant podjął się ciekawych badań, co świadczy o Jego wiedzy teoretycznej z zakresu budowy dróg górnictwa na terenach górniczych, a także umiejętności prowadzenia pracy naukowej.

Problemem naukowym, który rozwiązał Doktorant było wykazanie, że wzmocnienie nawierzchni drogowej pojedynczą przekładką geosyntetyczną poprawi nośność i czas użytkowania nawierzchni. Do tego celu wykonał stosowne badania na dwóch poligonach i przeprowadził analizę ich wyników.

Dobór cytowanej literatury uznaję za prawidłowy, omawiając stan wiedzy Autor wykorzystał głównie wyniki wcześniej prowadzonych badań na Wydziale Budownictwa.

Zaletami pracy są:

1. Wykazanie, że zastosowanie siatek z włókna szklanego w przypadku oddziaływania małych deformacji (I kategoria terenu górniczego) nie chroni konstrukcji nawierzchni przed negatywnymi wpływami deformacji.
2. Siatki z włókna szklanego pozwalają na sprężystą pracę wierzchniej warstwy po wyczerpaniu projektowanej trwałości zmęczeniowej nawierzchni.
3. Wykazanie na potrzebę dalszych badań terenowych w aspekcie wpływu grubości poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni drogowej na wskaźniki krzywizny czasy ugięć.
4. Zależności między modułami sprężystości warstw nawierzchni a wskaźnikami czasy ugięć mogą zostać wykorzystane do szacowania wartości tych modułów na potrzebę obliczeń odwrotnych.
5. Bardzo dobre udokumentowane zostały wyniki badań, odpowiedni tekst i staranna część graficzna, rysunki (głównie rozdział 6).

Do dyskusji podnoszę uwagi i kwestie zamieszczone w rozdziale 3 recenzji. Ponadto uwaga, czy tytuł pracy nie powinien uwzględniać jaką nawierzchnię badamy? Drogową.

Przedstawiona rozprawa doktorska spełnia wymagania ustawowe. Pracując na Politechnice Śląskiej, a pisząc pracę pod kierunkiem prof. J. Bzówki a także z pomocą promotora pomocniczego dr inż. M. Kotasińskiego doktorant przedstawił rozprawę stanowiącą krok w kierunku poprawy oceny zagrożenia dróg na terenach górniczych.

Rozwój techniki obliczeniowej, metod numerycznych, sieci neuronowych powoduje, że celowym jest prowadzenie poszukiwań naukowych w tych kierunkach, które mogą zaowocować skokiem jakościowym w rozwoju metod oceny zagrożenia dróg na terenach górniczych. Problem polega na tym, aby poszukiwania odzwierciedlały warunki rzeczywiste



i były na nich sprawdzane. Wiedza o szkodach górniczych bazuje głównie na obserwacjach i badaniach terenowych.

Pod względem edytorskim praca jest udokumentowana i wykonana bardzo starannie. Reasumując, Doktorant przedstawił w rozprawie doktorskiej rozwiązanie problemu naukowego w sposób zgodny ze współczesną wiedzą i ze współczesnymi możliwościami technicznymi prowadzenia badań. Wykazał się znajomością problematyki deformacji dróg na terenach górniczych oraz umiejętności rozwiązywania problemów badawczych. Rozprawa stanowi rozwiązanie postawionego przez Doktoranta zagadnienia naukowego i wykazuje Jego wiedzę w zakresie będącym przedmiotem rozprawy.

#### **4..Konkluzja**

Po szczegółowej analizie rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Kałuży pt. „Badania i analizy nawierzchni poddanych oddziaływaniom górniczym” stwierdzam, że spełnia wymagania Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018r. (Dz. U. z 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami) oraz że rozprawę można dopuścić do publicznej obrony.



