

Prof. dr hab. inż. Antoni Szydło  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechniki Wrocławskiej  
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław  
e-mail: [antoni.szydlo@pwr.wroc.pl](mailto:antoni.szydlo@pwr.wroc.pl)

Wrocław, 2023-08-09

### **Recenzja**

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Kałuży pt: **”Badania i analizy nawierzchni poddanych oddziaływaniom górniczym”**.

#### **1. Uwagi formalne**

Recenzja rozprawy została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 27 kwietnia 2023 roku oraz pisma zlecającego nr RDILT.512.5.2023 z dnia 12.05.2023 r. podpisanego przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport dr hab. inż. Marcina Stańka, prof. P.Śl.

Promotorem rozprawy jest: prof. dr hab. inż. Joanna Bzówka,

Promotorem pomocniczym: Dr inż. Mirosław Kotasiński.

#### **2. Tematyka rozprawy**

Tematyka rozprawy dotyczy zagadnień związanych z badaniami i oceną nośności konstrukcji nawierzchni drogowych oraz podłoża poddanych działaniom szkód górniczych. Jest to tematyka ważna, ponieważ dotyczy problemów utrzymania infrastruktury transportowej w tym przypadku drogowej na terenach poddanych eksploatacji górniczej. Praca ma charakter aplikacyjny i jest umiejscowiona w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport. Cel pracy określony jest jednoznacznie. Celem pracy jest odpowiedź na pytanie czy wzmacnianie nawierzchni drogowych siatką z włókna szklanego (dalej geosyntetykiem) na spodzie warstw z betonu asfaltowego na terenie występowania oddziaływań górniczych może być rozwiązaniem efektywnym? Dla zrealizowania celu pracy Doktorat wykonał szereg badań in situ na eksploatowanych nawierzchniach drogowych poddanych wpływom eksploatacji górniczej oraz wykorzystał badania na

wielkowymiarowym modelu w laboratorium. Są to zagadnienia, które są studiowane w instytutach badawczych w kraju i za granicą na elementach infrastruktury transportowej zlokalizowanych na terenach poddanych eksploatacji górniczej. Temat pracy moim zdaniem został określony trafnie. Tym bardziej, że w Polsce, zwłaszcza w aglomeracji, gdzie zlokalizowana jest jednostka badawcza z której pochodzi Doktorant, znajduje się bardzo obszerna sieć drogową której utrzymanie nastręcza znaczne problemy Zarządzającym tą siecią. Doktorat w swojej rozprawie zajmuje się głównie drogami samorządowymi, których sieć na terenie aglomeracji śląskiej jest bardzo gęsta.

### **3. Treść i zakres rozprawy**

Praca składa się z 7 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, spisu literatury oraz spisu rysunków i tablic używanych w pracy. Praca liczy w sumie 166 stron formatu A4. W pracy zestawiono spis wykorzystywanej literatury, zawierający 146 pozycji w skład których wchodzi artykuły, normy, katalogi, wytyczne oraz strony internetowe.

W rozdziale 1, wstępie, Doktorant naświetlił genezę powstania pracy, cel i zakres pracy. Zasadniczym celem pracy są:

- badania i analizy dotyczące efektu stosowania wzmocnienia w spodzie warstw z betonu asfaltowego,
- ocena wpływu oddziaływań górniczych na skuteczność wzmocnień geosyntetycznych w zależności od ich lokalizacji w konstrukcji nawierzchni,
- badania wpływu geosyntetyku na wartości wskaźników spękań nawierzchni, ugięć oraz parametrów krzywizny czaszy ugięć,
- analiza trwałości zmęczeniowej nawierzchni niewzmocnionej oraz wzmocnionej siatką z włókna szklanego,
- określenie wpływu oddziaływań górniczych na wartości modułów warstw nawierzchni drogowych.

W rozdziale 2 przedstawił wpływy eksploatacji górniczej na obiekty infrastruktury transportowej, głównie drogi. Pokazał mechanizm odkształcenia podłoża gruntowego wskutek eksploatacji górniczej oraz scharakteryzował najważniejsze parametry odkształcającego się podłoża.

W rozdziale 3 Doktorant przedstawił klasyfikację nawierzchni drogowych, metody projektowania, oceny trwałości zmęczeniowej oraz sposoby uwzględniania szkód górniczych w metodach wymiarowania oraz geosyntetyków.

W rozdziale 4 Doktorant przedstawił klasyfikację, charakterystykę i rodzaje geosyntetyków stosowanych w budownictwie drogowym. Scharakteryzował metody wymiarowania uwzględniające stosowanie geosyntetyków.

W rozdziale 5 przedstawił wyniki badań laboratoryjnych współczynnika rozporu bocznego gruntu piaszczystego w związku z oddziaływaniem eksploatacji górniczej. Badania zostały wykonane przez Kotasińskiego (2004) w aparacie wielkowymiarowym prof. Rosikonina (Rosikoń 1979). Badania wykonano w gruncie niezbrojonym oraz zbrojonym geosyntetykiem. W aparacie wymuszano odkształcenie podłoża górniczego i rejestrowano zmianę naprężeń w gruncie niezbrojonym i zbrojonym a w konsekwencji obliczano współczynnik rozporu bocznego gruntu. Badania wykazały, że w gruncie niezbrojonym przekroczenie stanu równowagi granicznej występuje przy odkształceniach 2-3 mm/m. Przy zastosowaniu geosyntetyku w gruncie stan równowagi granicznej otrzymywano przy odkształceniach 5-6 mm/m. Stąd wniosek o wpływie pozytywnym geosyntetyku na nośność gruntu w związku z oddziaływaniem szkód górniczych.

W rozdziale 6 Doktorant przedstawił wyniki badań *in situ* nawierzchni drogowej na dwóch poligonach badawczych zlokalizowanych na drogach podlegających wpływom eksploatacji górniczej. Na poligonie badawczym A w roku 2008 przeprowadzono przebudowę nawierzchni polegającą na sfrezowaniu warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych i wbudowano nowe warstwy: ścierealną, wiążącą oraz wyrównawczą. Długość odcinka badawczego wynosiła ok. 400 m. Na połowie jezdni, szer. 6 m pod warstwami z mma ułożono siatkę geosyntetyku z włókna szklanego. Na drugiej połowie jezdni nie ułożono geosyntetyku. W latach 2019 i 2021 Doktorant przeprowadził inwentaryzację spękań oraz wykonał pomiary ugięć za pomocą ugięciomierza FWD oraz identyfikację podłoża gruntowego. Pomiary były wykonywane na pasie z ułożonym geosyntetykiem i pasie na którym brak było geosyntetyku. Na tym odcinku badawczym Doktorant wykonał analizę ruchu i obliczył sumaryczną liczbę osi obliczeniowych. Określił miarodajny wskaźnik spękań wg algorytmu DSN. Następnie wykorzystując pomiary ugięć określił: miarodajny wskaźnik ugięć, promień krzywizny czaszy ugięć (RoC), wskaźnik krzywizny powierzchni (SCI), wskaźnik krzywizny podbudowy (BCI), wskaźnik uszkodzenia podbudowy (BDI), moduły warstw z mma, podbudowy oraz podłoża. Korzystając z niektórych danych oszacował trwałość zmęczeniową mieszanek mineralno-asfaltowych wbudowanych w nawierzchnię dla przypadku wbudowanego geosyntetyku lub jego braku. W rozdziale Doktorant analizował zależności modułów warstw od w/w wskaźników oraz przyrównywał otrzymane wskaźniki do dopuszczalnych wg ustaleń systemu DSN funkcjonującego w GDDKiA. Nie dla

wszystkich odcinków Doktorant otrzymał jednoznaczne odpowiedzi, że warstwa mma wzmocniona geosyntetykiem posiada większą trwałość zmęczeniową lub spełnia wymagania systemu DSN.

Drugi poligon badawczy zwany B którym zajął się Doktorant był odcinkiem drogi długości ok. 1200 m na którym zastosowano podobną technologię przebudowy jak na odcinku A z tą różnicą, że geosyntetyk ułożono na całej szerokości jezdni tj. 6 m. Odcinek wybudowano w 2019 roku. Na tym odcinku w 2021 roku Doktorant wykonał badania podobne jak na odcinku A. Badania te wg Doktoranta mają w przyszłości dać bazę porównawczą do dalszych badań i analiz oraz obserwacji tego odcinka zlokalizowanego podobnie jak odcinek A w obszarze szkód górniczych.

W rozdziale 7 Doktorant zawarł wnioski i zalecenia wynikające ze studiów w pracy. Stwierdził, że projektowanie wzmocnień konstrukcji nawierzchni na spodzie warstw z betonu asfaltowego na obszarach oddziaływań górniczych w celu ograniczenia wpływu eksploatacji górniczej na stan nawierzchni, jest rozwiązaniem nieefektywnym i ekonomicznie nieuzasadnionym. Wskazane jest projektowanie wzmocnień konstrukcji na podłożu gruntowym, co pozwoli na redukcję odkształceń w podłożu i równocześnie w konstrukcji co potwierdzają badania modelowe w laboratorium cytowane w pracy.

#### **4. Ocena rozprawy**

Recenzowana rozprawa mgra inż. Mateusza Kałuży dotyczy ważnego problemu związanego z projektowaniem konstrukcji nawierzchni w obszarach eksploatacji górniczej. Jest to problematyka istotna z punktu widzenia utrzymania tych nawierzchni co znacznie wpływa zarówno na koszty budowy oraz utrzymania. Problemy te są studiowane w jednostkach badawczych w kraju jak również w Europie i na świecie tam gdzie problematyka szkód górniczych występuje. Doktorant podjął się trudnego i ambitnego zadania badawczego. Praca ta moim zdaniem ma ważne znaczenie poznawcze i techniczne dla rozwoju technologii budowy i utrzymania nawierzchni drogowych na obszarach eksploatacji górniczej. Problem ma również aspekt ekonomiczny, gdyż prawidłowa profilaktyka nawierzchni pozwala na proaktywne zarządzanie siecią drogową w obszarach eksploatacji górniczej.

Doktorant w celu zrealizowania postawionych celów wykonał obszerny program badań *in situ* oraz wykorzystał badania laboratoryjne. Metodycznie i systematycznie realizował cele pracy. Wykonał szereg badań i analiz, poszukując optymalnej lokalizacji geosyntetyku w warstwach konstrukcji nawierzchni. Przeprowadzone badania pokazują na zasadniczy wpływ

lokalizacji geosyntetyku na efektywność wzmocnienia nawierzchni podatnej, poddanej oddziaływaniom górniczym. Wskazane jest projektowanie wzmocnień konstrukcji na podłożu gruntowym, co pozwoli na redukcję odkształceń w konstrukcji nawierzchni, a przez to na mniejszą degradację warstw konstrukcji nawierzchni drogowej. Doktorant stwierdził w swoich rozważaniach, że zastosowanie geosiatki z włókna szklanego na spodzie warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych wyraźnie zmniejsza liczbę spękań nawierzchni. Natomiast niekoniecznie zwiększa trwałość zmęczeniową mieszanek mineralno-asfaltowych.

Doktorant wnioski formułował wykorzystując własne zbiory wyników badań. Przedstawione w zakończeniu pracy wnioski opierają się o rezultaty badań i studiów teoretycznych, stanowiąc ich uogólnienie. Prezentowana w rozprawie bibliografia jest aktualna i odnosząca się do zagadnień studiowanych w pracy.

## **5. Uwagi merytoryczne i pytania do Doktoranta**

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy nasuwają się następujące uwagi i pytania do Doktoranta:

- 1) Przy analizach trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni a przede wszystkim warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych analizuje się spadek modułu tych mieszanek. Dla celów projektowania określa się moduł projektowany  $m_{ma}$ . Przyjmuje się, że spadek modułu o 50% i więcej oznacza utratę trwałości. Oczywiście stany takie analizuje się dla równoważnej temperatury ekwiwalentnej całorocznej, która dla warunków polskich wynosi  $13^{\circ}$  C. Czy takie analizy Doktorant wykonywał?
- 2) Czy była analizowana szczepność międzywarstwowa. Z doświadczenia recenzenta wynika, że przedwczesne zniszczenia warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych pojawiają się przy braku szczepności. Tutaj Recenzent posiada swoje doświadczenie, że najczęściej brak szczepności pojawia się w warstwach na styku z geosyntetykiem. Jakie jest zdanie Doktoranta na ten temat?
- 3) Dlaczego Doktorant nie przyjął do obliczeń odwrotnych (back calculation) oraz analizy trwałości zmęczeniowej układu dwuwarstwowego? Z doświadczeń recenzenta wynika, że przy układzie dwuwarstwowym uzyskuje się większe dokładności.
- 4) Przy jakich temperaturach były prowadzone analizy trwałości zmęczeniowej?

- 5) Jakie kryteria zostały użyte do analizy trwałości zmęczeniowej?
- 6) Jak analizowano trwałość zmęczeniową dla 2008 roku?
- 7) Jak wytłumaczyć fakt, że trwałość zmęczeniowa obliczana w 2019 roku dla odcinka niewzmocnionego była większa niż dla odcinka wzmocnionego a w 2021 roku dla odcinków 1 i 3 uzyskano też takie zależności, za wyjątkiem odcinka nr 2 gdzie trwałość dla odcinka wzmocnionego była większa niż dla niewzmocnionego?
- 8) W tab. 6.20 brak jest danych dla modułów  $E_{1\ tr}$ .

## 6. Osiągnięcia zawarte w rozprawie

Biorąc pod uwagę całość przedstawionej rozprawy stwierdzam, że dotyczy ona ważnego zagadnienia związanego z badaniem wzmocnień warstw konstrukcji nawierzchni poddanej wpływom eksploatacji górniczej. Badania Doktoranta pozwoliły na określenie warunków technologicznych i konstrukcyjnych lokalizacji zbrojenia z geosyntetyków w warstwach konstrukcji nawierzchni oraz podłożu gruntowym. Opracowane warunki pozwalają na racjonalne rozmieszczanie zbrojenia co pozwala na proaktywne utrzymanie nawierzchni drogowych zlokalizowanych na obszarach eksploatacji górniczej.

Autor do realizacji celów pracy wykonał obszerny program badań, zbierając dane empiryczne w warunkach *in situ* oraz wykorzystał również wyniki badań laboratoryjnych.

W sposób czytelny metodami naukowymi to jest na podstawie badań i analiz wyników obserwacji zebranych w badaniach *in situ* i laboratoryjnych, Doktorant rozwiązał zadanie naukowe. Zaproponował rozwiązanie technologiczne pozwalające na lokalizację zbrojenia z geosyntetyków w warstwach konstrukcji poddanej wpływom eksploatacji górniczej. Wykazał, że lokalizacja zbrojenia w dolnych warstwach z mieszanek mineralno-asfaltowych jest nieefektywna. Wskazał, że najbardziej efektywnym sposobem jest lokalizacja geosyntetyku w podłożu gruntowym. Ponadto zaproponował metody badań nawierzchni zlokalizowanych na szkodach górniczych w taki sposób ażeby spełnić i zweryfikować wymagania eksploatacyjne stawiane nawierzchniom drogowym. Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia prac badawczych i rozwiązywania problemów naukowych.

Podane powyżej uwagi nie umniejszają wartości rozprawy jako całości i mam nadzieję, że zostaną wyjaśnione podczas obrony pracy.

## **7. Wniosek końcowy**

Stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Kałuży pt: „Badania i analizy nawierzchni poddanych oddziaływaniom górniczym”, zawiera rozwiązanie problemu naukowego i wskazuje na dobry poziom wiedzy Doktoranta z dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, a także na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. Stwierdzam, że opiniowana rozprawa spełnia wszystkie wymagania określone przez ustawę wg której procedowany jest przewód doktorski.

Przedkładam Radzie Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej niniejszą recenzję z wnioskiem o przyjęcie pracy jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Recenzję podpisał  
Antoni Szydło