Warszawa, dnia 10 lipca 2023 r.

dr hab. inż. Michał Sarnowski, prof. uczelni
Instytut Dróg i Mostów
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Warszawska
Aleja Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa
tel. +48 22 234-56-71
e-mail: michal.sarnowski@pw.edu.pl

RECENZJA

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

Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Joanna Bzówka, a promotorem pomocniczym - dr inż. Mirosław Kotasiński.

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej jest pismo (znak: RDILT.512.5.2023) Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ z dnia 12.05.2023 r., realizującego uchwałę Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport PŚ z dnia 27.04.2023 r. dotyczącą powołania recenzentów rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Mateusza Kałuży.

Podstawę prawną do wykonania recenzji stanowią obowiązujące przepisy ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.).

2. Przedmiot recenzji

Zgodnie z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, przedmiotem recenzji jest sprawdzenie czy praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, czy prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy problemu naukowego z zakresu budownictwa drogowego, mieści się więc w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Wpłynęło dnia 07.07.2023 r.

3. Ocena aktualności wybranej tematyki, celu, tezy i zakresu pracy

Recenzowana rozprawa podejmuje problem analizy i oceny wpływu wzmocnienia siatką z włókna szklanego na nawierzchnie z betonu asfaltowego, zlokalizowane na terenach oddziaływań górniczych.

Jak Doktorant słusznie zauważył, rozpoczęcie głębinowej eksploatacji złóż węgla zlokalizowanych pod trasami drogowymi, jakkolwiek ekonomicznie zasadne, skutkuje m.in. wzrostem liczby i wielkości uszkodzeń dróg oraz wywołuje utrudnienia w prawidłowym użytkowaniu drogi. Potwierdzają to liczne przypadki uszkodzeń, szczególnie w postaci deformacji dróg w województwie śląskim, jak np. znaczne deformacje autostrady A1 od węzła Pyrzowice w kierunku południowym. Naprawa tego rodzaju uszkodzeń jest niezwykle trudna, ponieważ ich źródło znajduje się czasem kilkaset metrów poniżej konstrukcji drogi. Stosowane są różne metody wzmacniania podłoża i konstrukcji nawierzchni drogowej, mające na celu zminimalizowanie szkodliwego wpływu ruchów górotworu na drogi. Dowiedziono skuteczności stosowania zbrojenia gruntów oraz budowli ziemnych geosyntetykami w różnej formie, także w formie materacy układanych warstwowo w nasypach. Obok technologii zbrojenia gruntu oraz drogowych budowli ziemnych podejmowane są próby stosowania zbrojenia geosyntetykami nawierzchni asfaltowych, jako rozwiązanie mogące zastąpić pełną przebudowę konstrukcji nawierzchni, która nie była z reguły projektowana z uwzględnieniem oddziaływań górniczych. Na skuteczność tego rodzaju rozwiązań wpływ ma wiele czynników, jak np. rodzaj i wielkość uszkodzeń podłoża, warunki gruntowo-wodne, ale również rodzaj zastosowanego geosyntetyku oraz jego lokalizacja w konstrukcji wzmacnianej nawierzchni. Z tego względu wpływ takiego wzmocnienia, zwłaszcza stosowanego w rejonie działalności górniczej, nie jest w pełni rozpoznany. Mając to na uwadze, należy stwierdzić, że podjęty w rozprawie problem naukowy, stanowiący kontynuację krajowych badań i analiz nad wzmacnianiem podłoża, budowli ziemnych oraz konstrukcji nawierzchni drogowej w strefie oddziaływań górniczych, wpisuje się w nowoczesne, światowe podejście do projektowania dróg. Należy zgodzić się z Doktorantem, który we wnioskach końcowych stwierdza, że pomimo kilkudziesięciu lat praktyki krajowej w budownictwie komunikacyjnym na obszarach oddziaływań górniczych oraz stosowania wzmocnień geosyntetycznych problematyka ta pozostaje nadal aktualna.

Rozważania podjęte w rozprawie doktorskiej były analizowane w kontekście pięciu celów badawczych. Pierwszym z nich są badania i analizy dotyczące efektu stosowania wzmocnienia w spodzie warstw z betonu asfaltowego. W tym celu wykonano badania terenowe na dwóch poligonach badawczych (A i B) – drogach przebiegających w strefie I i II kategorii terenu górniczego. Drugim celem badawczym, jest ocena wpływu oddziaływań górniczych na skuteczność wzmocnień geosyntetycznych w zależności od ich lokalizacji w konstrukcji nawierzchni. Cel realizowano przez opracowanie i analizę wyników badań laboratoryjnych przeprowadzonych wcześniej w Politechnice Śląskiej. Realizacja tego celu umożliwiła wykazanie efektywnej lokalizacji wzmocnienia, które w największym stopniu ograniczy występowanie uszkodzeń nawierzchni związanych z działalnością górniczą. Trzeci cel pracy polega na badaniu wpływu geosyntetyku na wartości ocenionych wizualnie wskaźników spękań nawierzchni, ugięć oraz parametrów krzywizny czaszy ugięć określonych metodą FWD.

Realizacja trzeciego celu umożliwiła analizę trwałości zmęczeniowej nawierzchni niewzmocnionej oraz wzmocnionej siatką z włókna szklanego, na poligonach badawczych A i B, co stanowi czwarty cel pracy. Ostatni, piąty cel dotyczy określenia wpływu oddziaływań górniczych na wartości modułów warstw nawierzchni drogowej.

Dysertacja zawiera zarówno rozważania teoretyczne, oparte na studiach literaturowych, jak i badania empiryczne w zakresie analizowanego problemu naukowego. Zakres badań oraz zastosowana nowoczesna aparatura badawcza są adekwatne do założonych celów. Wyniki badań nie zostały poddane analizie statystycznej w celu wykazania istotności ocenianych parametrów.

Doktorant nie sformułował tez badawczych, jednak w oparciu o przegląd literatury oraz doświadczenia własne, postawił pytanie o charakterze badawczym:

czy wzmacnianie nawierzchni drogowej siatką z włókna szklanego w spodzie warstw z betonu asfaltowego na terenie występowania oddziaływań górniczych może być rozwiązaniem efektywnym?

Definicję efektywności przyjętego rozwiązania stanowi druga część pytania:

Zagadnieniem zasadniczym jest wpływ wzmocnienia nawierzchni pojedynczą przekładką geosyntetyczną na skuteczną poprawę nośności oraz wydłużenie czasu eksploatacji nawierzchni.

Merytorycznie pytanie to jest prawidłowe i zrozumiałe.

Przyjęty i zrealizowany w recenzowanej rozprawie doktorskiej obszar tematyczny badań i analiz, ma wysoką wartość poznawczą i pozwolił na prawidłową ocenę analizowanego problemu naukowego.

W kontekście przedstawionej w pracy unikalnej koncepcji laboratoryjnej symulacji odkształceń podbudowy niezwiązanej na podłożu górniczym w warunkach wzmocnienia geosyntetykiem, a także stanu wiedzy w zakresie metod oceny stanu spękań i ugięć sprężystych nawierzchni, wybrany przez Autora temat, sformułowane cele, postawione pytanie o charakterze badawczym oraz przyjęty zakres pracy należy uznać za poprawne i uzasadnione. Na podkreślenie zasługuje kompleksowe podejście Doktoranta do realizowanego zagadnienia w zakresie badań terenowych i analiz wyników tych badań.

Należy stwierdzić, że założone cele i podjęta tematyka badawcza są aktualne i interesujące pod względem naukowym, zatem wybór tematu oraz jego przedstawienie w rozprawie doktorskiej uznaję za merytorycznie uzasadnione.

Tytuł rozprawy, należy uznać za właściwy, choć zdaniem recenzenta, sugeruje znacznie szerszy zakres tematyczny pracy i korzystnym byłoby jego uszczegółowienie przez wprowadzenie pojęcia „wzmocnienia geosyntetykiem". Uszczegółowiony tytuł mógłby np. brzmieć: „Analiza wpływu wzmocnienia geosyntetykiem na nawierzchnie poddane oddziaływaniom górniczym".

4. Ocena rozprawy

4.1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Opiniowana praca jest w formie książkowej i zawiera 166 stron. Zasadnicza część rozprawy składa się z 7 rozdziałów poprzedzonych spisem treści, oraz streszczeniem w języku polskim i angielskim. Nie umieszczono spisu oznaczeń i skrótów użytych w pracy, co wspomogłoby przejrzystość analiz.

Po ostatnim rozdziale zawierającym wnioski i kierunki dalszych badań znajduje się bibliografia, spis instrukcji oraz norm, akty prawne, spis stron internetowych oraz pozostałych opracowań, a następnie spis rysunków i tablic. W poszczególnych rozdziałach zamieszczono 98 rysunków oraz 33 tablice. Bibliografia składa się z 110 publikacji naukowych. Właściwy dobór bibliografii stanowi potwierdzenie wysokiej wartości merytorycznej części literaturowej rozprawy. Połowa publikacji została opublikowana w roku 2010 lub później, co potwierdza aktualność cytowanych źródeł. Współautorem jednej pracy naukowej znajdującej się w wykazie jest Doktorant. Można byłoby oczekiwać nieco większej liczby publikacji autorstwa lub współautorstwa Doktoranta, potwierdzającej niewątpliwie duży Jego wkład w analizowany w niniejszej rozprawie problem naukowy. Wykaz literatury został uporządkowany alfabetycznie, według pierwszego autora, co korzystnie wpływa na jego czytelność. W powołaniach normatywnych zamieszczono 8 norm i 22 dokumenty techniczne w postaci instrukcji.

Streszczenie w języku polskim jest napisane w czytelny sposób i w zakresie merytorycznym odzwierciedla charakter rozprawy naukowej. Streszczenie w języku angielskim jest również przygotowane poprawnie.

We wstępie (rozdział 1) Autor krótko opisał problem naukowy i przedstawił tematykę pracy doktorskiej. Ogólnie zarysował zagadnienie stosowania zbrojenia gruntów oraz drogowych budowli ziemnych geosyntetykami na terenach górniczych, a także próby stosowania zbrojenia geosyntetykami nawierzchni z betonu asfaltowego, jako rozwiązanie mające zastąpić pełną przebudowę konstrukcji nawierzchni. Następnie Doktorant sformułował pytanie o charakterze naukowym, określające zarazem cele i zakres rozprawy. O ile pytanie to, jak stwierdzono wcześniej, jest uzasadnione i zrozumiałe, zdaniem recenzenta, korzystnym byłoby wyjaśnienie dlaczego w rozważaniach ograniczono się tylko do wzmocnienia siatką z włókna szklanego oraz dlaczego właśnie ten rodzaj wzmocnienia konstrukcji nawierzchni podatnej został uznany za najbardziej efektywny. Recenzent zdaje sobie sprawę, że w dużej mierze zdecydowały o tym założenia projektowe przebudowy dróg stanowiących poligony badawcze A i B, oraz wcześniejsze doświadczenia badawcze Autora, jednak wymagałoby to głębszego wyjaśnienia już w tym rozdziale. W dalszej części rozdziału Doktorant sformułował 5 celów badawczych, które należy uznać za właściwie. Jedynie w przypadku celu nr 1 pewne wątpliwości budzi jego sformułowanie – czy celem samym w sobie powinny być badania i analizy, czy jednak ocena efektu stosowania wzmocnienia? Rozdział zamyka 8 zagadnień opisujących zakres pracy, które w prawidłowy sposób charakteryzują przeprowadzone w rozprawie badania i analizy.

W rozdziale 2 (Wpływy górnicze a obiekty komunikacyjne) szczegółowo scharakteryzowano deformacje terenu wywołane podziemną działalnością górniczą, przedstawiając parametry służące do opisu obniżeniowej niecki lokalnej i dynamicznej. Doktorant słusznie zauważył, że na potrzeby budownictwa komunikacyjnego istotnym parametrem jest całkowite obniżenie

w_{max}, które nie stanowi parametru tak istotnego z punktu widzenia budynków. Postępujące osiadania wynikające z oddziaływań górniczych mogą zdeformować istniejącą geometrię drogi, tj. profil podłużny oraz spadki poprzeczne. Powoduje to nie tylko zagrożenie utraty nośności istniejącej konstrukcji drogi, ale również zagraża bezpieczeństwu uczestników ruchu. Autor zwraca uwagę, że dla jednoznacznego opisu deformacji powierzchni terenu wystarczy znajomość składowych wektora przemieszczeń cząstek gruntu na zboczu niecki obniżeniowej. Za ważne należy uznać stwierdzenie, że do obliczeń odkształceń i naprężeń w konstrukcji nawierzchni drogowej miarodajne są wpływy zbocza stacjonarnego niecki lokalnej, jako bardziej niekorzystne, ze względu na pracę statyczną nawierzchni. Deformacje ciągłe oraz nieciągłe wpływają degradująco na nośność i trwałość konstrukcji drogi, a także w znaczny sposób wpływają na wartości modułu sztywności układu warstw konstrukcji. W wyniku odkształceń poziomych, powodujących rozluźnienie lub zagęszczenie warstw nawierzchni i podłoża, następuje odpowiednio - redukcja trwałości zmęczeniowej nawierzchni drogowej, lub deformacje powierzchni jezdnej dróg związane z niską wytrzymałością na ściskanie podatnych i półsztywnych nawierzchni. Należy stwierdzić, że rozdział 2 stanowi prawidłowe wprowadzenie do zagadnień analizowanych w dalszej części rozprawy.

W rozdziale 3 (Nawierzchnie drogowe) Doktorant przedstawił podział konstrukcji nawierzchni drogowych ze względu na ich odkształcalność, konstrukcję oraz charakter pracy, materiał warstwy ścieralnej, obciążenia ruchem, a także technologię wykonania. Za ważne i słuszne należy uznać stwierdzenie, że dobór właściwego typu konstrukcji nawierzchni drogowej ma istotne znaczenie dla jej trwałości, szczególnie w przypadku drogi zlokalizowanej na obszarze występowania wpływów górniczych. Nawierzchnie charakteryzujące się dużą sztywnością są bardziej podatne na trwałe uszkodzenia i deformacje. Mając to na uwadze, a także na podstawie przeglądu literatury oraz swoich wcześniejszych doświadczeń badawczych, Autor stwierdza, że dominujący charakter na terenach występowania oddziaływań górniczych powinny mieć nawierzchnie podatne. W ten sposób uzasadnia wybór tego typu nawierzchni do analiz prowadzonych w dalszej części pracy. Zdaniem recenzenta ta ważna część rozprawy wymagałaby pogłębionej analizy literaturowej, z odwołaniem do literatury krajowej i zagranicznej, również z uwzględnieniem analizy zasadności stosowania na terenach górniczych nawierzchni sztywnych, w tym ze zbrojeniem ciągłym.

W drugiej części rozdziału 3 opisano empiryczne i mechanistyczno-empiryczne metody projektowania podatnych nawierzchni drogowych. Doktorant stwierdził, że na obszarach oddziaływań górniczych nie ma możliwości stosowania metod katalogowych projektowania i szczegółowo scharakteryzował zasady projektowania dróg na tych obszarach, z wykorzystaniem kryterium dopuszczalnych naprężeń pionowych w podłożu oraz naprężeń poziomych w dolnej warstwie podbudowy na styku z podłożem górniczym. Ważnym i słusznym wnioskiem sformułowanym na podstawie danych literaturowych jest stwierdzenie mówiące o tym, że stosowanie wzmocnień z geosyntetyków zredukuje wpływ naprężeń rozluźniających w podłożu, co z kolei może zredukować szkodę zmęczeniową nawierzchni, lecz nie wpłynie na zmianę parametrów geometrii drogi w wyniku deformacji terenu wywołanych oddziaływaniami górniczymi. Parametrami dobrze opisującymi oddziaływania górnicze na nawierzchnię są sztywność warstw nawierzchni i podłoża oraz parametry charakteryzujące nośność podłoża konstrukcji, do których zaliczamy kalifornijski wskaźnik nośności *CBR*, moduł sprężystości *E* oraz moduł odkształcenia M_E. Parametry związane z nośnością podlegają znacznym zmianom w wyniku pojawienia się poziomych odkształceń rozluźniających.

W rozdziale 4 (Geosyntetyki w budownictwie drogowym) zostały scharakteryzowane rodzaje geosyntetyków oraz ich funkcje, ze szczególnym uwzględnieniem funkcji przeciwspękaniowej w przypadku zastosowania w konstrukcji nawierzchni asfaltowej siatek z włókien szklanych. Na uwagę zasługują przeprowadzone przez Doktoranta badania wstępne dotyczące stosowania w spodzie warstw z betonu asfaltowego siatek z włókna szklanego. W wyniku 10-letniej obserwacji drogi powiatowej wykazano pozytywny wpływ tego rodzaju wzmocnienia na występowanie spękań nawierzchni.

W rozdziale 5 (Część badawcza dotycząca analizy badań laboratoryjnych) Doktorant opracował i wykorzystał w dalszej części rozprawy przeprowadzone wcześniej w Politechnice Śląskiej badania nad wpływem rozkładu zbrojenia na rozkład naprężeń oraz stan wytężenia podłoża zdeformowanego na skutek oddziaływań górniczych. Rozluźnienie lub zagęszczenie mieszanek niezwiązanych na skutek oddziaływań górniczych można zasymulować poprzez zmieniającą się wartość współczynnika rozporu bocznego K_ε. Współczynnik rozporu określono na podstawie wartości naprężeń poziomych i pionowych w podbudowie niezwiązanej symulującej podłoże górnicze, które rejestrowano lokalnie w aparacie wielkowymiarowym (tzw. stanowisko Rosikonia). Badania przeprowadzono dla przypadku podłoża bez wzmocnienia oraz wzmocnionego. Na podstawie analizy wyników badań, Autor stwierdza w podsumowaniu rozdziału, że wskazane jest projektowanie wzmocnień konstrukcji już w poziomie podłoża gruntowego, co pozwoli na efektywną redukcję naprężeń poziomych w konstrukcji nawierzchni. Natomiast dalej Doktorant stwierdza, że projektowanie wzmocnienia geosyntetycznego w spodzie warstw z betonu asfaltowego dla dróg zlokalizowanych na terenach górniczych może okazać się mało skuteczne w kontekście „wzmocnienia" nawierzchni, sprowadzając funkcję wbudowanego geosyntetyku jedynie do zapobiegania spękaniom odbitym oraz rozproszeniu naprężeń. Jest to bardzo ważny wniosek, który ostatecznie został potwierdzony w wyniku dalszych badań Autora. Wykorzystanie w Rozprawie opracowanych i przeanalizowanych przez Doktoranta archiwalnych wyników badań, które nie były do tej pory publikowane, należy uznać za wartość dodaną pracy, podnoszącą jej poziom merytoryczny. Korzystnym byłoby jednak dodatkowe wyjaśnienie, co dokładnie stanowi wkład własny Autora w tę część badań i analiz, tj. czy rysunki 5.6 do 5.10 zostały opracowane i przeanalizowane przez Doktoranta? Czy wnioski dotyczące wyznaczenia krytycznej wartości poziomych odkształceń rozluźniających, powyżej których następuje przekroczenie stanu równowagi granicznej warstw niezwiązanych modelowanej nawierzchni, różne w przypadku obecności lub braku wzmocnienia geosyntetycznego, zostały sformułowane przez Doktoranta? Recenzent oczekuje takiego uszczegółowienia.

W rozdziale 6 (Badania i analizy przeprowadzone na poligonie badawczym) zostały przedstawione i przeanalizowane wyniki badań przeprowadzonych na dwóch drogowych poligonach badawczych (A i B) zlokalizowanych w strefie oddziaływań górniczych. Jest to zasadnicza i najważniejsza część rozprawy. Przeprowadzono analizę ruchu, analizę stanu spękań nawierzchni asfaltowej, identyfikację modułów sztywności warstw konstrukcji oraz pomiar ugięć na podstawie badania FWD. Badania te powtarzano w różnych latach. W celu rozpoznania podłoża gruntowego oraz warstw niezwiązanych w konstrukcji nawierzchni wykonano odwierty geotechniczne wraz ze wstępnym określeniem parametrów gruntu oraz badanie CBR. W ostatniej części rozdziału 6 wyznaczono trwałość zmęczeniową na poligonie badawczym A. Należy stwierdzić, że Doktorant analizuje wszystkie parametry ze zrozumieniem istoty ocenianych przez nie zjawisk i w dalszej części rozdziału formułuje interesujące i ważne wnioski dotyczące niejednoznacznych wyników badań na poszczególnych

odcinkach badawczych. Jest to bardzo cenny element rozprawy. Pomimo występowania wielu różnych niekorzystnych czynników, w tym oddziaływań górniczych, zastosowane rozwiązanie wzmocnienia nawierzchni siatką z włókna szklanego wyraźnie korzystnie wpływa na stan nawierzchni w kontekście stanu spękań, co obrazują zarówno miarodajne wskaźniki spękań, oraz bezpośrednia analiza zestawienia uszkodzeń. Na pasie drogi wzmocnionym siatką z włókna szklanego wartość wskaźnika spękań jest większa średnio o 15% niż dla odcinka niewzmocnionego, co nie ma odzwierciedlenia w wartościach ugięć. Według Doktoranta może to wskazywać, że wzmocnienie siatką z włókna szklanego umożliwia sprężystą pracę zdegradowanej nawierzchni drogowej, wobec czego wartości ugięcia są wyższe i wskazują na większą podatność wierzchnich warstw konstrukcji, jednak nie generują dodatkowych spękań. Natomiast trwałość zmęczeniowa pasa niewzmocnionego jest wyższa niż pasa wzmocnionego. Według Autora, może to wskazywać, że stan techniczny pasa wzmocnionego był gorszy niż pasa niewzmocnionego w momencie zabudowania wzmocnienia siatką z włókna szklanego. Zdaniem recenzenta wniosek ten jest logiczny i prawdopodobny. Ponadto zaobserwowano występowanie zależności pomiędzy obliczonymi wskaźnikami czaszy ugięć a modułami warstw nawierzchni uzyskanymi z obliczeń odwrotnych. W przypadku jednak nawierzchni wzmocnionej, podczas badań w 2021 roku nie stwierdzono występowania zależności, co Doktorant tłumaczy udziałem dodatkowych czynników, takich jak osłabienie sczepności międzywarstwowej. Potwierdzenie tej hipotezy wymagałoby jednak przeprowadzenia badań sczepności na próbkach pobranych z nawierzchni.

Rozdział 6, jako zasadnicza i najważniejsza część rozprawy, zawiera obszerny zakres badań i analiz. Z tego względu w rozdziale tym można sformułować kilka uwag krytycznych:

- Przy opisie poligonu badawczego B nie sprecyzowano, w której strefie ułożono siatkę wzmacniającą. Z kontekstu całej pracy można jednak wnioskować, że podobnie jak na odcinku A, na spodzie warstw asfaltowych. Dlaczego na poligonie B nie zastosowano odcinka porównawczego bez zbrojenia?
- Opisując w podrozdziale 6.3.1 rozpoznanie układu warstw podłoża oraz nawierzchni asfaltowej nie podano jakiego poligonu dotyczą te analizy. Podobnie w podrozdziale 6.3.2 nie sprecyzowano, na którym z poligonów przeprowadzono analizę ruchu.
- Nie wszystkie procedury i parametry stosowane w części analitycznej opisano w częściach metodycznych. Np. w przypadku procedury analizy stanu spękań (podrozdział 6.3.4) opis dotyczący sposobu określania miarodajnego wskaźnika spękań n_m odsyła do wzorów zawartych w Diagnostyce Stanu Nawierzchni. Nie opisano również jaki rodzaj stanu opisują klasy stanu nawierzchni (A, B, C, D). Dowiadujemy się o tym częściowo w dalszej części pracy. W rozprawie doktorskiej powinny być zdefiniowane i opisane wszystkie parametry, metody i procedury stosowane w części analitycznej.
- W rozprawie nie rozróżniono wyraźnie części dotyczącej metodyki i części analitycznej. Przykładowo podrozdział 6.3.3 zawiera obie te części, a informacje dotyczące metodyki badania ugięciomierzem FWD znajdują się zarówno w podrozdziale 6.1, jak i w 6.3.5.
- Rozdział 6.3.5 jest bardzo obszerny, korzystnym byłoby podzielenie go na 3 odrębne podrozdziały: 6.3.5 Analiza ugięć; 6.3.6 Analiza wskaźników krzywizny; 6.3.7 Analiza modułów sztywności i sprężystości.
- W tablicy 6.11 przedstawiono wartości porównawcze parametrów czaszy ugięć z uwzględnieniem stanu technicznego warstwy (A-D). Na rysunkach 6.31 do 6.33 zaznaczone różnymi kolorami zakresy stanu technicznego znajdują się na różnych

poziomach. W tablicy 6.11 podano błędny zakres stanu ostrzegawczego wskaźnika krzywizny ugięć na powierzchni warstwy *BLI*.

W rozdziale 7 (Wnioski oraz zalecenia do dalszych badań) odpowiadając na zadane we wstępie rozprawy pytanie, Doktorant sformułował kilka wniosków szczegółowych, 2 wnioski zasadnicze oraz przedstawił 3 kierunki dalszych badań. Sformułowanie wniosków zasadniczych zapewnia przejrzystość rozdziału i pozwala łatwo zorientować się w podsumowaniu tak obszernego zakresu badań.

W ramach pierwszego wniosku zasadniczego Doktorant stwierdził: „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".

Zgodnie z drugim wnioskiem: „projektowanie wzmocnień konstrukcji nawierzchni na spodzie warstw z betonu asfaltowego, w celu wydłużenia czasu eksploatacji drogi w końcowej fazie jej trwałości zmęczeniowej, jest rozwiązaniem efektywnym".

Należy stwierdzić, że obydwa wnioski są poprawne z jednym zastrzeżeniem. W celu wykazania uzasadnienia ekonomicznego rozwiązania, o którym jest mowa w pierwszym wniosku, należałoby przeprowadzić odpowiednią analizę ekonomiczną, nawet jeżeli jej wynik uważa się za oczywisty. W pracy nie analizowano aspektów ekonomicznych. Z tego względu, taki wniosek powinien być sformułowany tylko w trybie przypuszczającym.

Wnioski szczegółowe skonstruowane są poprawnie i zostały sformułowane na podstawie przeprowadzonych przez Doktoranta interesujących, oryginalnych badań, które opisano w pracy.

Opracowanie kierunków dalszych badań należy uznać za właściwe postępowanie. Kierunki sformułowane są w sposób ogólny i zdaniem recenzenta powinny być bardziej doprecyzowane. Prezentują niemniej jednak dużą wiedzę Doktoranta w przedmiotowej tematyce i w pozytywnym tego słowa znaczeniu, wykraczają poza zakres ocenianej rozprawy.

4.2. Struktura, język i redakcja rozprawy

Struktura rozprawy jest prawidłowa. Praca napisana jest poprawnym i przejrzystym językiem, bez stosowania skrótów myślowych. Występują jedynie pojedyncze, drobne błędy redakcyjne i stylistyczne.

Poniżej przedstawiono kilka ich przykładów:

- w źródle literaturowym rysunku 2.1 podano: „Kowalski, 2012" – w bibliografii znajduje się tylko publikacja tego autora z 2020 roku;
- str. 13, wiersz 9-11 od dołu: „Teren leżący **pod** eksploatowanym polem obniża się, tworząc w poprzecznym przekroju nieckę lokalną, o stopniowo stabilizujących się zboczach krawędziowych." – zdaniem recenzenta powinno być: „**nad** eksploatowanym polem";
- w treści rozprawy nie przywołano następujących rysunków: 2.6a; 2.6b; 3.1; 5.1; 5.2;
- w treści rozprawy nie przywołano następujących tablic: 3.1; 6.13; 6.14; 6.18; 6.19; 6.23; 6.25; 6.26.
- na rysunku 5.3 nie podano jednostki wymiarowania.

4.3. Uwagi i pytania recenzenta do pracy

Po zapoznaniu się z treścią poszczególnych rozdziałów zostały zgłoszone uwagi krytyczne. Na przedstawione poniżej kwestie recenzent oczekuje odpowiedzi.

1) Mając na uwadze zasadnicze pytanie, na które Doktorant poszukiwał odpowiedzi, tj. „czy wzmacnianie nawierzchni drogowej siatką z włókna szklanego w spodzie warstw z betonu asfaltowego na terenie występowania oddziaływań górniczych może być rozwiązaniem efektywnym", nie byłoby uzasadnione przeprowadzenie, w celach porównawczych, analogicznych jak na poligonach A i B badań i analiz ale na odcinkach dróg wzmacnianych w poziomie podłoża gruntowego?
2) Jaki jest autorski wkład Doktoranta w zakres badań opisany w rozdziale 5? Proszę o uszczegółowienie tego wkładu.
3) We wnioskach rozdziału 5 (podrozdział 5.4) Doktorant stwierdził, że ze względu na konstrukcję aparatu wielkowymiarowego, tj. sztywną podstawę stanowiska badawczego, rozluźnienie ośrodka nie obejmowało całej grubości modelu, a w rzeczywistości zjawisko to wystąpiłoby na całej wysokości rozluźnianego podłoża. Proszę o wyjaśnienie jakie to może mieć znaczenie w kontekście oceny efektywności zastosowania wzmocnienia geosyntetycznego w warstwie podłoża gruntowego?
4) Jakie przyjęto kryteria klasyfikując spękania ze względu na duży lub mały stopień szkodliwości (rysunki 6.16 do 6.19)?
5) Zestawienie powierzchni spękań siatkowych na poligonie badawczym A (rysunek 6.19) – dlaczego na odcinku pomiarowym nr 2 powierzchnia spękań siatkowych jest prawie 3-krotnie wyższa na pasie wzmocnionym niż na niewzmocnionym?
6) W pracy nie wyjaśniono dlaczego na poligonie badawczym A analizę stanu spękań przeprowadzono na 4 odcinkach 100 metrowych, a analizę ugięć ograniczono do 3 odcinków? W celu wzmocnienia wiarygodności oceny porównawczej, korzystnym byłoby przeprowadzanie badań i analiz na tej samej liczbie odcinków.
7) Doktorant potwierdził brak zależności pomiędzy wartościami modułu sprężystości podłoża, a wartościami wskaźnika uszkodzeń podbudowy LLI na poligonie badawczym B, co również stanowi zaprzeczenie trendów obserwowanych na poligonie badawczym A. Czy Doktorant mógłby bardziej precyzyjnie odnieść się do tego zagadnienia, wraz z przedstawieniem prawdopodobnych przyczyn tego zaskakującego zjawiska?
8) Czy Doktorant rozważał wykorzystanie narzędzi statystycznych, np. do oceny istotności wpływu poszczególnych parametrów na analizowane zjawiska?
9) Zdaniem recenzenta, przed rozdziałem 5 rozpoczynającym część analityczną rozprawy, korzystnym byłoby przedstawienie w sposób syntetyczny całego programu badawczego zrealizowanego w ramach rozprawy, dodając np. rozdział: „Program badań laboratoryjnych i terenowych". Stanowiłby on doprecyzowanie zakresu badań przedstawionego w sposób ogólny w rozdziale 1. Recenzent prosi Doktoranta o odniesienie się do tej kwestii.

5. Wniosek końcowy

Pan mgr inż. Mateusz Kałuża przeprowadził samodzielne badania w zakresie analizowanego zagadnienia, zarówno na etapie realizacji części teoretycznej, jak i analitycznej. Posługując się przyjętą metodyką badawczą zrealizował założony program badań i osiągnął zakładane cele, wykazując umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i formułowania wniosków. Opiniowaną pracę oceniam bardzo wysoko. Dotyczy to zarówno jej strony

naukowej jak i formalnej, które nie budzą większych zastrzeżeń. Rezultaty pracy, oprócz wartości naukowej mają też duży potencjał praktyczny i aplikacyjny. Dodatkowo należy podkreślić duży nakład pracy Autora związany z zakresem przeprowadzonych badań i analiz.

Sformułowane w niniejszej opinii uwagi krytyczne nie obniżają w sposób istotny wartości merytorycznej pracy, w związku z tym stwierdzam, że postawione w rozprawie cele zostały osiągnięte i wyrażam przekonanie, że rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Kałuży, pt.: **„Badania i analizy nawierzchni poddanych oddziaływaniom górniczym" spełnia wszystkie warunki oraz wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.)), stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W związku z tym, stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Kałuży do publicznej obrony w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.**

Recenzję podpisał
Michał Sarnowski

* wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz. U. z 2026 r. poz. 1764)

Marzena Gaura