

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Tatara  
Politechnika Krakowska  
Wydział Inżynierii Lądowej

Przewodniczący Rady Dyscypliny  
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport  
dr hab. inż. Marcin Staniek, prof. PŚ

Kraków, 28.08.2023r.

**Opinia pracy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Nowak  
pt.: *Opracowanie teoretycznych podstaw nowego sposobu rektyfikacji budynków poddanych  
wpływowi górniczym, który pozwala na minimalizację kosztów z tym związanych*”,  
wykonanej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Leszka Sojdy,  
promotor pomocniczy: dr inż. Adam Marek**

**1. Podstawa opracowania opinii:** pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja Transport Politechniki Śląskiej dr. hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ – pismo nr RDILGT.512.57.2023 z dnia 12. lipca 2023r.

**2. Charakterystyka tematu i rozprawy doktorskiej**

Temat pracy podjęty przez mgr inż. Katarzynę Nowak, uczestniczkę Szkoły Doktorskiej Politechniki Śląskiej, jest aktualny i ważny z praktycznego punktu widzenia.

Recenzowana praca dotyczy problematyki rektyfikacji wychylonych budynków o zróżnicowanej konstrukcji. Pochylenie budynków na terenach górniczych to poważny problem, który może zagrażać bezpieczeństwu ludzi i mienia; dlatego kluczowe znaczenie ma przeprowadzenie odpowiednich badań, stosowanie odpowiednich technik budowlanych oraz monitorowanie sytuacji geotechnicznej, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia takich deformacji i zapewnić bezpieczeństwo budynkom znajdującym się na terenach górniczych.

Deformacje terenu powodują powstawanie uszkodzeń budynków i obiektów infrastrukturalnych oraz dużą uciążliwość ich użytkowania. Przykładowo w wyniku dokonujących się zmian nachylenia terenu, w gminie Markłowice ok. 140 budynków mieszkalnych posiada wychylenia od pionu przekraczające 15 mm/m. W stosunku do budynków o prognozowanej dużej uciążliwości użytkowania ze względu na pochylenie, podejmowane są prace profilaktyczno-zabezpieczające takie jak:

- wypłaca się jednorazowe odszkodowania, umożliwiające ich rozbiórkę; ponadto zakłady górnicze dokonują prac naprawczych w postaci poziomowania podłóg (w przypadkach gdy budynki nie są przystosowane do prostowania z uwagi na brak podpiwniczenia, stan techniczny) – dotyczy to budynków o pochyleniu powyżej 50 mm/m,

- zakłady górnicze dokonują oględzin pod kątem bezpiecznego użytkowania elementów ich wyposażenia. Na wniosek właścicieli w stosunku do większości tych obiektów, kopalnie podejmują działania zmniejszające uciążliwość ich użytkowania (poziomowanie podłóg, regulacja drzwi i okien, przebudowa instalacji c.o. oraz odprowadzenia wód opadowych) – dotyczy to budynków o pochyleniu w granicach 20 - 50 mm/m.

Budynki o wychyleniach od pionu nie przekraczających 20 mm/m, są za zgodą właścicieli rektyfikowane lub są wypłacane jednorazowe odszkodowania.

Należy zaznaczyć, że w obecnym stanie prawnym to poszkodowany wybiera formę naprawy obiektu, a pomimo wysuwanych propozycji rektyfikacji, większość właścicieli budynków nadmiernie wychylonych decyduje się na jednorazowe odszkodowania.

Najogólniej budynki mające pochylenia powyżej 20 mm/m są wskazywane (zalecane) do rektyfikacji, a w przypadku pochyleń większych od 25 mm/m uważa się, że powinny być rektyfikowane (PN-EN 1996-2/A1:2013 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonywanie konstrukcji).

Tematyka rozprawy dotyczy propozycji nowego sposobu rektyfikacji budynków na terenach górniczych objętych deformacjami powierzchni, które zostaną do tego procesu przystosowane już na etapie projektu. Według Doktorantki dodatkową zaletą takiego systemu jest fakt, że samo przeprowadzenie procesu rektyfikacji będzie wymagało minimalnych przygotowań, a sam proces będzie można powtarzać wielokrotnie, co przy obecnie stosowanych procesach rektyfikacji jest niemożliwe.

## **2.1. Treść rozprawy, ocena celów i tez pracy**

Przedstawiona do recenzji praca napisana została w języku polskim i zawiera:

- i. 12 rozdziałów na 134 stronach; poszczególne rozdziały są zróżnicowane pod względem liczby stron (od 2 do 27) oraz 89 rysunków, 24 tablic;
- ii. całość jest uzupełniona streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz bibliografią (rozdz. 12), na którą składa się:
  - a. 51 pozycji (monografie, artykuły w czasopismach naukowych i technicznych, publikacje w materiałach konferencyjnych);
  - b. 2 normy, 2 ustawy, 4 opisy patentowe, 1 Instrukcja i 1 Zasady;
  - c. 11 stron internetowych.

W rozdziale 1. Doktorantka wprowadza czytelnika w problematykę podziemnej eksploatacji kopalni, akcentując potrzebę zdefiniowania nowego prawdopodobnie tańszego sposobu rektyfikacji nowoprojektowanych obiektów budowlanych, a w rozdziale 2. przedstawiła cele rozprawy i środki do ich realizacji oraz sformułowała dwie tezy naukowe. Wykazaniu prawdziwości postawionych tez

pomaga realizacja kilku zadań naukowo - badawczych. Uważam, że tezy i cele pracy zostały właściwie sformułowane. Najistotniejsze, są zasadnicze rozdziały 5 do 10 pracy dotyczące własnych badań i nieliniowych analiz numerycznych w powiązaniu z doborem kształtu i właściwości warstwy poślizgowej proponowanego rozwiązania rektyfikacyjnego. W rozdziale 11 Autorka podała wnioski z przeprowadzonych badań i analiz.

### 3. Uwagi krytyczne, dyskusyjne i szczegółowe

Po szczegółowym zapoznaniu się z treścią rozprawy przedstawiam następujące uwagi i pytania, które zestawilem w dwóch grupach:

#### 3.1. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. W pracach naukowych powinno się unikać podawania nazw producentów, w tym przypadku smarów, co można by uznać za reklamę firmy i produktu. Z takimi przypadkami spotykamy się w pracy. Można napisać smar nr 1, 2, 3 i 4; uwaga ta odnosi się także do folii izolacyjnej, użytych siłowników, czy regulatora manualnego układu grzejnego, chłodzącego.
2. W początku rozdziału 4 podano zalety proponowanego rozwiązania, ale czy już na tym etapie bez analiz należało pisać, że jest to tańszy system.
3. Doktorantka porusza aspekty ekonomiczne napraw przytaczając zaczerpnięte z literatury przedmiotu zależności służące do określenia kosztów. Dobrze by było oprócz zebrania w jednym miejscu tych informacji posłużyć się prostym przykładem obliczenia takich kosztów dla reprezentatywnego budynku np. murowego o 2 kondygnacjach stosując jedną z metod rektyfikacji. W rozprawie Autorka nie dokonała porównania kosztów rektyfikacji wykonanej zgodnie z dotychczasowymi metodami (szczegółowo omawiane w rozdz. 3), a proponowanym nowym sposobem. Proszę o ustosunkowanie się do tej kwestii.
4. W rodz. 4 na str. 39 Doktorantka informuje, że na podstawie modelu numerycznego będzie można określić optymalny kształt budynku. Stwierdzenie to budzi wątpliwości, bo chyba nie chodzi o kształt budynku. Proszę o wyjaśnienie.
5. Jaki był udział doktorantki w badaniach laboratoryjnych na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej właściwości smarów oraz badań z użyciem mikroskopu skaningowego wybranego smaru w Instytucie Ceramiki i Materiałów (Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach).
6. Jaki był udział Doktorantki w badaniach laboratoryjnych warstwy poślizgowej wykonanych na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej.

7. Doktorantka nie podała dokładności wykonywania pomiarów (poza wyznaczeniem przemieszczeń), oraz str. 78 – kto zaprojektował stanowisko pomiarowe umożliwiające uzyskanie górnej powierzchni dolnej betonowej płyty w kształcie części sfery.
8. Str. 55 - kto zaprojektował specjalne stanowisko laboratoryjne wykonane przez Zakład Blacharsko - Ślusarski Usługowo – Wytwórczy.
9. Str. 57 – 59 kto zaprojektował specjalne stanowisko laboratoryjne do ogrzewania i oziębiania badanego układu.
10. Na str. 59 Autorka wzmiankuje o analizie statystycznej, informując, że dla każdego rodzaju smaru, temperatury i wartości siły pionowej prowadzono 5 pomiarów, ale z uwagi na odbieganie wyniku dla pierwszej próby to tak naprawdę dla czterech. Proszę o komentarz w tej sprawie w kontekście np. rys. 6-5.
11. W analizie statystycznej dla wszystkich zależności poprowadzono logarytmiczne linie trendu; na rysunkach 6-5 do 6 – 10 brak jest równań regresji oraz wartości  $R^2$ .
12. We wnioskach Autorka napisała, że cyt. „Najniższe wartości współczynników tarcia statycznego f warstw poślizgowych fundamentu rektyfikacyjnego występują w przedziale naturalnie utrzymujących się temperatur w poziomie posadowienia obiektu budowlanego ( $t = 5^{\circ}\text{C} \div 10^{\circ}\text{C}$ )”. Z drugiej strony na str. 81 i 83 podaje informacje, że badania laboratoryjne wykonano tylko i wyłącznie w temperaturze o wartości  $20^{\circ}\text{C}$ , a przy czym na str. 83 napisała, że dla każdej wartości naprężeń, przyjęty smar, w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ , wykazywał najmniejsze wartości współczynników tarcia. Proszę o wyjaśnienie moim zdaniem tej niespójności pomiędzy wnioskami, a wywodami zamieszczonymi w pracy.
13. Str. 89 i p. 11.2 podano, że wartości współczynników tarcia statycznego są niższe im mniejszy jest promień  $r$  zakrzywienia powierzchni stykających się ze sobą dla danych naprężeń  $\sigma$  - proszę o wyjaśnienie, czy Doktorantka rzeczywiście badała inne wartości promieni zakrzywienia. Proszę o wyjaśnienie, najlepiej w formie graficznej.
14. Autorka nie podała jakich elementów skończonych używała w analizach numerycznych.
15. Str. 108 – współczynnikowi tarcia nadaje się wartość, a nie wymiar; jest to przecież wielkość bezwymiarowa.
16. Jakie były przesłanki przyjęcia stalowych okrągłych rur, a nie np. stalowej płyty na całej powierzchni płyty betonowej w celu realizacji równomiernie rozłożonego obciążenia i czy takie przyjęcie dobrze odwzorowuje oddziaływanie budynku na płytę fundamentową? Proszę o szczegółowe wyjaśnienie.
17. W tablicy 10-1 i w tablicy 10-2 powinny być podane różnice procentowe.

18. Na rys. 10-15 i 10-16 na mapach ściskających i ścinających naprężeń na końcu trwania obciążenia pojawiają się rozproszone obszary dużych wartości naprężeń - proszę o podanie przyczyn takich rozkładów.

19. W p. 11.3 Doktorantka wspomina o zastrzeżeniu patentowym – o jaki patent chodzi?

20. Doktorantka nie podała oryginalnych elementów pracy.

### 3.2. Uwagi szczegółowe

Pracę cechuje, oprócz dobrego poziomu merytorycznego, dobry poziom edytorski, pomimo dostrzeżonych nielicznych usterek natury redakcyjnej. Poniżej zestawiono uwagi szczegółowe, w tym, i najistotniejsze redakcyjne:

1. Na str. 26, 48, 49, używa się terminu „opiera się” – nie jest to szczęśliwe określenie; można użyć np. bazuje.
2. W kilku miejscach zauważyłem błędne używanie terminu wielkość zamiast wartość i odwrotnie – np. str. 76, 84, 97, 114.
3. Str. 63 i 86 - powtórzenia wzoru na tarcie spoczynkowe.
4. Praca jest pisana w języku polskim więc nie widzę potrzeby używania terminologii zaczerpniętej z języka angielskiego.
5. Str. 95, 96 i 112 - sformułowanie obliczenia numeryczne nie jest właściwe.
6. Niepotrzebnie używa się „.” przy podpisach rysunków (np. a.)
7. Str. 108 – współczynnikowi tarcia nadaje się wartość a nie wymiar.
8. Str. 111 – powinno być „...tę.” a nie „...tą.”.
9. Dane bibliograficzne w rozdz. 12 często są niekompletne – brakuje numerów stron, a w przywołaniach stron internetowych nie podano daty dziennej korzystania z tego materiału. Ponadto dwie pozycje autorstwa Marczenko, Marczewski z 2001 powinny być rozróżnione literą a i b.

### 4. Ocena pracy

Z tytułu pracy wynika, że Autorka podjęła się opracowania teoretycznych podstaw nowego sposobu rektyfikacji budynków poddanych wpływom górniczym, który pozwala na minimalizację kosztów.

Autorka w rozdziale 3 zawarła informacje zaczerpnięte z Ustawy prawo geologiczne i górnicze dotyczące sposobów ustalania ekonomicznych kryteriów opłacalności związanych z prowadzonymi robotami budowlanymi w budynkach w zakresie usuwania skutków postępującej podziemnej eksploatacji górniczej oraz zasad wyznaczania wartości odszkodowawczej oraz przytacza pełne zapisy

artykułów Kodeksu Cywilnego. Odniosła się także do społecznych skutków związanych w naprawą wychylonych budynków. Moim zdaniem niepotrzebne jest przytaczanie pełnej treści artykułów Ustawy i Kodeksu. Wystarczyłoby ograniczyć się do podania odpowiednich numerów artykułów Ustawy i Kodeksu.

Brak jest opracowań dotyczących proponowanego w rozprawie innowacyjnego rozwiązania konstrukcyjnego polegającego na zdublowanym fundamencie o charakterystycznym kształcie styku. W związku z tym można stwierdzić, że proponowane rozwiązanie konstrukcyjne fundamentu budynku, który byłby prawie niewrażliwy na wpływy deformacji podłoża wypełnia lukę badawczą. Ponadto dysertacja wypełnia także lukę dotyczącą braku szczegółowych wytycznych (procedur) określania wartości współczynników tarcia dla różnego rodzaju fundamentów (np. promieni krzywizny fundamentów płytowych o kształcie części sfery), warstw (np. folii), przekładek (np. smarów), obciążeń pionowych (np. równomiernie rozłożonych obciążeń wywieranych na podłożu przez różnej wielkości budynki i budowle) oraz temperatur (np. obniżonych bądź podwyższonych).

Autorka podaje osiem cząstkowych celów, których realizacja ma ustalić optymalne parametry pracy zdublowanego płytowego fundamentu żelbetowego z warstwą poślizgową na styku pomiędzy jego obydwoma częściami, przy przeprowadzaniu procesu prostowania obiektu. Aby zrealizować założone tezy pracy Autorka przeprowadziła badania laboratoryjne warstw poślizgowych dla czterech wybranych smarów w zakresie temperatur od 5°C do 50°C i obliczyła współczynniki tarcia.

Na podstawie analizy wyników badań, Doktorantka wytypowała warstwę poślizgową o najmniejszym współczynniku tarcia w temperaturze pokojowej (20°C). Zbadła zachowanie się warstw poślizgowych oraz pomniejszonej konstrukcji zdublowanego płytowego fundamentu żelbetowego z warstwą poślizgową na styku pomiędzy jego obydwoma częściami dla jednego wytypowanego smaru o najniższych współczynnikach tarcia w temperaturze pokojowej równej 20°C. Doktorantka wykonała obliczenia współczynników tarcia dla smaru o odczynie zasadowym dla modelu powierzchni sferycznej, w temperaturze pokojowej wynoszącej 20°C i zmiennych wartościach naprężeń.

Przeanalizowała wpływ przyjętych rozwiązań materiałowych smaru, temperatury oraz wartości naprężeń na wartości współczynników tarcia warstw poślizgowych oraz wykonała analizę porównawczą współczynników tarcia podczas badań laboratoryjnych warstwy poślizgowej oraz modelu powierzchni sferycznej, dla wytypowanego smaru w temperaturze pokojowej równej 20°C, a także zamodelowała wpływ przyjętych rozwiązań materiałowych smaru, temperatury oraz wartości naprężeń na wartości współczynników tarcia warstw poślizgowych.

Doktorantka analizowała dla wybranych 4 smarów i przedziału temperatur 5 – 50°C oraz wartości przyłożonych sił pionowych wpływ zastosowanego smaru, temperatury oraz naprężeń na wartości współczynnika tarcia statycznego. Na podstawie analiz wyników, Autorka wykazała, że najniższe

wartości współczynnika tarcia statycznego dla danych temperatur i naprężeń odnotowano dla smaru o odczynie zasadowym. W związku z tym jest to najbardziej odpowiedni smar do zastosowania w warstwie poślizgowej zdublowanego żelbetowego fundamentu podczas rektyfikacji różnej wielkości obiektów budowlanych poddanych wpływom górniczym przy temperaturach zwykle panujących w poziomie posadowienia budowli.

Wykonane przez Doktorantkę badania modelu powierzchni sferycznej, z wypukłością skierowaną ku dołowi, i wybranym smarem (który w temperaturze pokojowej (20°C), dla każdej analizowanej wartości naprężeń, wykazywał najmniejsze wartości współczynników tarcia) pozwoliły na określenie wartości współczynnika tarcia statycznego. Przy analizie laboratoryjnego modelu powierzchni sferycznej Doktorantka podała dokładność pomiarów przemieszczeń górnej betonowej płyty. Wyniki badań wskazują na zmniejszanie się wartości współczynnika tarcia statycznego wraz ze wzrostem naprężeń w przypadku powierzchni zakrzywionej. W przypadku powierzchni płaskiej Doktorantka wykazała, że wartości współczynnika tarcia statycznego dla powierzchni płaskiej są tym wyższe, im wyższe są wartości naprężeń  $\sigma$ .

Nieliniowe analizy numeryczne Doktorantka wykonała programem ABAQUS 2020. Analizy numeryczne dotyczyły warstwy poślizgowej oraz modelu powierzchni sferycznej. Celem tych analiz było porównanie wyników uzyskanych z obliczeń z otrzymanymi z badań laboratoryjnych. Doktorantka wykonała analizy numeryczne, co prawda przedstawione tylko w przypadku jednego układu. Umożliwiają one symulację zachowania konstrukcji fundamentu oraz całego obiektu budowlanego, z odpowiednio ukształtowaną warstwą poślizgową, przy wykonywaniu procesu prostowania budowli bez konieczności przeprowadzania czasochłonnych i pracochłonnych badań laboratoryjnych. Doktorantka wykazała, że z dobrą dokładnością można wyznaczyć siłę poziomą, aby przemieścić betonową płytę o konkretną wartość, przy założeniu, że znana jest wartość współczynnika tarcia warstwy poślizgowej.

Realizacja rozprawy była możliwa poprzez m.in. opanowanie przez Doktorantkę współczesnych narzędzi modelowania, analizy konstrukcji oraz realizację interdyscyplinarnych badań laboratoryjnych w celu określenia właściwości wybranych smarów (liczba kwasowa i zasadowa). Te wyniki posłużyły do wyboru smaru o właściwościach zasadowych.

Na podstawie opiniowanej rozprawy mogę stwierdzić, że Doktorantka jest w stanie samodzielnie prowadzić badania naukowe, wykazała znajomość narzędzi badawczych, w tym tych związanych z analizą numeryczną.

Wyniki Jej rozprawy mogą być przydatne przy projektowaniu nowych budynków na terenach objętych deformacjami terenu na skutek eksploatacji górniczej, w tym m.in. jego nachylenia. Doktorantka zajęła się zagadnieniem wpisującym się w obszar zagadnień inżynierii lądowej.

Utylitarne wyniki podane w pracy doktorskiej mogą być wykorzystane w pracach projektowych nowych budynków na terenach górniczych na których występują nachylenia terenu.

#### **5. Najważniejsze osiągnięcia naukowe Autorki rozprawy – elementy oryginalne**

W mojej opinii do najważniejszych, oryginalnych osiągnięć naukowych i aplikacyjnych recenzowanej rozprawy można zaliczyć:

- i. Opracowanie i wykonanie badań laboratoryjnych warstw poślizgowych, wyznaczenie współczynników tarcia dla różnych zakresów temperatur oraz naprężeń i wybór na podstawie analiz wyników tych badań materiału spełniającego przyjęte kryteria.
- ii. Opracowanie i wykonanie badań laboratoryjnych związanych z doбором kształtu zdublowanego fundamentu.
- iii. Opracowanie modelu obliczeniowego (komputerowego) umożliwiającego symulację badań laboratoryjnych i potwierdzającego możliwość przeprowadzenia procesu rektyfikacji i wykonanie analiz numerycznych w zakresie nieliniowym.

#### **6. Wniosek końcowy**

Pomimo uwag krytycznych wymienionych w p. 3 i 4, opiniuję pracę pozytywnie. Podane uwagi krytyczne nie umniejszają naukowej wartości pracy. W podsumowaniu rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Nowak, stwierdzam że:

- i. rozprawa dotyczy ważnego i aktualnego problemu nie tylko z punktu widzenia naukowego, ale także i praktycznego,
- ii. uzyskane wyniki, na podstawie badań laboratoryjnych i analiz numerycznych dają podstawę do projektowania rektyfikacji budynków wg zaproponowanego przez Doktorantkę rozwiązania,
- iii. postawione tezy pracy zostały wykazane.

Uważam, że przedstawiona przez mgr inż. Katarzynę Nowak rozprawa doktorska zawiera oryginalne rozwiązania problemów naukowych i spełnia w wystarczającym stopniu warunki stawiane pracom doktorskim określonym w Ustawie "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2018 r. poz. 166 z późn. zm.). Biorąc powyższe pod uwagę wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Katarzyny Nowak do publicznej obrony opiniowanej rozprawy.

