

**Prof. dr hab. inż. Marek Cała**  
**Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki**  
**Wydział Górnictwa i Geoinżynierii**  
**Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie**

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Łukasza Kapusty pt.:

*Analiza deformacji budynków mieszkalnych wywołanych krzywizną terenu górniczego*

## **I. PODSTAWA RECENZJI**

Niniejsza recenzja została wykonana na zlecenie dr hab. inż. Joanny Bzówki, prof. nadzw. w Politechnice Śląskiej (umowa nr UD/19/RB0/2017). Zlecenie nawiązuje do uchwały Rady Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii z dnia 26 kwietnia 2017, w sprawie powołania recenzentów w przewodzie doktorskim mgr inż. Łukasza Kapusty realizowanym w dyscyplinie budownictwo.

## **II. MERYTORYCZNA ZAWARTOŚĆ PRACY**

Na rozprawę składa się osiem zasadniczych rozdziałów.

W pierwszym, wstępnym rozdziale zawarto krótkie wprowadzenie do tematyki poruszanej w pracy oraz sformułowano jej cele oraz tezę.

Obszerny rozdział drugi poświęcony jest przeglądowi stanu wiedzy w zakresie wpływu eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu i obiekty budowlane na niej zlokalizowane. Omówiono podstawowe wskaźniki deformacji powierzchni terenu oraz podano kategorie terenów górniczych. Przedstawiono szereg przykładów wpływu eksploatacji podziemnej na obiekty powierzchniowe, co bogato zilustrowano zdjęciami. Omówiono wpływ poziomych odkształceń podłoża oraz krzywizny na obiekt budowlany.

W rozdziale 3 zajęto się problematyką geodezyjnego pomiaru odkształceń powierzchni terenu oraz obiektów budowlanych zlokalizowanych na terenach górniczych. Scharakteryzowano różne metody pomiaru deformacji powierzchni terenu oraz przemieszczeń i odkształceń budynków.

Czwarty rozdział pracy to omówienie przeprowadzonych przez Autora pracy badań terenowych. Polegały one na geodezyjnym pomiarze przemieszczeń i odkształceń konstrukcji tradycyjnych, wielorodzinnych budynków mieszkalnych oraz pomiarach

deformacji podłoża w ich bezpośrednim otoczeniu. Do przeprowadzenia badań ostatecznie Autor wybrał wielorodzinne budynki wykonane w technologii murowej przy ulicy Raławickiej w Bytomiu (teren górniczy KWK „Bobrek-Centrum”) oraz wielorodzinne budynki wielkopłytowe przy ulicy Adama w Katowicach (obszar KWK „Wieczorek”). Monitorowaniem geodezyjnym została objęta zarówno powierzchnia terenu sąsiadująca z obiektami, jak i same budynki. Wszystkie pomiary wykonano na geodezyjnych punktach ziemnych w postaci stalowych prętów utwierdzonych w betonowych fundamentach znajdujących się poniżej strefy przemarzania gruntu.

W obszernym rozdziale 5 przedstawiono wyniki badań terenowych dla lokalizacji „Bytom” i „Katowice”. Przeprowadzono dla nich pomiary deformacji powierzchni terenu, a następnie na ich podstawie wyznaczono nachylenia i krzywizny. Takie same cykle pomiarowe i obliczeniowe wykonano następnie dla reperów ściennych zainstalowanych na obserwowanych budynkach. Kolejnym etapem eksperymentu było porównanie nachylenia monitorowanych budynków z pomiarami wykonanymi dla linii terenowej umiejscowionej bezpośrednio w ich pobliżu. Dalej analizowano stosunki krzywizny terenu do krzywizny rozpatrywanych budynków i na tej podstawie sformułowano szereg wniosków przyczynowo-skutkowych. Ujmują one wzajemne zależności pomiędzy wskaźnikami deformacji, lokalizacją eksploatowanej parceli górniczej, gabarytami budynku oraz materiałem konstrukcyjnym (budynki murowane lub żelbetowe).

W rozdziale 6 zajęto się symulacjami numerycznymi monitorowanych budynków. Zdecydowano się modelować tylko obiekty tradycyjne, murowane zlokalizowane w Bytomiu (dla budynku żelbetowego w Katowicach pomiary geodezyjne nie wykazały krzywizny obiektu). Pomiary dla obiektu „Bytom” (omówione w rozdziale 5) pozwoliły na określenie rzeczywistej zależności krzywizny konstrukcji budynków murowanych w stosunku do krzywizny terenu górniczego w ich otoczeniu. Umożliwiło to przestrzenne modelowanie numeryczne obiektu budowlanego zlokalizowanego na podłożu gruntowym poddanym wpływowi eksploatacji górniczej. Modele zostały skalibrowane dla przypadku deformacji pomierzonych, a następnie przeprowadzono symulacje uwzględniające znacznie szerszy zakres parametrów (zmiennej sztywności konstrukcji i podatności podłoża gruntowego). Autor wprowadził pojęcie współczynnika  $\alpha$  będącego stosunkiem promienia krzywizny powierzchni terenu do promienia krzywizny konstrukcji budynku (lub krzywizny konstrukcji do krzywizny terenu w bezpośrednim otoczeniu). Przyjmuje on zawsze wartości mniejsze od 1 i większe od 0 (wartości 0 oraz 1 pozostają raczej w sferze teoretycznej). Współczynnik  $\alpha$  jest funkcją sztywności budynku (czyli zależy od materiału konstrukcyjnego), podatności podłoża oraz proporcji H/L (stosunku wysokości do długości – czyli cechy geometrycznej budynku). W ostatnim podrozdziale 6.4 pokazano analizę naprężeń wywołanych krzywizną dla obiektów budowlanych uzyskując (według Autora)

dobrą zgodność wyników obliczeń z rzeczywistymi (pomierzonymi) odkształceniami budynków.

W rozdziale 7 Autor przeprowadził obliczenia dla bazowego budynku nr 16-18 zlokalizowanego w Bytomiu dla trzech różnych wariantów (metodą zastępczego układu belkowego według instrukcji ITB, metodą rusztu zastępczego oraz metodami numerycznymi z zastosowaniem współczynnika  $\alpha$ ). Obliczenia dały bardzo zbliżone wyniki w zakresie rozkładu naprężeń i wykazały przydatność metody wyznaczania sił wewnętrznych wywołanych krzywizną terenu z zastosowaniem współczynnika  $\alpha$ .

Podsumowanie przeprowadzonych wyników obliczeń i analiz zawarto w rozdziale 8. Zebrano w nim najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych studiów literaturowych, symulacji numerycznych oraz obliczeń metodami analitycznymi.

### III. KRYTYCZNA OCENA PRACY

Teza pracy została sformułowana w sposób dość odważny i szeroki – zawiera stwierdzenie „*tezą pracy jest określenie rzeczywistych zależności pomiędzy krzywizną terenu wywołaną ujawnieniem się górniczych deformacji powierzchni (...) a krzywizną tradycyjnych, wielorodzinnych budynków mieszkalnych*”. Autor obiecuje tutaj rozwiązanie całego problemu, a przecież praca jest tylko pewnym krokiem w tym kierunku. Praktycznie teza została zrealizowana dla jednego obiektu i uogólniona za pomocą przestrzennych obliczeń numerycznych, obarczonych dość istotnymi uproszczeniami i założeniami początkowymi.

Rozwinę ten temat poniżej. Przede wszystkim warto sobie zadać pytanie o warunki brzegowe przeprowadzonych pomiarów, stan obiektów budowlanych oraz rozpoznanie właściwości ośrodka gruntowego. Najprawdopodobniej zarówno pod obiektem w Bytomiu, jak i Katowicach miała już miejsce wcześniejsza eksploatacja pokładów węgla (wskazuje to nawet pobieżna analiza map na rys. 4.4 i 4.10.). Nie ma danych kiedy ona się odbyła ani też nie analizowano jej wpływu na istniejące obiekty budowlane. Rozumiem, że założono pełne wygaśnięcie wcześniejszych wpływów eksploatacji, ale nie ma danych na temat jakie skutki wywołały one zarówno w konstrukcji obiektu, jak i podłożu gruntowym. Zaciśnięta dylatacja na obiekcie „Bytom” sugeruje, że podlegał on już wpływom eksploatacji podziemnej (budynek ma prawie sto lat, rok budowy 1920). Zatem „pomiar zerowy” z dnia 24.10.2014 nie był takim w rzeczywistości.

Sam Autor zresztą potwierdza taki stan rzeczy pisząc wprost: „*Potwierdzeniem wystąpienia odkształceń konstrukcji jest pojawienie się pionowych zarysowań na monitorowanej ścianie (fot. 5.2) w miejscu, które było już poprzednio remontowane. Wykonano tutaj widoczne na prawym zdjęciu przemurowania oraz ponowne tynkowanie fragmentu ściany. Deformacje podłoża spowodowały zatem ponowne uszkodzenie budynku*

w osłabionym na skutek poprzednich eksploatacji fragmencie konstrukcji". Autor niestety ogranicza się jednak tylko do tego stwierdzenia nie próbując analizować tego faktu.

Dodatkowym czynnikiem zaburzającym ciągłość obserwacji było także wyburzenie segmentu nr 30 obiektu w Bytomiu.

Warto także zwrócić uwagę na stwierdzenie Autora ze str. 67: „...natomiast w trakcie zmiany charakteru wygięcia terenu z wypukłego na wklęsły płynność ta na niektórych punktach została zagubiona”. Przyczyną takiego stanu rzeczy mógł być na przykład błąd pomiaru, ale także niejednorodna budowa geologiczna podłoża, wady w konstrukcji obiektu czy też reaktywacja starych zrobów. Brak odpowiedniego komentarza lub pełniejszej analizy tych zależności – o ile to jest w ogóle możliwe.

Kolejnym założeniem upraszczającym jest przyjęcie, że budynki są zlokalizowane na podłożu o jednorodnych parametrach. Niestety, dla potrzeb pracy nie wykonano badań geotechnicznych, ale oparto się na dokumentacji. Dla potrzeb obliczeń numerycznych założono, że podłoże jest reprezentowane przez model liniowo-sprężysty opisany współczynnikiem podatności.

Te wszystkie przyjęte uproszczenia lub założenia upraszczające niewątpliwie mają wpływ na wyniki przeprowadzonych pomiarów i dalej obliczeń numerycznych. Przedstawiona powyżej krótka analiza miała na celu lepsze naświetlenie stopnia komplikacji zagadnienia poruszanego w pracy.

Najbardziej cenną częścią pracy są wykonane osobiście przez Autora pracy pomiary. Ich prowadzenie wymagało dużych nakładów pracy i szczegółowej analizy wyników. To właśnie doprowadziło Autora do sformułowania szeregu wniosków zarówno o charakterze jakościowym jak i ilościowym. Najbardziej cenne okazały się być wyniki pomiarów dla obiektów murowanych w Bytomiu (a dokładnie budynków 16-18 oraz 20). W następnym kroku przeprowadzono kolejne serie obliczeń dla zmiennej sztywności konstrukcji oraz podatności podłoża. Uwzględniając dodatkowo geometrię analizowanych obiektów, pozwoliło to na utworzenie całego wachlarza rozwiązań dla różnych wariantów obliczeniowych.

Kolejną część pracy stanowią przestrzenne symulacje numeryczne. Obliczenia zostały wykalibrowanych na podstawie pomiarów przeprowadzonych na obiektach w Bytomiu. Przeprowadzone badania i analizy pozwoliły na znalezienie (dla określonego typu obiektów – budynków wielorodzinnych wykonywanych w technologii murowej) zależności pomiędzy krzywizną terenu a krzywizną obiektów budowlanych. Jest to niewątpliwie największe osiągnięcie wynikające z niniejszej pracy. Autor jest jednak świadomy ograniczonej aplikacyjności sformułowanych zależności i sam wskazuje na konieczność dalszych pomiarów oraz weryfikacji numerycznej umożliwiającej bardziej zaawansowane modelowanie konstrukcji budynków oraz właściwości podłoża gruntowego.

Autor w zakresie tematyki rozprawy przeprowadził w pracy dość ograniczony przegląd literatury oraz krytyczną jej analizę. Lista literatury nie jest zbyt bogata i obejmuje 69 pozycji, z których tylko kilka jest w językach angielskim i niemieckim.

Praktycznie regułą jest, że poszukiwanie rozwiązania każdego problemu z zakresu geoinżynierii, można przyrównać do rozwiązywania układu wielu równań z liczbą niewiadomych większą (niekiedy kilkukrotnie!) od liczby równań. Z podobnym zadaniem zmierzył się Autor w swojej rozprawie. Trzeba przyznać, że podczas pisania rozprawy nie ustrzegł się pewnych nieścisłości, ale całość należy ocenić pozytywnie – jako istotny krok w kierunku rozwiązania zagadnienia wzajemnych zależności pomiędzy krzywizną terenu, a krzywizną budynków na terenach poddanych wpływom podziemnej eksploatacji górniczej.

Warto także zwrócić uwagę na dość staranną szatę graficzną recenzowanej pracy. Układ tekstu jest przejrzysty, rysunki są jasne i czytelne.

Podczas lektury pracy nasunęło mi się wiele uwag o charakterze merytorycznym oraz pytań, które zamieszczam poniżej. Ilość przedstawionych uwag merytorycznych i komentarzy świadczy o zainteresowaniu recenzenta tą problematyką i jego przekonaniu o celowości realizacji pracy, a także potrzebie kontynuacji dalszych badań w tym zakresie.

#### **Uwagi, zastrzeżenia i komentarze merytoryczne**

1. Wartości wydobywania węgla dla Polski zawarte w tabeli 1.1 sugerują jego wzrost w kolejnych latach, co nie jest prawdą. W roku 2016 wydobyto 70.4 mln ton i raczej prognozuje się spadek wydobywania.
2. Na stronie 4 Autor pracy stwierdza „Podczas wydobywania pustki te są wypełniane przez górotwór zalegający powyżej”. Nie jest to stwierdzenie poprawne. Na skutek stanu naprężenia panującego w masywie następuje zaciskanie i wypełnianie pustek materiałem skalnym, który przemieszcza się ze wszystkich stron. Podobnie na str. 8 stwierdzenie „pustki te są wypełniane przez warstwy górotworu zalegające nad miejscem wydobywania, jest niepoprawne, powinno być: „...są wypełniane przez warstwy górotworu zalegające w otoczeniu miejsca wydobywania...”.
3. Wykorzystany we wzorach 2.7-2.10 współczynnik odkształceń poziomych  $B$  nie ma wartości stałej – także może wykazywać dość znaczącą zmienność. Jest to dodatkowy parametr teorii Budryka-Knothego, który jest ostatnio przedmiotem wielu ciekawych badań.
4. Razi kategoryczność stwierdzenia na str. 22: „...jeżeli wartość (odkształceń poziomych) nie przekracza 2 mm/m, wówczas nie następuje zerwanie przyczepności pomiędzy fundamentem i podłożem”. Można przyjąć takie założenie, ale nie stwierdzać w sposób tak arbitralny. Wartość ta zależy od parametrów kontaktu oraz właściwości mechanicznych zarówno gruntu, jak i fundamentu.

5. Zamieszczony na str. 102 komentarz „...procentowy udział deformacji budynków w stosunku do krzywizny terenu jest różny”, wymaga zdecydowanie rozwinięcia i wyjaśnienia.
6. Parametry konstrukcji dla obiektu w Bytomiu określono tylko na podstawie dokumentacji uzyskanej z KWK Bobrek-Centrum (str. 114). Wynika z niej także, że badania przeprowadzono tylko makroskopowo, w wybranych odślonięciach. Podobnie parametry gruntu (str. 115) przyjęto tylko na podstawie określeń słownych oraz normy. Rekomendowane byłoby chociaż przeprowadzenie punktowych badań muru i kilku odwiertów potwierdzających właściwości podłoża. Wszak to podstawowe dane do (przeprowadzonych dalej) przestrzennych obliczeń numerycznych. O czym Autor sam zresztą pisze na str. 131: „...znalezienie wzajemnej zależności opisującej odkształcalność układu: podłoże + grunt jest uzależnione od prawidłowego doboru parametrów opisujących właściwości odkształcalności obydwu tych ciał.”
7. Na stronie 117 jest „pod podeszwą fundamentu”, powinno być „pod podstawą fundamentu”.
8. Na str. 134 Autor dość śmiało stwierdza, że: „...wspomniana powierzchnia (zmienności współczynnika  $\alpha$ ) ma w zamyśle być wykorzystywana przez projektantów jako narzędzie do obliczeń wielkości deformacji konstrukcji i w rezultacie następnie do wyznaczenia sił wewnętrznych wywołanych krzywizną terenową.”. To odważne stwierdzenie nie współgra z wyważonymi poglądami prezentowanymi w podsumowaniu. Proszę o komentarz w tej sprawie.
9. Na str. 135 można znaleźć zdanie: „Generalnie zasadnicze zmiany właściwości gruntu nie wpływają znacząco na zmianę deformacji modelowanych budynków na zakrzywionym podłożu”. To stwierdzenie może być prawdziwe jeżeli grunt traktujemy jako idealnie sprężysty, ale w rzeczywistości tak nie jest. Co więcej – jestem przekonany o tym, że Autor zdaje sobie z tego sprawę, ale jednak wyciąga zbyt daleko idące wnioski bazując na uproszczonych modelach zachowania gruntu oraz konstrukcji obiektu.
10. Przestrzenne mapy poszczególnych składowych stanu naprężenia zamieszczone w podrozdziale 6.4 cechują się dość dużą nieregularnością. Myślę, że zagęszczenie siatki MES w wybranych lokalizacjach wpłynęłoby pozytywnie na jakość i czytelność map.

#### **IV WNIOSEK KOŃCOWY**

Recenzowana praca doktorska, pomimo zgłoszonych krytycznych uwag, zawiera propozycje oryginalnych rozwiązań sformułowanego w niej zagadnienia naukowego. Autor podjął w niej problem, który ma istotne znaczenie z punktu widzenia poznawczego i

praktycznego. Przeprowadzając swoje wywody wykazał się dobrą znajomością ogólnej wiedzy praktycznej i teoretycznej. Warto podkreślić, że tematyka pracy bardzo dobrze rokuje pod względem kontynuacji badań w tym zakresie. Jest to tym bardziej cenne ze względu na dalsze perspektywy prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej w obszarach zurbanizowanych.

Dlatego stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wszystkie warunki stawiane pracom doktorskim i określone w ustawie z dnia 14. 03. 2003 r. *O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* Dz.U. Nr 65, poz.595, art. 13 pkt. 1 (z późniejszymi zmianami) i może być podstawą dalszych etapów przewodu doktorskiego.

