

Recenzja rozprawy doktorskiej

Analiza deformacji budynków mieszkalnych wywołanych krzywizną terenu górniczego
autorstwa mgr inż. Łukasza Kapustę,
opracowana na podstawie pisma Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej
z dnia 10.05.2017.

Zadanie, jakie postawił sobie Doktorant w opiniowanej dysertacji jest określenie zależności pomiędzy krzywizną terenu górniczego a krzywizną konstrukcji tradycyjnych budynków mieszkalnych i na tej podstawie przeprowadzenie analizy numerycznej, mającej na celu pewne uogólnienie wyników badań, doprowadzając je do możliwości praktycznego zastosowania w obliczeniach projektowych wpływu krzywizny terenu. W tym kontekście podana w p. 1.3. teza pracy nie w pełni oddaje jej zawartość, nie obejmując zagadnienia wynikającego z analizy numerycznej.

Obliczenia budynków na wpływ krzywizny terenu są dość złożonym zadaniem. Dlatego też każdą próbę mającą na celu ich uproszczenie należy przyjąć z uznaniem. Stąd wynika pozytywna ocena podjętego tematu, chociaż sam tytuł pracy także nie w pełni oddaje jej merytoryczny zakres.

Praca, wraz z bibliografią oraz spisem rysunków i tabel, zawiera 195 stron, podzielona jest na 8 rozdziałów. Układ treści uważam za przejrzysty i logiczny.

Po wprowadzeniu, Autor w rozdziale 2, krótko opisał deformacje powierzchni terenu towarzyszące eksploatacji górniczej oraz ich wpływ na budynki. Szczególną uwagę zwrócił na rozwijane w dalszej części zagadnienia związane z:

- zależnością między krzywizną konstrukcji i swobodnego terenu, podane w pracach prof. J. Kwiatka,
- obliczeniem budynków na wpływy górnicze, według sposobu podanego w wytycznych ITB.

Po rozdziale 3, gdzie zaprezentowano zasady prowadzenia geodezyjnych deformacji terenu oraz obiektów budowlanych na terenach górniczych, w rozdziale 4 przystąpiono do omawiania własnych badań terenowych, do których wytypowano wielorodzinne budynki, wykonane w technologii tradycyjnej oraz wielkopłytywowej. Ostatecznie, ze względu na znikome

odkształcenia budynków wielkopłytowych, w części analitycznej rozpatrywano tylko budynki tradycyjne.

W tym miejscu nasuwa się uwaga o trudnościach z wyborem rzeczywistych budynków do badań wpływu eksploatacji górniczej na wyężenie konstrukcji. Podjęcie tego rodzaju badań wymaga spełnienia odpowiednich uwarunkowań górniczych i budowlanych. Mimo stosunkowo dużej liczby budynków, podlegających oddziaływaniom górniczym, bardzo rzadko, w satysfakcjonującym zakresie, są możliwe do zrealizowania obydwu te uwarunkowania. W tej sytuacji wybranie budynków, umożliwiających przeprowadzenie zaplanowanych badań, jest niewątpliwym sukcesem Doktoranta, chociaż i w tym przypadku wystąpiły pewne trudności interpretacyjne, które nie były wcześniej do przewidzenia. To już należy jednak do cech badań *in situ*.

W ramach przygotowania do badań założono punkty pomiarowe w terenie oraz na cokołach budynków. Prowadzono pomiary, umożliwiające przede wszystkim określenie krzywizn, zarówno terenu jak i budynków, a tym samym także ich obniżeń i nachyleń oraz poziomych odkształceń terenu. Pomiary prowadzono przeszło dwa lata, w przeważających odstępach czasowych między poszczególnymi cyklami pomiarowymi 2-3 tygodni, wykonując w sumie 35 cykli pomiarowych. Prace związane z przygotowaniem, a następnie wykonaniem pomiarów, były niewątpliwie bardzo czasochłonne.

Osie podłużne budynków były usytuowane prostopadle do krawędzi eksploatacji przechodzącej pod obiektami. Jest to bardzo korzystna okoliczność z uwagi na cel pracy. Jeden budynek był wolnostojący, o długości 44,3m, w którym ściany podłużne w czasie przejścia eksploatacji uległy pionowym zarysowaniom, a dwa były dwusegmentowe, znacznie krótsze – trzy segmenty o długości 12,7m, a jeden 17,4m. Należy jednocześnie zwrócić uwagę na fakt, że podczas oddziaływania eksploatacji górniczej, zaciśnięte przerwy dylatacyjne pomiędzy segmentami budynków krótszych nie wykazywały zauważalnych zmian, zarówno w fazie niecki wypukłej jak i wklęstej.

W rozdziale 5 przedstawiono wyniki pomiarów deformacji punktów terenowych oraz punktów założonych na cokołach budynków. Podkreślić należy, że pomiary były prowadzone z dużą starannością, o czym świadczą przede wszystkim bardzo regularne wykresy nachyleń, zarówno terenu jak i konstrukcji. Obniżenia punktów pomiarowych określone zostały każdorazowo względem przyjętych punktów, uznanych za stałe, co mogło powodować niedoszacowanie sumarycznych wartości. Z wykresów nachyleń wynika jednak, że nie miało to istotniejszego wpływu na końcowe wyniki. Przyjęty sposób określenia obniżeń nie może w każdym razie powodować dwuetapowego charakteru deformacji, jak podano w pracy.

Najważniejszym efektem pomiarów było uzyskanie krzywizn konstrukcji budynków i odpowiadających im krzywizn przyległego terenu. Autor, po ich wyznaczeniu w poszczególnych cyklach pomiarowych, analizuje przebieg krzywizn w czasie i w wielu przypadkach tłumaczy przyczyny odstępstw od wykresów modelowych, co szczególnie dotyczy okresów po wystąpieniu maksymalnych krzywizn wypukłych. Nie uwzględnia przy tym, że cały proces deformacji terenu na skutek eksploatacji górniczej ma charakter losowy, a przeciętne rozproszenie wartości krzywizn terenu wynosi według Popiołka $\pm 43\%$. Niezależnie od tego w każdym wyniku pomiaru występują różne błędy, na które krzywizny są szczególnie czułe. W konsekwencji zmiana krzywizn w czasie jest zazwyczaj dość nieregularna. Pragnę podkreślić, że uzyskane wykresy krzywizn należy oceniać jako prawidłowe dane otrzymane z pomiarów. Należy jednak zwrócić uwagę, że wyniki te mogą być obciążone także innymi czynnikami, jak wystąpieniem zarysowania ścian budynku długiego oraz zaburzeniami krzywizn budynków krótkich, wynikających z braku wzajemnych ruchów w stykach segmentów, o czym zresztą w rozprawie Autor wspomina. To są niepożądane zakłócenia występujące w badaniach terenowych, których zazwyczaj nie można jednak wyeliminować. W przypadku budynku długiego zaburzenia te można by przynajmniej częściowo zredukować przez określenie krzywizny metodą najmniejszych kwadratów, wykorzystując dane z pomiarów wszystkich pięciu reperów założonych na cokole ściany podłużnej, a nie tylko trzech, jak to wykonano w pracy.

W odniesieniu do poszukiwanych w badaniach relacji krzywizn konstrukcji oraz przyległego terenu przyjęto, że dotyczy to wyłącznie sytuacji odpowiadających maksymalnym krzywiznom konstrukcji. Przy takim założeniu ustalono przedziały wartości tych relacji, w ogólności oddzielnie dla przypadku krzywizn wypukłych i wklęsłych. Trzeba jednak mieć na względzie, że w wyznaczonych wartościach krzywizn zakłada się *a priori*, że błędy z pomiarów konstrukcji i terenu są mniej więcej jednakowe i w relacjach tych wzajemnie się znoszą.

Jak już podano na wstępie recenzji, analiza numeryczna, przedstawiona w p. 6 pracy, polega na uogólnieniu wyników badań, w celu możliwości zastosowania ich w procesie projektowania budynków podlegających wpływom krzywizny terenu górniczego. W analizie tej wykorzystano oprogramowanie Robot 2015.

Wychodząc z obliczeń deformacji modelowanych budynków narażonych na wpływ wypukłej krzywizny terenu, jako podstawy dalszych rozważań, Doktorant przedstawia następnie wyniki analiz w zakresie zmiany współczynnika α , określającego stosunek promienia

wypukłej krzywizny terenu do promienia wygięcia konstrukcji, w odniesieniu do budynków cechujących się analogicznymi układami konstrukcyjnymi, lecz zmiennymi wartościami:

- sztywności zastępczej EI_{zast} całego budynku,
- modułu pierwotnego E_0 gruntu, stanowiącego podłoże budynku.

W obydwu przypadkach wartości współczynnika α uzależniono dodatkowo od stosunku wysokości budynku do jego długości.

Na tej samej zasadzie określono zależności współczynnika α dla wklęsłych krzywizn. Otrzymane w ten sposób wartości współczynnika α nie mają jednak większego znaczenia praktycznego, gdyż budynki oblicza się zwykle tylko na oddziaływanie krzywizn wypukłych.

W efekcie przeprowadzonych analiz określono powierzchnie zmienności współczynnika α , które według Doktoranta można uogólnić do budynków tradycyjnych, w zależności od ich sztywności EI i stosunku wysokości do długości. Nie podano jednak, że może to mieć zastosowanie w budynkach o zbliżonym układzie nośnym i zbliżonej konstrukcji, posadowionych w podobnych warunkach jak budynki badane. Z uwagi na fakt, że budynki mają wiek około 100 lat (budynek długi powstał w 1920 r.), możliwość zastosowania współczynnika α we współczesnym projektowaniu jest zatem ograniczona.

W opisanej analizie numerycznej Doktorant przyjął założenie, że wszystkie wyniki prowadzonych analiz, które otrzymano w wyniku modelowania badanych budynków, powinny w pełni odpowiadać wynikom pomiarów wygięcia rzeczywistej konstrukcji. Jest to wątpliwe założenie, między innymi z uwagi na występujące w wynikach pomiarów odchyłki, mające źródło w niedokładności pomiarów, oraz wykorzystaniu do analizy konstrukcji na oddziaływania górnicze wytycznych ITB, zalecanych wyłącznie do projektowania, a tym samym zawierających pewne uproszczenia obliczeniowe, mające na celu zapewniać bezpieczeństwo projektowanej konstrukcji. W tego rodzaju pracach powinno się korzystać z dokładnych modeli obliczeniowych.

Przy tym założeniu, w dalszej części Autor przeprowadza analizę numeryczną normalnych naprężeń poziomych modeli badanych budynków, wywołanych krzywizną terenu, określoną w wyniku pomiarów. W konkluzji stwierdza, że otrzymane rozkłady naprężeń są zgodne z typowymi, opisywanymi w literaturze przykładami, oraz w znacznej mierze z wytycznymi ITB. Nie komentuje jednak możliwych różnic w tych wynikach, mających źródło w przyjęciu w obliczeniach modelu sprężystego dla uszkodzonego budynku dłuższego oraz nieuwzględnienia zakłóceń w budynkach krótszych, wynikających z pracy przerw dylatacyjnych.

W rozdziale 7 pracy przedstawiono przykład obliczeń budynku, trzema metodami na wpływ krzywizny terenu, z czego dwie metody za pomocą współczynnika α , otrzymanego z badań, natomiast jedna – według wytycznych ITB, stosując podejście zastępczego układu belkowego. Wobec uzyskania praktycznie zbieżnych wyników, wykazano w ten sposób pełną przydatność metody współczynnika α .

Zakończenie pracy stanowi rozdział 8, podsumowanie i wnioski, w którym Doktorant podkreśla, że praktyczna przydatność zastosowania w projektowaniu współczynnika α zależy od wielu czynników budowlanych. Nie wymienia w tym zakresie bardzo istotnej roli oceny błędu pomiarowego i rozproszenia losowego w pomiarach krzywizny terenu na wyniki badań.

Niezależnie od podanych już uwag merytorycznych nasuwają się także następujące uwagi o charakterze ogólnym.

- 1) W pracy mówi się kilkakrotnie o różnym stopniu współpracy obiektu z podłożem – np. strony: 85, 86. Jakie przyjęto kryteria różnicowania tej współpracy ?
- 2) Przy omawianiu przebiegów w czasie pomierzonych parametrów deformacji konstrukcji lub terenu, w przypadkach nie pokrywających się wykresów, mówi się o ich rozwarstwieniu – np. strony: 77, 82. W zasadzie linie wynikające z pomiarów *in situ* nigdy się nie pokrywają.
- 3) W części numerycznej pracy często jest formułowane wymaganie *pełnej zgodności* (str. 131) wyników pomiarów i obliczeń lub *wiernego* (str. 128) odzwierciedlenia w obliczeniach rzeczywistej sytuacji terenowej i inne, o podobnym charakterze.
- 4) Do pracy powinny być załączone, przynajmniej podstawowe wyniki pomiarów.

Recenzowana praca jest trudnym w realizacji przedsięwzięciem, gdyż ma charakter interdyscyplinarny. Zagadnienia dotyczące deformacji terenu, powodowane eksploatacją górniczą wymagała znajomości z zakresu mechaniki górotworu. Zaplanowanie, a później przeprowadzenie pomiarów obniżeń i deformacji terenu i konstrukcji oraz ich interpretacja wymagała wiedzy z zakresu pomiarów terenów górniczych i wiedzy czysto geodezyjnej, a przeprowadzenie końcowej analizy wpływu deformacji terenu na badane budynki, wiedzy z zakresu złożonych zagadnień statyki budowli narażonych na oddziaływania górnicze, w czym nieodzowna była znajomość metod komputerowych.

We wszystkich tych zagadnieniach mgr inż. Łukasz Kapusta wykazał się co najmniej dobrym przygotowaniem teoretycznym, a także praktycznym. Na najwyższe uznanie zasługuje wybór obiektów do badań, dokonany z dużą znajomością zagadnień podjętych w pracy, przeprowadzenie pomiarów oraz ich analiza numeryczna. Nie uwzględnienie w tej analizie, w ogólności błędów i innych odchyłek pomiarowych i interpretacyjnych, jest tutaj

usprawiedliwione z uwagi na fakt, że jest to, moim zdaniem, zadanie na oddzielną pracę doktorską. Z drugiej strony są to, w głównej mierze specjalistyczne zagadnienia z dziedziny deformacji powierzchni terenów górniczych i w pomijalnym stopniu wpływają na końcową ocenę pełnej poprawności pracy, z uwagi na jej pozostałe walory. Zwykle zagadnienia związane z błędami pomiarowymi opracowują w takich przypadkach specjalistyczne jednostki zajmujące się mechaniką górotworu.

W pracy podano w zasadzie sposób postępowania w projektowaniu budynków na wpływ krzywizny terenu górniczego, w przypadku znanego jej wygięcia i koniecznej znajomości cech podłoża gruntowego. Pragnę jednocześnie podkreślić, że przedstawione w recenzji pewne uwagi merytoryczne i ogólne, a także załączone uwagi szczegółowe, nie mają istotniejszego wpływu na pozytywną ocenę rozprawy.

Praca, podejmując opracowanie złożonych zagadnień dotyczących projektowania budynków na wpływ krzywizny terenu górniczego, na podstawie badań in situ cechuje się dużą oryginalnością. Rzadko się bowiem zdarzają przypadki, by wyniki badań terenowych stanowiły podstawę wykonanych później analiz numerycznych i opracowania sposobu postępowania, mogącego mieć zastosowanie w projektowaniu.

W zakończeniu stwierdzam, że rozprawa doktorska, wykonana przez mgr inż. Łukasza Kapustę stanowi oryginalne rozwiązanie naukowego problemu w zakresie oceny wpływu krzywizn terenu górniczego na budynki wykonane w konstrukcji tradycyjnej. Doktorant wykazał się wiedzą teoretyczną, a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i, w świetle ustawy o stopniach naukowych, wnioskuje o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Ważniejsze uwagi szczegółowe

str. 11, wzór (2.4) – ma być T_y ,

str. 21, wiersz 5_d – definicja współczynnika K ,

str. 23, wiersz 19_d – definicja współczynnika K_b ,

str. 28, rys.2.13. – dotyczy tylko konstrukcji wielkopłytywowej,

rys. 5.3. i 5.4. oraz następne i tekst – różne oznaczenia terenowych punktów pomiarowych, np.: R1, R2, ale też Rp1, Rp2 oraz na str. 85: nr 4,

wzory (6.2) i (6.4) – różne wzory na E ,

rys. 6.9. – nie opisano podatności sprężyn,

str. 114 i 169 – nie podano rysunku fundamentów budynku.