

Prof. dr hab. inż. Kazimierz Flaga, dr h.c.m.

Politechnika Krakowska

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Mateusza Smolany pt.: „Identyfikacja charakterystyk statycznych i dynamicznych tymczasowych podpór budynków”.

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 31.03.2021r.

1. Charakterystyka pracy

Opiniowana praca doktorska liczy 190 stron, w tym 151 rysunków i 47 tablic, plus 6 stronicową „Bibliografię”, liczącą 109 pozycji literatury, w części wykorzystanej w tekście pracy. Praca dotyczy ważnego dla terytorium Śląska i terenów tzw. szkód górniczych zagadnienia podpór tymczasowych, stosowanych przy usuwaniu wychyleń budynków (ich rektyfikacji) dla dostosowania ich do bezpiecznej pracy statyczno-wytrzymałościowej. Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny i składa się z 10 rozdziałów, a to: Wprowadzenie (R1), Przyczyny i metody usuwania wychyleń budynków (R2), Charakterystyka tymczasowych podpór stosowanych w konstrukcjach budowlanych (R3), Cel i zakres badań (R4), Metodologia i przebieg badań (R5), Wyniki badań (R6), Model podpory tymczasowej (R7), Wyznaczenie parametrów modelu podpory (R8), Projekt nowej podpory (R9) oraz Podsumowanie i wnioski (R10). Praca jest dość nietypowa, poprzedzają ją badania typowej podpory tymczasowej, na podstawie których to wyników opracowano model teoretyczny podpory tymczasowej, wyznaczono jego parametry i wyciągnięto wnioski dla opracowania nowego typu podpory tymczasowej, mającej znacznie lepsze parametry statyczne i dynamiczne.

2. Ocena merytoryczna pracy

2.1. Ocena doboru tematu

Temat pracy jest dość nietypowy, ale ważny dla budownictwa zwłaszcza na terenach o ruchomym lub zmiennym podłożem gruntowym, na których dochodzi do niebezpiecznych, nierównomiernych osiadań budynków i ich wychyleń. Praca oprócz walorów teoretycznych ma poważne walory praktyczne i ekonomiczne, służąc lepszemu sterowaniu procesem rektyfikacji wychylonych budynków.

2.2. Tezy pracy

Zostały one sformułowane dość ogólnie na stronie 36 dysertacji następująco:

- charakterystyki statyczne podpór tymczasowych złożonych z siłownika hydraulicznego oraz stosu stalowych elementów prostopadłościennych są nieliniowe i zależne od wartości obciążenia oraz parametrów konfiguracyjnych podpory;
- charakterystyki dynamiczne w postaci częstotliwości drgań swobodnych oraz tłumienia są nieliniowe i zależne od wartości obciążenia oraz parametrów konfiguracyjnych podpory.

Ogólność tych tez przypuszczalnie wynikała z faktu, że brak jest w literaturze technicznej opisu badań podobnych stalowych podpór tymczasowych i autor rozprawy dopiero po serii 128 eksperymentów badawczych mógł zorientować się jakie czynniki odgrywają zasadniczą rolę w charakterystykach statycznych (sztywność podłużna i poprzeczna) i dynamicznych przyjętych do badań podpór tymczasowych.

Natomiast dość dokładnie opisał autor pracy cel i zakres badań eksperymentalnych, w których jako zmienne parametry przyjął: długość stosu l_{st} , wartość mimośrodowo przyłożenia siły pionowej e_a , wartość obciążenia pionowego podpory $Q_{z,max}$ i $Q_{z,min}$ oraz wartości przemieszczenia poprzecznego $w_{sup,x,max}$ i $w_{sup,x,min}$ (wywołanego działaniem sił pionowych $Q_{z,max}$ i poziomych $Q_{x,max}$).

Żaś celami szczegółowymi badań i obliczeń były: zdefiniowanie modelu podpory obciążanej w kierunku podłużnym, poprzecznym i kinematycznie oraz wyznaczenie parametrów opisujących te modele. W ten sposób, drogą pośrednią, uszczegółowił autor rozprawy tezy pracy.

2.3. Ocena strony naukowej rozprawy

Rozprawa ma wiele wątków naukowych, zrealizowanych przez doktoranta. Po pierwsze są to starannie przeprowadzone badania laboratoryjne 128 podpór tymczasowych (słupowych), mających w przybliżeniu schemat statyczny utwierdzonych jednostronnie wsporników przenoszących jedynie naprężenia ściskające, ale o nieciągłej strukturze, w której możliwe są pod obciążeniem przemieszczenia podłużne i poprzeczne nieciągłego strukturalnie stosu, z b. dużym wpływem imperfekcji geometrycznych stosu wynikłych z jego konfiguracji złożonej z

kilkunastu złożonych, układanych na sobie w sposób luźny prostopadłościennych elementów składowych oraz siłownika hydraulicznego.

Drugim wątkiem naukowym pracy są dokładne analizy uzyskanych wyników badań w układzie siła podłużna Q_z , i poprzeczna Q_x a przemieszczenia pionowe w_z i poziome w_x , w których to stwierdzono ewidentną nieliniowość badanych zależności oraz wyraźne pętle histerezy, świadczące o niejednakowym zachowaniu się stosu przy jego cyklicznym obciążaniu i odciążaniu. Pozwoliło to autorowi na zrealizowanie trzeciego wątku naukowego pracy, a to utworzenia wyidealizowanego modelu teoretycznego badanej podpory tymczasowej i – w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych – wyznaczenie parametrów statycznych i dynamicznych tego modelu. Elementami tego modelu są – w zależności od faz pracy podpory tymczasowej oraz charakteru obciążenia (statyczne czy kinematyczne): masa skupiona, sprężyna liniowa, sprężyna nieliniowa, tarcie nieliniowe, szereg naprzemiennych sprężyn i elementów z tarciami oraz tłumik wiskotyczny.

Wreszcie czwartym wątkiem naukowym rozprawy jest zaproponowanie przez doktoranta nowego rozwiązania podpory tymczasowej w postaci kasztu (a nie stosu), o znaczenie lepszych parametrach statycznych co udowodnił autor dodatkowo przeprowadzonymi badaniami laboratoryjnymi. Podpora ta jest aktualnie w czasie wdrażania do rektyfikacji wychylonego budynku i ten wątek naukowy rozprawy ma duże znaczenie praktyczne dla tematu stanowiącego przedmiot ocenianej rozprawy doktorskiej.

Do znaczących osiągnięć naukowych opiniowanej dysertacji należą:

- udowodnienie, że występowanie imperfekcji sprawia, że sztywność podłużna stosu w podporze tymczasowej jest mniejsza niż jego sztywność teoretyczna $k=Q_z/k_{teor,z}$ wynikająca z charakterystyk geometrycznych i materiałowych przekrojów elementów stosu. Spadek sztywności podłużnej stosów o długościach 1,0; 0,7 i 0,4 m wyniósł ponad 50% sztywności teoretycznych (dla faz I i III pracy stosu – czyli przy monotonicznym zwiększaniu obciążenia od zera do maksymalnych wartości oraz gdy następuje dalsze zmniejszanie obciążenia po fazie II) i ponad 25% - dla faz II i IV pracy stosu (na początku procesu obciążania i przy wzroście obciążenia przy obciążeniu cyklicznym),

- udowodnienie, że sztywność podłużna stosu rośnie wraz z wartością obciążenia pionowego Q_z , co wynika z wyczerpywania się zakresu możliwości wywołanych imperfekcjami geometrycznymi elementów stosu,
- udowodnienie, że wzrost mimośrodowość ustawienia siłownika względem stosu w zakresie $e_a=10\div 30$ mm nie ma istotnego wpływu na sztywność podłużną podpory tymczasowej; wpływ ten jest znacznie mniejszy od wpływu imperfekcji geometrycznych stosu,
- wykazanie, że sztywność siłownika hydraulicznego wchodzącego w skład podpory tymczasowej nie jest stała i rośnie wraz z wartością obciążenia pionowego Q_z ,
- wykazanie, że występowanie pętli histerezy w cyklu obciążenie – odciążenie wynika z wywołania niezachowawczych sił tarcia na styku przesuwających się względem siebie profili walcowanych tworzących dany element prostopadłościenny stosu, zwłaszcza tzw. imperfekcji drugiej grupy, wynikających z przesunięć pionowych profili walcowanych stosu,
- wykazanie, że charakterystyka sprężysta podpory tymczasowej w kierunku poprzecznym jest nieliniowa i że sztywność ta maleje ze wzrostem amplitudy przemieszczenia poprzecznego, a także ze wzrostem długości stosu,
- wykazanie, że wzrost obciążenia podłużnego (Q_z powoduje wyraźny wzrost sztywności podpory w kierunku poprzecznym). Niezależnie od tego autor wykazał, że w badanym zakresie obciążeń siłą podłużną ($Q_z=100\div 1000$ kN) sztywność podpór w kierunku poprzecznym jest znacznie mniejsza niż wynika to z wyidealizowanych charakterystyk geometrycznych i materiałowych elementów stosu i w żadnym przypadku sztywność ta $k_{int,x}$ w fazie A (pierwsze monotoniczne obciążenie układu siłą Q_x o zwrocie przeciwnym do osi x od zera do $Q_{x,min}$ ($w_{sup,x,min}$)) nie przekroczyła 6% wartości sztywności teoretycznej $k_{teor,x} = 0,5 \frac{Q_x}{U_{teor,x}}$. Jest to wywołane przede wszystkim występowaniem obu grup imperfekcji geometrycznych, zwłaszcza grupy pierwszej, czyli niedokładnością przylegania do siebie powierzchni sąsiednich elementów prostopadłościennych. Ten znaczny

- spadek sztywności poprzecznej badanych podpór tymczasowych świadczy o dużym niebezpieczeństwie ich stosowania w praktyce budowlanej,
- wykazanie, że wpływ na sztywność poprzeczną podpory ma wartość początkowego przemieszczenia poprzecznego, wywołanego mimośrodowo przyłożonym obciążeniem i występowaniem imperfekcji. Sztywność podpory jest inna w zależności od tego, czy obciążenie poprzeczne przyłożone do końca podpory powoduje powiększenie czy też pomniejszenie przemieszczenia ze stanu ustalonego (od samego obciążenia pionowego) i jest to odpowiednio sztywność mniejsza oraz większa. Jest to powód występowania asymetrycznej histerezy,
 - wykazanie, że częstotliwość drgań swobodnych pierwszej postaci rośnie ze wzrostem obciążenia podłużnego Q_z , co jest związane ze wzrostem sztywności poprzecznej podpory tymczasowej wraz ze wzrostem tego obciążenia; częstotliwość ta maleje ze wzrostem amplitudy tych drgań,
 - wykazanie, że tłumienie drgań maleje ze wzrostem obciążenia podłużnego Q_z i wpływ ten jest tym wyraźniejszy im amplituda drgań jest większa. Wartości tego tłumienia są duże, tak że dla amplitudy drgań 1 mm ułamek tłumienia krytycznego $\zeta \approx \frac{d}{2\pi}$ (d – logarytmiczny dekrement tłumienia) wynosi 0,010 do 0,012 w funkcji obciążenia Q_z , tj. ponad 6-krotnie więcej od tłumienia materiałowego stali, wynoszącego $\zeta_{mat} = 0,0015$,
 - zaproponowanie nowego rozwiązania podpory tymczasowej w postaci siłownika oraz kasztu, pozbawionego w zasadzie imperfekcji grupy drugiej i o znacznie zmniejszonych imperfekcjach grupy pierwszej. Stalowy kaszt złożony z warstw z dwóch uźebrowanych profili HEB 100 połączonych ze sobą parą przegubowo zamocowanych płaskowników wykazał znacznie większą sztywność podłużną w stosunku do stosu o tej samej długości. Sztywność podłużna kasztu jest bliska sztywności teoretycznej wynikającej z geometrii elementów i modułu sprężystości stali; kaszt nie wykazał też znaczącej i powtarzalnej pętli histerezy,
 - wykazanie, że nowe rozwiązanie podpory ma znacznie większą sztywność poprzeczną niż podpory starej, ze stosem. W cyklach jednokierunkowego

obciążenia – odciążenia nowej podpory siłą o zmiennym zwrocie uzyskano np. sztywność poprzeczną podpory z kasztem o wartości 20% sztywności teoretycznej przy obciążeniu $Q_z=100$ kN i 40% sztywności teoretycznej przy obciążeniu $Q_z=500$ kN, a więc kilkakrotny wzrost w stosunku do sztywności poprzecznej podpór ze stosem.

Jak z powyższego zestawienia wynika, autor dysertacji rozwiązał w swojej dysertacji wiele trudnych zagadnień naukowych pozwalającym na spojrzenie w nowym świetle na specyfikację podpór tymczasowych, stosowanych przy rektyfikacji wychylonych budynków na terenach o zmiennym podłożu gruntowym. Rzucił przy tym nowe światło na rolę imperfekcji geometrycznych w stosie podpory tymczasowej na jej sztywność podłużną, poprzeczną i charakterystykę dynamiczną. Należy zwrócić uwagę na fakt, że dla kolejnych podpór ze stosami szczegółowe wyniki badań mogą być inne, ale ich charakter został w opiniowanej pracy jednocześnie określony. Wartość naukową recenzowanej pracy doktorskiej oceniam wysoko. Na szczególne podkreślenie zasługuje aspekt praktyczny tej pracy, który zaowocował projektem nowej, ulepszonej podpory tymczasowej, złożonej z siłownika hydraulicznego oraz dużo bardziej stabilnego kasztu.

2.4 Ocena metodologii badań

Badania laboratoryjne zostały przeprowadzone przez doktoranta z wykorzystaniem wymagań co do ich prawidłowości i precyzji. Na uwagę zasługuje specjalne stanowisko badawcze zaprojektowane przez doktoranta oraz jego wyposażenie aparaturowe i układ pomiarowy. Stanowisko badawcze zostało tak zaprojektowane aby stworzyć warunki zbliżone do rzeczywistych, a jego głównym elementem był siłownik hydrauliczny obciążany przez tłok prasy hydraulicznej z szybkością około 10 kN/s oraz tzw. stos podpory tymczasowej, złożony z elementów prostopadłościennych o wymiarach w rzucie 320 x 350 mm i wysokości 72,5 mm. Elementy te wykonane były z pięciu profili walcowanych: trzech ceowników oraz dwóch połówek ceownika UPN 160, w układzie poziomym. Profile te były połączone ze sobą spoinami grzbietowymi, które nie są spoinami konstrukcyjnymi. Układ pionowy składał się z 64-kanalowego przetwornika analogowo-cyfrowego współpracującego z komputerem, z zainstalowanym programem do akwizycji danych, z częstotliwością 2 Hz. Pomiaru siły podłużnej Q_z dokonywano za pośrednictwem siłomierza

tensometrycznego a pomiaru zmian długości za pośrednictwem czterech indukcyjnych przetworników przemieszczeń liniowych LVDT.

Podobną aparaturę i układ pomiarowy zastosowano dla badania podpór tymczasowych w kierunku poprzecznym oraz do podpór obciążonych kinematycznie, z dodatkowymi akcelerometrami do pomiaru przyspieszeń drgań.

Do celów badawczych wykonano na stanowisku badawczym tzw. układ zastępczy, o dwukrotnie większej długości niż rzeczywiste podpory tymczasowe, znacznie ułatwiający badania i pomiary, a ze względów bezpieczeństwa badano układ zastępczy w pozycji horyzontalnej. Na szczególną uwagę zasługuje kalibracja parametrów modelu podpory obciążonej poprzecznie, dla której sztywność podpory wyidealizowanej wykonano w środowisku SOFiSTiK dla modelu powłokowego badanego układu. Jak z powyższego wynika metodologię badań w opiniowanej dysertacji należy ocenić również wysoko.

3. Ocena strony formalnej pracy

Praca napisana jest starannie, dobrą polszczyzną, z małą ilością usterek gramatycznych czy też drukarskich, które zaznaczono w tekście pracy. Rysunki i tablice są czytelne. Dlaczego na rys. 6.6 (str. 59 i 60) oraz na rys. 6.11 i 6.12 (str. 64) zapisano jako rzeczywistą długość stosu 2000 mm a nie 1000 mm? Pomyłono opisy w Legendzie rys. 6.23.

4. Uwagi krytyczne

W trakcie czytania pracy nasunęły się następujące uwagi krytyczne:

4.1. Dlaczego w modelu podpory tymczasowej obciążonej poprzecznie siłą Q_x nie uwzględniono momentu zginającego od tej siły na długości wspornika podpory (por. rys. 5.5). Moment ten wywołuje tendencję do rozdzielania się elementów prostopadłościennych stosu (ich odrywanie się od siebie przy małej sile Q_z – stąd zapewne zdanie na str. 40, że „wstępne badania wykazały, że ze względu na ryzyko utraty stateczności oraz oprócz ograniczenia zakresu mimośrodów oraz wartości obciążenia podłużnego, należy również ograniczyć zakres ekstralnego przemieszczenia poprzecznego do maksymalnie 10 mm”.

4.2 Niezbyt jasne jest przyjęcie we wzorze (61) współczynnika 05. Jest to wynik opisu, że sztywność układu zastępczego podpory tymczasowej jest dwukrotnie większa

od podpory rzeczywistej, ale przecież do układu zastępczego przykładamy siłę $2Q_x$.
Sprawa ta dla mnie nie jest przekonywująca.

4.3 Proszę o podanie bliższego uzasadnienia wzorów (29), (34) i (36) oraz założenia na str. 97¹².

5. Wniosek końcowy

Opiniowana praca doktorska reprezentuje wysoki poziom naukowo-techniczny. Dotyczy trudnego, chociaż rzadko podejmowanego, zagadnienia „identyfikacji charakterystyk statycznych i dynamicznych tymczasowych podpór budynków”, stosowanych przy ich podnoszeniu z wychylenia spowodowanego nierównomiernym podłożem gruntowym lub zmianami tego podłoża np. na skutek eksploatacji górniczej. Autor pracy wykazał przy jej realizacji dużą odwagę w sformułowaniu zadania badawczego, umiejętność planowania i przeprowadzenia badań laboratoryjnych oraz właściwego wnioskowania, dostateczną wiedzę i umiejętności przy teoretycznym doborze modelu podpory tymczasowej oraz przy kalibracji jej parametrów obciążonej podłużnie, poprzecznie oraz kinematycznie. Wykazał przy tym samodzielność w rozwiązywaniu zagadnień naukowych a także uzdolnienia w kierunku usprawnienia procesu rektyfikacji budynków przez projekt nowego typu, kasztowej podpory tymczasowej.

Opiniowana praca doktorska stanowi ważny wkład autora w rozwój nauki o budownictwie z punktu widzenia jego trwałości i bezpieczeństwa użytkowania w kontakcie ze zmiennym podłożem gruntowym. Spełnia ona wszystkie wymagania przewidziane dla prac doktorskich przez Ustawę z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U.NR 65 poz. 595) wraz z późniejszymi zmianami (Dz.U. z dnia 28.04.2017r. poz. 859) oraz przez Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wzszego z dnia 19 stycznia 2018r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z dnia 30.01.2018r. poz. 261).

W zawiązku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie opiniowanej pracy doktorskiej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej do jej publicznej obrony. Z uwagi na wyjątkowo wnikliwy i twórczy charakter podejścia doktoranta do rozwiązywanego zagadnienia wnoszę również o wyróżnienie tej pracy.