

Prof. dr hab. inż. Anna Halicka

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynierii Lądowej i Transportu
[Podpis]
dr hab. inż. Marcin Staniek, prof. PŚ

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Mateusza Smolany

pt.

**"IDENTYFIKACJA CHARAKTERYSTYK STATYCZNYCH I DYNAMICZNYCH
TYMCZASOWYCH PODPÓR BUDYNKÓW"**

przygotowanej pod kierunkiem dr hab. inż. Krzysztofa Gromysza, prof. PŚ
i promotora pomocniczego dr inż. Piotra Łazińskiego

Podstawa opracowania: powołanie na recenzenta przez Radę Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 25 marca 2021 r. oraz umowa o dzieło nr UMC/1033/2021 z dnia 29 marca 2021 roku pomiędzy Politechniką Śląską a recenzentką.

1. Problem naukowy, przedmiot i charakter dysertacji

Problem podjęty w recenzowanej dysertacji doktorskiej jest związany z zagadnieniem prostowania budynków metodą nierównomiernego podnoszenia i dotyczy identyfikacji statycznych i dynamicznych charakterystyk osprzętu i urządzeń stosowanych w tym procesie. Na początku podkreślić trzeba, że prostowanie budynków jest działaniem wysoce specjalistycznym, w Polsce realizowanym głównie na Śląsku, gdzie wychylenia budynków z pionu są skutkiem tzw. szkód górniczych.

Precyzyjne zaprojektowanie procesu prostowania budynków, zapewniające bezpieczeństwo budynku i bezproblemowe przeprowadzenie prostowania, możliwe jest jedynie przy zastosowaniu w obliczeniach projektowych precyzyjnych charakterystyk urządzeń i osprzętu, w szczególności układu „siłownik – konstrukcja podporowa”. Podstawową trudnością w ustaleniu tych charakterystyk jest to, że konstrukcje podporowe wykonywane są w formie stosów o zróżnicowanych długościach, składanych z prostopadłościennych elementów stalowych o wysokości 7,5 cm. Elementy składowe konstruowane są z ceowników i połówek ceowników stabilizowanych niekonstrukcyjnymi spoinami.

Dotychczas w praktyce projektowania procesu prostowania stosowano charakterystyki uproszczone, zakładające liniowe zależności „siła-przemieszczenie”, co jest wysoce nieprecyzyjne. Doktorant postawił sobie za cel przebadanie stosowanych w praktyce konstrukcji podporowych i ustalenie ich charakterystyk statycznych i dynamicznych. O tak sprecyzowanym problemie badawczym dowiedzieć się można ze wstępu rozprawy. Natomiast jej tytuł sugeruje zagadnienie szersze – zagadnienie *tymczasowych podpór budynków*. Myślę, że jest to tytuł zbyt szeroki w stosunku do analizowanych zagadnień.

Wybór przedmiotu dysertacji uznaję za trafny, aktualny i ważny z punktu widzenia praktycznego, choć dotyczy wąskiego zagadnienia. Samo zagadnienie zachowania się stosów ułożonych na sobie elementów pod wpływem obciążenia podłużnego, poprzecznego oraz wymuszenia kinematycznego uznaję za interesujące także z poznawczego punktu widzenia.

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter empiryczno-analityczny. W jej ramach przeprowadzone zostały badania laboratoryjne siłowników i konstrukcji podporowych stosowanych w procesie prostowania budynków, dokonano analiz uzyskanych wyników oraz sformułowano model matematyczny analizowanych konstrukcji. Są to badania o charakterze naukowym, a ich wnioski mogą być aplikowane w praktyce stanowiąc istotny postęp

w stosunku do uproszczeń dotychczas stosowanych w praktyce. Docenić należy także propozycję ulepszenia konstrukcji podporowej, pozbawioną niedoskonałości rozwiązań dotychczas stosowanych.

2. Zawartość i układ rozprawy

Praca liczy 179 stron tekstu podstawowego, do którego dołączono na początku streszczenie w języku polskim, spis treści i spis oznaczeń, a na końcu - bibliografię.

W pracy wyróżnić można następujące części:

1. Część wstępna:

- Wprowadzenie (rozdział 1), zawierające informacje ogólne na temat procesu prostowania budynków i przesłanki do podjęcia przez Doktoranta problemu;
- Informacje na temat wychyleń budynków, ich przyczyn, praktyki prostowania i przemieszczania budynków (rozdział 2), tymczasowych podpór stosowanych w procesie prostowania budynków (rozdział 3), a także podstawy teoretyczne dotyczące statycznych i dynamicznych charakterystyk elementów konstrukcyjnych (rozdział 3.1 i 3.2);
- Sformułowanie celu i zakresu badań, a także tez pracy (rozdział 4)

2. Opis przeprowadzonych badań, w tym stanowiska badawczego i metodologii badań (rozdział 5) oraz zestawienie wyników (rozdział 6),

3. Analiza wyników badań, w szczególności sformułowanie modelu matematycznego konstrukcji podporowej wraz z ustaleniem parametrów modelu (rozdziały 7 i 8);

4. Projekt nowej konstrukcji podporowej (rozdział 9);

5. Podsumowanie i wnioski (rozdział 10).

6. Spis literatury zawierający 109 pozycji literaturowych, w tym 3 standardy, zalecenia i zarządzenia. Zawarto tu 89 publikacji angielskojęzycznych, 1 niemieckojęzyczną i 29 polskojęzycznych. Są tu także 3 współautorskie i jedna autorska praca Doktoranta.

3. Merytoryczna ocena pracy

Ocena rozprawy zostanie przedstawiona poprzez merytoryczne oceny częściowe poszczególnych części dysertacji (p.3.1 – 3.3), zestawienie osiągnięć i mocnych stron pracy (p. 3.4), uwagi merytoryczne (p. 3.5) oraz ocenę układu i strony redakcyjnej pracy (p. 3.6).

3.1 Ocena tez pracy

Doktorant postawił dwie tezy. Pierwsza dotyczy *charakterystyk statycznych podpór tymczasowych złożonych z siłownika hydraulicznego oraz stosu stalowych elementów prostopadłościennych*, a druga *charakterystyk dynamicznych tych podpór*. Obydwie stanowią o tym, że *charakterystyki są nieliniowe i zależne od wartości obciążenia oraz parametrów konfiguracyjnych podpory*.

Tezy są dość ogólne. Jednak formułowanie bardziej szczegółowych tez na początku pracy byłoby może przedwczesne, choć o analizowanych *parametrach konfiguracyjnych podpory* potencjalnie wpływających na wyniki mówią parametry zmienne założone w programie badań.

3.2 Ocena studiów na temat stanu wiedzy

Studia na temat stanu wiedzy są dość skromne. Niewątpliwą trudnością, którą napotkał Doktorant jest fakt, że rozważane zagadnienie nie jest powszechnie spotykane i dość trudno było znaleźć adekwatną literaturę.

W pierwszej części studiów literaturowych Doktorant zestawiał informacje na temat różnorodnych wychylonych budynków, przyczyn tych wychyleń oraz metod usuwania wychyleń, podnoszenia i przesuwania budynków. Następny rozdział zatytułowany jest *tyczasowe podpory stosowane w konstrukcjach budowlanych*, ale opisano tu jedynie konstrukcje podporowe stosowane przy prostowaniu budynków, a następnie zestawiono publikacje dotyczące analizy statycznej i dynamicznej oraz badań stosów tworzonych z drobnowymiarowych elementów konstrukcyjnych (ogólnie brył sztywnych, prefabrykowanych słupów żelbetowych, konstrukcji murowych o suchych stykach, w tym obmurzy ogniowych oraz antycznych kolumn). W końcu podano podstawy teoretyczne dotyczące statycznych i dynamicznych charakterystyk układów konstrukcyjnych. Zagadnienia poddane studiom literaturowym uznaję za właściwe, a wybrane źródła za niewątpliwie związane z tematem i ważne.

Jak już wspomniałam wyżej, liczba publikacji na analizowany temat jest niewielka, ale moim zdaniem studia literaturowe są nieco zbyt skromne. Stanowią właściwie zestawienie informacji, a nie analizę danych literaturowych kończącą się stwierdzeniem, z jakich danych Autor korzystał i jakie są deficyty wiedzy, które sprawiły, że temat został przez Niego podjęty i które planował swoją pracą uzupełnić.

3.3 Omówienie i ocena badań i analiz przedstawionych w dysertacji

3.3.1 Stanowisko badawcze i zakres badań laboratoryjnych

Przedmiotem badań Doktoranta były próby statyczne i kinematyczne układu składającego się z siłownika oraz stosu elementów stalowych. Na początku trzeba podkreślić, że były to badania bardzo trudne technicznie, a zrealizowane zostały z powodzeniem.

Przeprowadzono łącznie 28 badań, w których zmiennymi były: mimośród ustawienia siłownika, długość stosu, siła podłużna, przemieszczenie poprzeczne. Zaprogramowany zakres parametrów zmiennych i ich wartości uznaję za bardzo szeroki, odpowiedni do celu, jakim było ustalenie charakterystyk układu. Zauważyć też trzeba bardzo czytelny graficzny sposób przedstawienia badanych wariantów.

Badania statyczne przy sile podłużnej obejmowały 7 serii, przy czym poszczególne badania każdej serii różniły się zakresem zmienności wartości siły (0-100, 0-250, 0-500, 0-750, 0-1000 kN, 100-250, 250-500, 500-750, 750-1000 kN). Były to:

- jedna seria dziewięciu badań siłownika hydraulicznego i jedna seria dziewięciu badań stosu o długości 1 m z osiowo przyłożoną siłą,
- trzy serie po 9 badań układu „siłownik – stos o długości 1,0 m” przy zmiennym mimośrodku obciążenia podłużnego (10, 20 i 30 mm),
- dwie serie po 9 i 7 badań układu „siłownik – stos” obciążonego podłużną siłą osiową przy zmiennej długości stosu (0,7 i 0,4 m).

Badania statyczne przy obciążeniu poprzecznym obejmowały 17 serii, przy czym we wszystkich seriach poszczególne badania różniły się maksymalnym zadanyim przemieszczeniem poziomym (± 1 , ± 2 , ± 5 , ± 10 mm). Były to:

- cztery serie po 4 badania układu „siłownik – stos o długości 1 m” z osiowo przyłożoną siłą podłużną 100 kN,
- dziesięć serii po 4 badania układu „siłownik – stos o długości 1 m” z siłą podłużną przyłożoną na mimośrodku; w poszczególnych seriach zmieniano wartość siły i mimośrodu (100 kN i 10 mm, 250 kN i 10 mm, 500 kN i 10 mm, 750 kN i 10 mm, 100 kN i 20 mm, 250 kN i 20 mm, 500 kN i 20 mm, 750 kN i 20 mm, 100 kN i 30 mm, 250 kN i 30 mm);

- trzy serie po 4 badania układu „siłownik – stos” z osiowo przyłożoną siłą podłużną; w poszczególnych seriach zmieniano długość stosu i wartość siły (0,7 m i 100 kN, 0,7 m i 250 kN, 0,7 m i 500 kN).

Badania dynamiczne składały się z jednej serii czterech badań układu „siłownik - stos o długości 1 m” z osiowo przyłożoną siłą podłużną, w którym przez wymuszenie kinematyczne generowano drgania swobodne pierwszej postaci, przy czym poszczególne badania różniły się wartością siły podłużnej (200, 400, 600 i 800 kN).

Zaprojektowane zostało stanowisko badawcze. Ze względu na warunki bezpieczeństwa badano układ poziomy. Docenić trzeba wysiłki Doktoranta, aby stanowisko odwzorowywało w jak największym stopniu warunki rzeczywiste. Ze względu na trudności w odwzorowaniu rzeczywistej pracy końca konstrukcji podporowej, do którego przykładana jest siła, zdecydowano o stworzeniu układu składającego się z dwóch podpór połączonych w jeden element o podwójnej długości, podparty na końcach przegubowo. W przypadku obciążenia siłą podłużną powstał układ szeregowy (w konsekwencji sztywność układu była dwukrotnie mniejsza), a w przypadku obciążenia poprzecznego – układ równoległy (sztywność dwukrotnie większa); fakty te uwzględnione zostały w analizie wyników. Do badań kinematycznych wykorzystano stanowisko analogiczne jak stanowisko do badania podpory obciążonej siłą podłużną, a drgania układu wywoływano przez wychylenie konstrukcji z pozycji równowagi.

Wykorzystywano nowoczesne metody pomiarowe (przetworniki LVDT, siłomierz hydrauliczny, akcelerometry) stosując 64-kanalowy przetwornik analogowo-cyfrowy współpracujący z komputerem.

3.3.2 Wyniki badań, ich analiza i model konstrukcji podporowej

Wyniki badań pokazane zostały starannie i czytelnie na wykresach: „siła podłużna – przemieszczenie końca układu” w przypadku obciążenia siłą podłużną, „siła – ugięcie” w przypadku obciążenia siłą poprzeczną oraz „ugięcie – czas” w badaniach dynamicznych,

Analiza geometrii i zachowania się układu pod obciążeniem podłużnym, poprzecznym oraz układu wychylonego z położenia równowagi zaprowadziła Doktoranta do stworzenia matematycznego modelu układu „siłownik – konstrukcja podporowa”, będącego kombinacją modelu układu obciążonego podłużnie i modelu układu obciążonego poprzecznie.

Model układu obciążonego podłużnie składa się z szeregowo połączonych modeli: modelu siłownika o sztywności zależnej od wartości siły oraz modelu stosu elementów. Zachowanie stosu odwzorowują połączone szeregowo elementy modelu: element liniowo-sprężysty $k_{\text{teor},z}$ (charakteryzujący teoretyczną sztywność stosu odpowiadającą jego idealnej geometrii i cechom materiału), element nieliniowo-sprężysty $k_{\text{con},z}(Q_z)$ odzwierciedlający odkształcenia postaciowe elementów stosu (wynikające z niedokładności ich wzajemnego przylegania) oraz element nieliniowo-sprężysty $k_{\text{int},z}$ odzwierciedlający wzajemne przesunięcia kształtowników wewnątrz elementu stosu (wynikające z niedokładności przylegania kształtowników w elemencie) sprzężony równolegle z niesprężystym wpływem tarcia $N_{\text{int},fr,z}$.

Model układu obciążonego poprzecznie składa się z szeregowo połączonych modeli: elementu liniowo-sprężystego $k_{\text{teor},x}$ (charakteryzującego teoretyczną sztywność stosu odpowiadającą jego idealnej geometrii i cechom materiału), elementu nieliniowo-sprężystego $k_{\text{con},x}(Q_x)$ odzwierciedlającego odkształcenia wynikające z niedokładności przylegania elementów stosu oraz szeregu naprzemiennych elementów nieliniowo-sprężystych i elementów z tarciem $k_{\text{int},x}$, odzwierciedlających wzajemne przesunięcia kształtowników wynikające z niedokładności ich przylegania.

Model dynamiczny zachowania układu „siłownik – konstrukcja podporowa” odpowiada pierwszej postaci drgań. Stanowi on uzupełnienie modelu obciążonego poprzecznie

o zastępczą masę drgającą oraz połączone równolegle tłumiki (odpowiadający za rozpraszanie energii oraz wynikający z cech materiału).

Zapisy matematyczne opisujące zachowanie przyjętych przez Doktoranta modeli są poprzedzone bardzo klarownymi interpretacjami fizykalnymi.

W efekcie powstały zaawansowane wieloparametrowe modele matematyczne. Kolejnym krokiem było wyznaczenie parametrów występujących w ich elementach składowych. Parametry te Doktorant wyznaczał na podstawie wyników badań i ich analiz w sposób bardzo przemyślany, indywidualnie podchodząc do każdego z parametrów. Po ustaleniu ich wartości przeprowadził analizy parametryczne wpływu wartości siły podłużnej, jej mimośrodowość i wartości wymuszenia kinematycznego na zastępczą sztywność konstrukcji podporowej.

3.3.3 Ocena projektu nowej podpory

Na podstawie analiz uzyskanych charakterystyk konstrukcji podporowych doktorant postanowił zaprojektować nową konstrukcję podporową, w której ograniczone byłyby negatywne cechy konstrukcji dotychczas stosowanych (nieliniowa charakterystyka sztywności i pętla histerezy w cyklu „obciążenie – odciążenie”). Elementy stosu złożone z ceowników zastąpiono elementami o przekroju kwadratowym, złożonymi z dwuteowników HEB połączonych przewiązkami (to eliminuje imperfekcje drugiego typu). Kolejne elementy konstrukcji obrócone są względem siebie o 90° .

Konstrukcja została przebadana analogicznie jak konstrukcja podstawowa, z tym że wykonano jedynie badania konstrukcji o długości 0,7 m obciążonej statycznie siłą podłużną bez mimośrodowość i odkształceniem poprzecznym. Stwierdzono, że „nowa” konstrukcja ma bardziej liniową charakterystykę sztywności niż „stara”, ma także większą sztywność zarówno w kierunku podłużnym i poprzecznym oraz pozbawiona jest pętli histerezy, ponadto wymaga zużycia mniejszej ilości materiału. Można więc uznać, że cel został osiągnięty, a Doktorant udowodnił swoje kompetencje także jako konstruktor.

3.3.4 Ocena podsumowania i wniosków pracy

W rozdziale 10 zestawiono wnioski z badań i analiz. Są one podzielone na wnioski dotyczące pracy konstrukcji podporowych w kierunku podłużnym, poprzecznym i obciążonych kinematycznie. Są to wnioski bardzo szczegółowe. Wskazują one udowodnienie tezy pracy, jednak nie jest to jawnie zapisane.

Nie wskazano kierunków dalszych badań, co zwykle zamieszczane jest na zakończenie dysertacji doktorskiej.

3.4 Osiągnięcia oraz mocne strony pracy

Recenzowana dysertacja doktorska ma, jak już pisałam wyżej, charakter empiryczno-analityczny. Podjęty przez Doktoranta problem naukowy został rozwiązany w sposób oryginalny, na podstawie eksperymentu naukowego wykonanego na oryginalnym stanowisku, w którym zastosowano nowoczesne techniki pomiaru. Te badania są mocną stroną pracy i świadczą o tym, że Doktorant dobrze czuje się w laboratorium naukowym. Również mocną stroną pracy jest swobodne operowanie modelami matematycznymi, co pozwoliło na twórczą analizę wyników badań.

Niewątpliwym osiągnięciem poznawczym jest potwierdzenie wpływu rozwiązania konstrukcyjnego i wynikających z niego imperfekcji geometrycznych na sztywność stosu elementów drobnowymiarowych, a tym samym na zachowanie takiego stosu pod obciążeniem podłużnym i poprzecznym. Doktorant zmierzył się również z problemem odpowiedzi dynamicznej na wymuszenie kinematyczne. Osiągnięciem jest zbudowanie modelu matematycznego konstrukcji, odwzorowującego wszystkie stwierdzone empirycznie fazy pracy oraz wyznaczenie sztywności zastępczej uwzględniającej wszystkie czynniki brane pod uwagę w modelu.

Mocną stroną pracy jest jej aplikacyjność. Wnioski z badań i analiz mogą być zastosowane w procesie projektowania procesu podnoszenia budynków. Ponadto Doktorant nie tylko poszukiwał opisu zjawisk istniejących, ale stworzył nową konstrukcję, która ma lepsze cechy niż rozwiązania istniejące i może być zastosowana w praktyce. Projekt nowej konstrukcji podporowej świadczy o dążeniu do poprawiania zastanych rozwiązań i zmyśle konstrukcyjnym Doktoranta.

3.5 Uwagi merytoryczne

3.5.1. Uwagi ogólne

Poniżej zestawiałam pytania i uwagi. Mają one głównie charakter dyskusyjny i mają na celu wskazanie zagadnień, na które należałoby zwrócić uwagę w dalszych badaniach.

1. Pierwsze uwagi dotyczą odwzorowania przez model warunków rzeczywistych.

Po pierwsze rozważano jedynie mimośród przyłożenia siły podłużnej do stosu (nieosiowość usytuowania siłownika względem stosu). W rzeczywistości może wystąpić także mimośród, zwany w przypadku konstrukcji betonowych i murowych – *niezamierzonym*, obrazujący nieosiowość ustawienia kolejnych elementów jeden względem drugiego. Jaki jest wpływ tego mimośrodu?

Po drugie na str. 40 napisano, że na podstawie wstępnych badań ograniczono wartość mimośrodu i oddziaływań poprzecznych. Jak ma się takie ograniczenie do wartości występujących w rzeczywistości?

2. Jakie były przesłanki do przyjęcia postaci funkcji aproksymującej zachowanie siłownika (wzór 16) oraz wpływu imperfekcji drugiego typu (wzór 39) jako funkcji eksponencjalnych? Podobnie w przypadku efektów imperfekcji pierwszej grupy funkcji $k_z(Q_z)$ jako funkcji wielomianowej (wzór 29)? Czy rozważano inne postaci funkcji?

Podobnie zależność logarytmiczna $Q_x(u_x)$.

W kilku miejscach napisano, że przesłanką były obserwacje zależności empirycznych, ale one przecież były efektem łącznego działania wszystkich analizowanych czynników.

3. Na str. 103-104 opisano przyjętą zasadę obliczania teoretycznej sztywności poprzecznej układu „siłownik – konstrukcja podporowa” (pokazano ją także na rys. 7.11a), a konkretnie przyjęcie modelu wyidealizowanego pręta.

Czy mechanizm powstawania ugięcia elementu belkowego złożonego z drobnowymiarowych elementów jest taki sam jak mechanizm belki jednolitej? Czy element stalowy i wysokości 72,5 mm wykaże realne ugięcie? Czy nie wystąpi tu raczej jeden z mechanizmów: rozwieranie się styków w strefie rozciąganej lub/i wzajemne przemieszczanie elementów składowych pod wpływem siły poprzecznej z udziałem tarcia? Ten ostatni mechanizm opisany został zresztą przez Doktoranta w odniesieniu do imperfekcji pierwszego typu, ale tarcie między elementami składowymi nie zostało jawnie uwzględnione w modelu.

4. W tablicy 8.3 zestawiono wartości parametrów sztywności stosu $k_{con,z}$ w zależności od długości stosu i mimośrodu, a same sztywności w tablicy 8.4. Zauważyć można, że współczynniki α i β przy ściskaniu osiowym mają swe ekstremalne wartości przy długości stosu 0,7 m (współczynnik α jest większy zarówno przy długości 1,0 jak i 0,4 m, a współczynnik β jest mniejszy zarówno przy długości 1,0 jak i 0,4 m). Obliczona na tej podstawie sztywność sprężyny przy sile Q_z równiej 500 i 750 kN maleje ze wzrostem długości stosu, ale przy siłach 100 i 250 kN jest największa dla długości 0,7 m. Jak można to wytłumaczyć? Fakt ten zauważono na str. 133, ale nie próbowano interpretować.

Podobnie jest w przypadku zmieniającego się mimośrodu (przy długości 1,0 m współczynnik α jest najmniejszy a współczynnik β największy jest dla mimośrodu 20 mm). Obliczona na tej podstawie sztywność sprężyny przy sile Q_z równiej 500 i 750 kN

maleje ze wzrostem mimośrod, ale przy sile 100 kN jest największa dla mimośrodu 20 mm, a przy sile 250 kN - dla mimośrodu 10 mm. Znow – jak można wytłumaczyć ten fakt?

W przypadku sztywności stosu $k_{int,z}$ można poczynić podobne obserwacje dla współczynnika α w stosunku do długości stosu oraz współczynników α i β w stosunku do mimośrodu.

5. Z czego wynika brak symetrii wykresu sztywności zastępczej konstrukcji podporowej $\sup/700/0/Q_z$ dla sił o poprzecznych o przeciwnych zwrotach, skoro mimośród obciążenia Q_x jest równy zero (trzeci wykres rysunku 8.21)? Widoczne jest to również na dwóch pierwszych wykresach rysunku 8.24.
6. Można byłoby rozważyć uzupełnienie elementów składowych „nowej” konstrukcji o części wymuszające dokładne ustawienie względem siebie kolejno układanych elementów (np. otwory i bolce) aby wyeliminować „mimośród niezmierny”.

3.5.2 Inne uwagi i pytania

- Czytanie dysertacji utrudnia nieco używanie słowa „podpora” na określenie badanej konstrukcji. Kojarzy się ono z podporami modelu badawczego i analitycznego. Tu rodzi się też pytanie – czy analizowana konstrukcja jest tylko „podporą” (słowo „podpora” kojarzy się z działaniem biernym, podczas gdy omawiana konstrukcja jest „aktywna” – siłownik wywiera siłę na prostowany budynek)? Lepiej byłoby używać określenia „konstrukcja podporowa”.
- Na str. 25 napisano, że wysuw tłoka siłowników używanych do prostowania budynków ograniczony jest do 200 mm, podczas gdy na str. 46 opisując badania podano, że zmiana długości siłownika hydraulicznego wynosiła 500 mm. Czy był to inny siłownik niż używany w praktyce?
- Na str. 46 napisano, że *w warunkach rzeczywistych podpora spoczywa na stalowej blasze zamocowanej w podlewce betonowej... i dzięki temu podstawa podpory nie doznaje przesuwu ani obrotu*. Czy rzeczywiście w ten sposób uzyskuje się pełne utwierdzenie? Jaki jest sposób mocowania blachy w podlewce i jaka jest grubość podlewki? Jak na wyniki w układzie rzeczywistym wpływa podatność podłużna podlewki?
- Wzór (31) stanowi warunek brzegowy, ale wynika z niego, że zero jest równe przemieszczenie od siły Q_z . Tymczasem siła Q_z jest zmienna, zatem wyrażenie nie stanowi warunku brzegowego. Czy nie powinno być $u_{con,z=0}=0$ lub $u_{con,z}(Q_z=0)=0$?
- Na str. 184 napisano, że stosy były wykonane z elementów sześciennych. Jednak element o wymiarach 320 x 350 x 75 mm nie jest z pewnością elementem sześciennym.

3.6 Ocena układu i strony redakcyjnej pracy

Układ pracy jest tradycyjny – najpierw część studialna, następnie relacja z badań i analiza ich wyników, opis i badania parametryczne własnego modelu matematycznego analizowanego rozwiązania i wreszcie - propozycja ulepszenia obecnie stosowanych rozwiązań. Układ ten nie budzi zastrzeżeń. Praca jest czytelna - napisana jest jasnym, poprawnym językiem.

Zauważyłam bardzo niewielkie uchybienia, zestawione poniżej. Nie mają one wpływu na merytoryczną ocenę pracy i nie wymagają odpowiedzi podczas obrony dysertacji. Nieścisłości i nieprecyzyjne sformułowania są następujące:

- Na str. 96 przywołano jako warunek brzegowy wzór (20), podczas, gdy wzór o tym numerze nie opisuje warunku brzegowego.
- Tytuł podrozdziału na stronie 100 jest niejasny.

- Omawiając obciążenie modelu w kierunku x Autor używa określenia *obciążenie poziome* (np. na str. 104). Jest to nieco mylące, bowiem w modelu badawczym obydwie siły – w kierunku x i z były przykładane poziomo.
- Str. 105 – wyrażenie *opisane przed chwilą mechanizmy* jest niefortunne.
- Str. 112 – winno być *model* jest *motel* i str. 132 w podpisie rysunku *praz* zamiast *oraz*.
- Str. 118 – wzór (101) opisano jako prezentujący *przybliżoną sztywność średnią* dwóch połączonych szeregowo sprężyn. Bardziej precyzyjnym byłby opis stosowany do analogicznej wielkości na str. 124 – jest to *sztywność zastępcza*.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona praca jest niewątpliwie dziełem oryginalnym. Doktorant podjął ważny problem naukowy, który konsekwentnie rozwiązywał. Wykazał się wiedzą teoretyczną z zakresu podjętej tematyki, umiejętnością pracy w laboratorium naukowym, twórczą analizą wyników badań, a także zmysłem konstrukcyjnym. Dysertacja świadczy o opanowaniu przez doktoranta warsztatu badań naukowych. Przedstawione uwagi krytyczne mają w zamyśle recenzentki służyć doskonaleniu tego warsztatu i dalszym publikacjom.

Ostatecznie stwierdzam, że rozprawa doktorska Mateusza Smolany pt. *Identyfikacja charakterystyk statycznych i dynamicznych tymczasowych podpór budynków* spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.). Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Lublin dn. 26.05.2021

