

profesor Zbigniew ZEMBATY,
z.zembaty@po.opole.pl,
www.z.zembaty.po.opole.pl
adres domowy:
pl. Piłsudskiego 6m29,
45-706 Opole

Opole, 26 luty, 2018

RECENZJA

rozprawy doktorskiej:

mgr inż. Marcin SZCZEPAŃSKI *Analiza wybranej technologii budowy szkieletowych domów drewnianych odpornych na oddziaływania sejsmiczne*

1. PODSTAWA RECENZJI

Recenzję opracowano na zlecenie Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej pismem Dziekana z dnia 13 grudnia 2017.

Recenzent otrzymał rozprawę drogą pocztową w dniu 3 stycznia 2018r.

2. CHARAKTERYSTYKA PRACY I JEJ TREŚĆ

Przedstawiona do oceny rozprawa ma postać raportu Politechniki Gdańskiej w języku polskim, liczącego 249 stron i obejmującego siedem rozdziałów oraz spis literatury.

W rozdziale pierwszym opisano w skrócie światowe wyniki badań dotyczące zachowania się konstrukcji drewnianych pod obciążeniem sejsmicznym.

W rozdziale drugim szczegółowo opisano drewniane budownictwo szkieletowe oraz technologie ich budowy.

W rozdziale trzecim opisano eksperymentalne badania wykonanego ze sklejki modelu drewnianego budynku szkieletowego w skali 1:10, przy zastosowaniu zapisów trzęsienia ziemi El Centro z różnymi mnożnikami.

W rozdziale czwartym szczegółowo opisano badania eksperymentalne paneli ściennych drewnianego budynku szkieletowego w dwóch wariantach wypełnienia: przy zastosowaniu wełny mineralnej oraz pianki poliuretanowej, pod obciążeniem harmonicznym. Badania przeprowadzono na specjalnym stanowisku badawczym, dla częstotliwości 2 Hz, dla różnych wartości przemieszczeń. Dla każdego z testów otrzymano zależności „siła przemieszczenie” które posłużyły do obliczenia sztywności oraz liczby tłumienia analizowanych elementów. Wyniki badań wykorzystano do weryfikacji modelu numerycznego paneli ściennych.

Rozdział piąty poświęcony jest opisaniu wyników badań statycznych ściskania i rozciągania pianki poliuretanowej oraz wyników dynamicznej analizy mechanicznej

innych materiałów zastosowanych jako izolacja w modelach ścian, tzn. wełny mineralnej.

Obszerny rozdział szóstym zestawia wyniki nieliniowych, dynamicznych analiz numerycznych typowego drewnianego budynku szkieletowego przeprowadzone z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES).

W rozdziale siódmym podsumowano wyniki Rozprawy oraz sformułowano wnioski.

3. UWAGI OGÓLNE

Budowle wykonywane z drewna i konstrukcje drewniane należą do coraz częściej stosowanych w budownictwie. Do najważniejszych zalet drewna w budownictwie należy jego „ekologiczny”, przyjazny dla człowieka charakter, lekkość i łatwość obróbki a w odniesieniu do odporności dynamicznej dobra wytrzymałość na rozciąganie i wynikająca z małej gęstości tego materiału dobra odporność sejsmiczna.

Z drugiej strony Polska jest znanym na Świecie producentem drewna z czego wynikać mogą różnorodne propozycje technologii konstrukcji drewnianych dla całego Świata. Z tego też względu podjęcie tematyki odporności sejsmicznej szkieletowych budynków drewnianych uznać można za bardzo uzasadnione i przydatne ekonomicznie w przypadku eksportu technologii budownictwa drewnianego poza granice naszego kraju.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska podjęła bardzo szeroki zakres badań w tym zakresie: od modelowych badań na stole wstrząsowym poprzez dynamiczne badania elementów konstrukcji drewnianych aż do szczegółowych statycznych i dynamicznych badań różnorodnych materiałów konstrukcyjnych (drewno) i wypełniających (pianka poliuretanowa, wełna mineralna). Tą szeroką interdyscyplinarność wykonanych analiz i badań uznać można zarówno za zaletę jak w pewnym sensie, wadę Rozprawy, gdyż zdaniem recenzenta, wiele problemów z tego powodu zostało podjętych niedostatecznie głęboko. Wypada się jednak generalnie zgodzić z faktem, że rozprawa dotycząca mechaniki konstrukcji drewnianych w sposób nieunikniony dąży w stronę interdyscyplinarności. Docenić należy w tym zakresie prekursorki charakter tego typu badań w Polsce.

Reasumując, uznać można, że **w Rozprawie podjęto analizowanie interesującego spektrum naukowych problemów o istotnym znaczeniu praktycznym w nowoczesnym budownictwie.**

4. OCENA WYNIKÓW ROZPRAWY

Zdaniem recenzenta oryginalne wyniki badań ocenianej Rozprawy mają bardzo zróżnicowany zakres, w zależności od rozdziału.

Przegląd literaturowy (**rozdział II**) uznać można za bardzo szeroki choć niedostatecznie głęboki. Zawiera on bowiem głównie wiedzę podręcznikową na temat drewna, jego obróbki i własności. Jest w nim tylko pobieżny i niezbyt wyczerpujący przegląd journalowych publikacji dotyczących dynamiki konstrukcji drewnianych i ich odporności sejsmicznej.

Rozdział III, zawierający analizę odpowiedzi wykonanego ze sklejki o grubości 21mm, w skali 1:10 modelu budynku generuje wiedzę o charakterze popularnym. Zdaniem recenzenta tak wykonany model miał charakter pogładowy i nie nadawał się do poważnych testów dynamicznych gdyż nie udało się w nim wzbudzić wymuszonych drgań sejsmicznych o charakterze podobnym do tych które powinny pojawić się w analizowanym prototypie (oryginalnym budynku w skali 1:1). Przyznaje to Autor rozprawy na stronie 59:

Cytat: *„Uzyskane z badań eksperymentalnych wyniki pokazują, iż wzrost wartości ekstremalnej przyspieszenia analizowanego trzęsienia ziemi prowadzi do niemalże proporcjonalnego wzrostu wartości ekstremalnej odpowiedzi konstrukcji”*.

Zdaniem recenzenta należało trochę lepiej „przyłożyć się” do eksperymentowania, wybierając różne grubości sklejki (być może 1-3mm), dodać do niej balast (zmiana skali mas) i w konsekwencji uzyskać model zdecydowanie bardziej podatny dynamicznie. Istotne też jest odpowiednie, dużo lepiej przemyślane dobranie łączników ścian i innych elementów modelu. W ten sposób uzyskano by lepszy dynamiczny model budowli drewnianej bez wypełnienia, gdyż należy zgodzić się w tym wypadku z Autorem, że wykonanie w skali 1:10 modelu szkieletowego budynku z poprawnym modelem wypełnienia z pianki poliuretanowej i wełny mineralnej było niemożliwe ze względu na bardzo ograniczone możliwości przestrzennego skalowania dynamicznej pracy tych materiałów.

W związku z powyższym, w kolejnym **rozdziale IV**, Autor Rozprawy skierował swoją uwagę na dynamiczne badania wykonanych w skali 1:1 specjalnych paneli wypełniających wykonanych z drewna z wypełnieniem w postaci pianki poliuretanowej i wełny mineralnej obitych płytami OSB. Tak wykonany element o wymiarach 129cm x 60cm można już realnie badać na wymuszenia dynamiczne. Wybór harmonicznym wymuszeń o dużym zakresie przemieszczeń z częstością

bliską dominującej w sejsmicznych drganiach z częstością drgań własnych recenzent uważa za poprawne założenie metodologiczne. Takie panele dobrze reprezentują kluczowe elementy konstrukcji szkieletowej podczas silnego trzęsienia ziemi. Będą one drgać z częstością bliską częstości drgań własnych. W tym wypadku pseudo-statyczne eksperymenty są właściwym instrumentem badawczym. Wybór częstości 2.0Hz wydaje się wynikać z analiz późniejszego rozdziału VI zawierającego wyniki numerycznych analiz modeli MES badanego jednokondygnacyjnego budynku szkieletowego. Szkoda, że oprócz częstości 2.0 Hz nie wykonano także badań dla wybranej, wyższej częstości, np. 3 lub 4 Hz. Dałoby to szersze spojrzenie na badany problem. Tym nie mniej wyniki badań rozdziału IV uznać można za wnoszące nową wiedzę i najbardziej oryginalne w całej rozprawie. Doktorant samodzielnie zaprojektował i wykonał oryginalne stanowisko do badań dynamicznych paneli ściennych oraz użył go do przeprowadzenia badań dynamicznych dla dwóch wariantów paneli ściennych (z wypełnieniem w postaci izolacji z wełny mineralnej oraz z pianki poliuretanowej).

W kolejnym **rozdziale V**, Doktorant przeprowadził różnorodne badania materiałów wypełniających (pianki poliuretanowej i wełny mineralnej) to jest testów statycznych i tzw. badań DMA (dynamiczna analiza mechaniczna) oraz kalorymetrii różnicowej tych materiałów pracujących jako materiały izolacyjne. Doktorant przeprowadził (przy współpracy z *Katedrą Technologii Polimerów Wydziału Chemicznego P.G.*) oryginalne, statyczne i dynamiczne, w wielu wypadkach niekonwencjonalne (np. dynamiczno-termomechaniczne) badania materiałów budowlanych uzyskując oryginalną interdyscyplinarną wiedzę, bardzo przydatną w dalszych badaniach ocenianej rozprawy w tym dotyczącej trwałości tych materiałów. Trwałość to jedna z istotnych cech materiałów stosowanych w budownictwie i w niektórych wypadach może dyskwalifikować materiał do zastosowań w budownictwie.

Najbardziej obszerny **rozdział VI** Rozprawy zawiera różnorodne analizy numeryczne zagadnienia własnego oraz liniowej oraz nieliniowej, sejsmicznej odpowiedzi analizowanego prototypu budowli oraz jej podstawowych elementów to jest paneli zawierających wypełnienie niekonstrukcyjne (wełna mineralna lub pianka poliuretanowa). Rozdział ten wykorzystuje wyniki badań pozostałych rozdziałów do kalibracji parametrów materiałowych użytych w programie MES (zastosowano komercyjny pakiet RFEM). Jednak także wyniki numerycznych analiz tego rozdziału z pewnością posłużyły w badaniach eksperymentalnych rozprawy. W szczególności

ustalono podstawowe częstotliwości i postacie drgań własnych. Dla budynku z wypełnieniem wełną mineralną pierwsze dwie częstotliwości wzdłuż długości i w poprzek budynku wyniosły odpowiednio 1.79Hz oraz 1.97Hz. Trzecia częstotliwość tzw. torsion (obrotowa w płaszczyźnie poziomej) wyniosła 2.543Hz. Dwie pierwsze częstotliwości słusznie uznano za dominujące w późniejszych drganiach sejsmicznych i stąd zapewne wybór częstotliwości 2.0Hz do testów pseudo-dynamicznych paneli z rozdziału IV. Na dobrą zgodność otrzymanych podstawowych częstotliwości drgań własnych z pomiarami 'in -situ' wskazuje Autor rozprawy na stronie 111. Recenzent ma pewne wątpliwości czy wartość 2 Hz nie jest zbyt niska jak na budowlę jednokondygnacyjną (okres drgań 0.5s). Szkoda, że Autor nie wsparł wyników swoich analiz modalnych prostym eksperymentem wykonanym dla oryginalnego budynku (który zapewne gdzieś w Polsce stoi). Można było po prostu poddać oryginalną budowlę oddziaływaniu impulsowemu wymuszenia (uderzenie belką drewnianą) wzdłuż oraz w poprzek budynku i zarejestrować otrzymane przyspieszenia drgań gasnących budowli. Do tego celu w dzisiejszych czasach wystarczyłaby belka drewniana i smartfon z odpowiednią aplikacją.

Jednak zasadniczym wynikiem rozdziału VI są przedstawione na około 100 stronach zapisy odpowiedzi sejsmicznej numerycznego modelu MES badanej budowli (razem z odpowiednimi zapisami wymuszeń sejsmicznych). Zdaniem recenzenta można było uatrakcyjnić i wzbogacić te zapisy o dodatkowe analizy i wykresy (np. przedstawić powiększone, wybrane fragmenty odpowiedzi. Dodać, gdzie to niezbędne, wykresy widm Fouriera i przebiegów intensywności Ariasa (szczególnie dla wymuszeń sejsmicznych). Na rysunkach 116 i 117 podano wybrane mapy przemieszczeń. Dlaczego jednak nie przedstawiono szczególnie istotnych tu map naprężeń? **Przed wszystkim jednak brak jest na stronach 115-118 poprawnego wytłumaczenia modelu konstytutywnego przyjętego w nieliniowych analizach odpowiedzi sejsmicznej całej konstrukcji badanej budowli. Nie wyjaśniono także jakie wartości tłumienia drgań przyjęto w sejsmicznych obliczeniach całej konstrukcji (tłumienie opisane macierzą C we wzorach 6.2 i 6.9). Recenzent liczy, że Doktorant odniesie się szczegółowo do tego problemu przy okazji obrony pracy. Nieliniowe programy MES (zapewne także program RFEM) mają specyficzną bibliotekę stosowanych nieliniowych modeli konstytutywnych..**

Po wyjaśnieniu powyższych niejasności uznać będzie można wyniki analiz numerycznych przedstawionych w rozdziale VI za wyczerpujący opis odpowiedzi analizowanej budowli na wymuszenia sejsmiczne dla kilku znaczących zapisów

trzęsień ziemi przy różnych mnożnikach intensywności. W jakimś sensie uznać można te analizy za symulacyjne odpowiedniki wyników badań prototypu budynku (skala 1:1) na stole wstrząsowym które mogłyby zostać podjęte, gdyby Autor posiadał dostęp do pełnowymiarowego stołu wstrząsowego.

Opisane powyżej wyniki są oryginalnymi osiągnięciami Autora. Ich otrzymanie wymagało znacznego nakładu pracy nad przygotowaniem badań eksperymentalnych oraz przeprowadzaniem wielu żmudnych i złożonych symulacji numerycznych a Doktorant zdobył cenne doświadczenia w prowadzeniu eksperymentów naukowych w obszarze dynamiki budowli.

5. SZCZEGÓŁOWE UWAGI KRYTYCZNE

Str. 41 Rys. 2.22. Na rysunku tym pokazano m.in. przenoszenie projektowej siły sejsmicznej tzw. siły „base shear” przez poszczególne kondygnacje budynku. Jednak nie wyjaśniono tego prawidłowo.

Str. 42 rys. 2.23 przedstawia popularny opis wpływów sejsmicznych na niski budynek. Jak na rozprawę doktorską jest zbyt uproszczenie. Należało przynajmniej dodać, że jest to rysunek o charakterze poglądowym (popularyzatorskim).

Zaleca się aby podczas obrony (albo egzaminu z dyscypliny podstawowej) doktorant przedstawił poprawną, poglądową interpretację rysunków 2.22 i 2.23 przy wykorzystaniu pojęcia siły „base shear”.

Str. 50. Wcześniejszy opis stołu wstrząsowego i zdanie: *Parametry stołu umożliwiają uzyskiwanie wymuszeń sejsmicznych powstających podczas największych trzęsień ziemi (Fot. 3.1) (Jankowski 2007)* bardzo nieprecyzyjnie określają możliwości opisywanego stołu wstrząsowego. Nie wystarczy osiągać na danym stole przyspieszeń największych trzęsień ziemi – niezbędne jest określenie jaką masę (masowy moment bezwładności) może mieć model przy zadanym poziomie przyspieszeń. **Wskazane byłoby przedstawić podczas obrony komentarz doktoranta do tego problemu.** Wykorzystać można powszechnie dostępną wiedzę naukową w Internecie (np. publikacje naukowe dotyczące hasła ‘shaking table’ wg. Google Scholar).

Str. 55 Rys. 3.3 i następne (...) cytat: *dla trzęsienia ziemi El Centro o mocy 25%, kierunek wzdłużny X*

Pisanie o 'mocy' trzęsienia ziemi jest bardzo nieprecyzyjne. Powinno być użyte określenie 'intensywność' w tym kontekście, np. o intensywności określonej mnożnikiem 25% zapisu przyspieszeń El Centro

Strona 59. Wyniki z Tab. 3.1 wskazane byłoby przedstawić w formie wykresu.

Wskazane byłoby uczynić to podczas obrony Rozprawy.

Strony 64-67 (rozd.4.2). Wskazane byłoby wyjaśnić w jaki sposób siłownik przenosił siłę na element badany.

Strony 67-75 (rozd.4.3). Wskazane byłoby szczegółowe wyjaśnienie, że liczba tłumienia (ułamek tłumienia) wyznaczony wzorem 4.2 opisuje w tych eksperymentach zarówno charakterystyczne tłumienie materiałowe jak i dyssypację energii związaną z uszkodzaniem się materiału, przy czym to drugie ma zdecydowanie większe znaczenie. Szkoda, że nie wykonano badań celem wyznaczenia osobnego tłumienia w zakresie liniowej pracy materiału co pozwoliłoby lepiej wyjaśnić sens zjawiska „tłumienia” drgań tak jak rozumie się je w Rozprawie. **Recenzent postuluje, aby problem jak rozumiane jest tłumienie w rozdziale 4 i w całej Rozprawie, Doktorant poruszył w stopniu wyczerpującym podczas obrony.**

Strona 102. Tab. 6.1. Dlaczego wypełnienie między-szkieletowe nr 1 (wełna mineralna) jest opisane modelem liniowo-sprężystym a wypełnienie między-szkieletowe nr 2 (pianka poliuretanowa) modelem nieliniowo-sprężystym? Wełna mineralna jako balast? Nie jest to poprawnie wyjaśnione w Tab. 6.1.

Strona 103. Punkt 6.1.1. Autor podaje jako warunki brzegowe zablokowanie 3 stopni swobody (translacje x, y, z) natomiast przy omawianiu eksperymentu wspomina o utwierdzeniu (zablokowaniu także obrotu). Niezbędne jest wyjaśnienie tej rozbieżności.

Strona 111. W tytule rozdziału użyto określenia 'analiza modalna'. Poprawnie powinno się użyć określenia 'zagadnienie własne' gdyż wyznaczono częstotliwości i postacie drgań modelu MES i nie odniesiono ich do wielkości eksperymentalnych.

Strona 116. Wzór 6.5 niepoprawnie ujmuje opis rotacyjnego wymuszenia sejsmicznego. Np. dla wymuszeń obrotowych wokół osi poziomych zamiast „jedynek” powinny w macierzy wpływu pojawić się wysokości współrzędnych nad powierzchnią poziomych wymuszeń.

Strona 232. Brak jest legendy opisującej mapy przemieszczeń z rysunków 6.116 i 6.117.

6. UWAGI JĘZYKOWE I DROBNE USTERKI ZAUWAZONE W PRACY

Str. 6 i inne. W mechanice konstrukcji nie powinno się używać wieloznacznego pojęcia 'dom', a raczej 'budynek' albo 'budowla'.

Str. 60 Czy w j. polskim istnieje takie słowo jak 'zeskalowany'?

Str. 76 Problem z logiką zdania ze stron 76: *Materiały izolacyjne zastosowane jako wypełnienie badanych w rozdziale IV paneli ściennych, tzn. wełna mineralna oraz pianka poliuretanowa, mają inne zastosowanie, przez co niezwykle istotna jest ich charakterystyka oraz parametry materiałowe.*

Doktorant być może miał na myśli, że materiały te powstały do innych celów niż budowlane (?). Zdanie to jednak jest niejasne a i ten pogląd kontrowersyjny. W Rozprawie jest więcej podobnie nieprecyzyjnych stwierdzeń.

Strona 96. Pomieszana numeracja pod-rozdziałów (także w spisie treści).

Strona 103. Autor wielokrotnie używa określenia „element badawczy”, „rama badawcza” (np. na stronie 103). Powinno być „badana rama”.


7. WNIOSEK I KOŃCOWA OCENA PRACY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Marcina SZCZEPAŃSKIEGO obejmuje różnorodne zagadnienia z obszaru dynamiki budowli i inżynierii sejsmicznej pewnego typu szkieletowego budynku drewnianego z wypełnieniem. Jak wcześniej pokazano w niniejszej recenzji ocena rozprawy nie jest jednolita. Tytuł rozprawy jest niezbyt precyzyjny. Jej interdyscyplinarny charakter lepiej oddałby tytuł „*Analiza charakterystyk dynamicznych i sejsmicznej odporności drewnianego budynku szkieletowego*”. Recenzent zauważył także liczne niedostatki językowe (niektóre z nich wykazano w punkcie 6 Recenzji) i braki precyzji wyrażania myśli oraz niejasności, szczegółowo wykazane w treści recenzji. Ich wyjaśnienie powinno nastąpić podczas obrony pracy.

Rozdział III zawiera opis modelowego eksperymentu w skali 1:10 na stole wstrząsowym, którego wyniki uznać można jedynie za poglądowe ze względu na niewłaściwą konstrukcję zbyt małego modelu, aby poprawnie odzwierciedlał drgania badanego prototypu budowli. Z drugiej strony rozdział IV opisuje zakrojone z rozmachem, oryginalne, pseudo dynamiczne badania drewnianych paneli z wypełnieniem tłumiącym drgania, a rozdział VI wyniki oryginalnych symulacji MES zarówno dla paneli będących elementami budynku szkieletowego jak i dla tego budynku w postaci pełnowymiarowej. Razem z rozdziałem V wyniki te wnoszą wystarczające elementy nowości naukowej, aby uznać, że Rozprawa spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie

sztuki (Dziennik Ustaw nr 65, poz. 598) i może być podstawą nadania Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes. The signature is positioned in the upper left quadrant of the page.