

Lublin, 12 lutego 2022r.

Dr hab. inż. Jerzy Podgórski, prof. Pol. Lubelskiej
Politechnika Lubelska
Katedra Mechaniki Budowli, WBiA
ul. Nadbystrzycka 40, 20-620 Lublin

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Michała Bakalarza**

**pt. "Efektywność wzmacniania zginanych belek z drewna
klejonego warstwowo z fornirów za pomocą kompozytów
włóknistych"**

1. Podstawa opracowania

Recenzja została opracowana na prośbę Dyrektora Naukowego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Świętokrzyskiej, prof. dr hab. inż. Jerzego Wawrzeńczyka, wyrażoną w piśmie BAA/D120/2021 z dnia 25 listopada 2021r, które informuje mnie o uchwale Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 9 listopada 2021, powołującej mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Bakalarza. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Paweł Kossakowski, prof. PŚk. Przesłana do oceny dysertacja doktorska zawarta jest w tomie liczącym wraz załącznikami 302 strony.

wpłynęło dnia:
2022-02-21
Data
Podpis *M. Konec*

2. Tematyka i charakterystyka pracy

Treść rozprawy zawarta jest w 7 rozdziałach do których dołączono streszczenie w języku polskim i angielskim, spis oznaczeń, bibliografię (243 pozycje), spis tablic (115 pozycji) i rysunków (215 pozycji).

Rozdział 1 jest wstępem zawierającym wprowadzenie do tematu rozprawy, określenie problemu naukowego oraz celu i zakresu rozprawy. Rozdział ten zawiera również krótkie streszczenia pozostałych części pracy.

Problem naukowy, którego rozwiązanie doktorant postawił sobie jako cel swoich badań został określony następująco: *"opisanie pracy statycznej zginanych belek LVL z drewna klejonego warstwowo z fornirów (w skali laboratoryjnej i technicznej) wzmocnionych kompozytami włóknistymi"*. Realizacja tego celu badań ma pozwolić na *"opracowanie wytycznych technologicznych, na podstawie których określone zostaną procedury dotyczące stosowania materiałów FRP jako wzmocnienia biernego belek z forniru klejonego warstwowo"*.

Metodą, która została wybrana do realizacji celu była obserwacja i analiza danych eksperymentalnych uzyskanych podczas badań laboratoryjnych belek zginanych wzmocnianych przez naklejone na powierzchnie boczne maty zbrojone włóknami aramidowymi, oraz przyklejone do dolnej powierzchni taśmy CFRP.

Realizację tych badań autor przedstawił w 5 punktach:

- a) *określenie wpływu wzmocnienia matami kompozytowymi o zasadniczo jednokierunkowym układzie włókien przyklejanymi do powierzchni zewnętrznych za pomocą klejów na bazie żywicy epoksydowej na nośność, sztywność przy zginaniu i ciągliwość zginanych belek w skali laboratoryjnej;*
- b) *określenie wpływu wzmocnienia matami i laminatami CFRP przyklejanymi do powierzchni zewnętrznej oraz wklejanymi w bruzdy*

- za pomocą klejów na bazie żywicy epoksydowej na nośność, sztywność przy zginaniu i ciągliwość pełnowymiarowych dźwigarów LVL;*
- c) określenie wpływu przestrzennego rozmieszczenia zbrojenia na mechanizm zniszczenia belek wzmocnionych;*
 - d) przeanalizowanie możliwości zastosowania systemu optycznego typu ARAMIS do badania odkształceń i deformacji przestrzennych niewzmocnionych i wzmocnionych pełnowymiarowych belek LVL;*
 - e) opracowanie skryptów w środowisku programowania wizualnego pozwalających analizować deformacje, krzywiznę, odkształcenia oraz tworzyć modele wirtualne badanych obiektów na podstawie danych o położeniu punktów pomiarowych uzyskanych z systemu optycznego.*

Badania laboratoryjne na modelach przeprowadzono w Laboratorium Wytrzymałości Materiałów Politechniki Świętokrzyskiej, a belek pełnowymiarowych w Laboratorium Konstrukcji Betonowych i Diagnozowania Obiektów Techniki Politechniki Świętokrzyskiej.

Rozdział 2 zatytułowany „Analiza literatury przedmiotu”, zawiera przegląd prac zawierających podstawowe informacje na temat forniru klejonego warstwowo (LVL), przyczyn i metod wzmacniania konstrukcji drewnianych oraz charakterystykę materiałów kompozytowych używanych do wzmacniania tych konstrukcji. Omówione zostały w nim wyniki wybranych badań laboratoryjnych dotyczących wzmacniania konstrukcji drewnianych ze szczególnym uwzględnieniem belek. Szczegółowo omówione tu są różne technologie stosowane przy wzmacnianiu belek oraz uproszczone analityczne formuły służące do szacowania ich nośności.

Rozdział ten kończy opis wybranych przykładów konstrukcji, w których zastosowano różne technologie wzmacniania belek drewnianych.

Rozdział 3 zatytułowany "Badania własne", zawiera opis i wyniki badań na modelach laboratoryjnych, które autor nazwał badaniami wstępnymi, oraz wyniki badań belek pełnowymiarowych.

Przedmiotem badań wstępnych były zginane 4 punktowo belki o wymiarach $45 \times 100 \times 1700 \text{ mm}$ z forniru klejonego warstwowo (LVL) wzmocnione materiałami kompozytowymi zawierającymi różne rodzaje włókien. Wykorzystane zostały maty z włóknami aramidowymi na osnowie poliestrowej: S&P A-sheet 120, maty z włóknami szklanymi S&P G-sheet E 90/10 B, maty z włóknami węglowymi S&P C-sheet 240 oraz S&P C-sheet 640 (mata węglowa o ultra-wysokim module sprężystości). W trakcie obciążenia rejestrowano przemieszczenia w punktach przyłożenia sił oraz w środku rozpiętości. Na podstawie wyników pomiarów wyznaczono średni moduł sprężystości oraz wytrzymałości belek wzmocnionych i bez wzmocnienia. Badaniom w mniejszej skali poddane zostały także próbki materiałów: forniru klejonego warstwowo, żywicy epoksydowej i kompozytów.

Badania belek pełnowymiarowych były elementy z fornirów klejonych warstwowo o wymiarach nominalnych $45 \times 200 \times 3400 \text{ mm}$ wzmocnione matami (S&P C-Sheet 240) i laminatami zbrojonymi włóknami węglowymi (S&P C-Laminate 150/2000), oraz belki bez wzmocnienia. Badaniom poddano 6 pięcioelementowych serii, które autor oznaczył literami A-F:

- A. belki referencyjne;
- B. belka wzmocniona jedną warstwą maty węglowej o szerokości 30 cm przyklejonej do spodu i powierzchni bocznych belki;
- C. belka wzmocniona dwoma warstwami maty węglowej przyklejonej do spodu belki i powierzchni bocznych elementu;
- D. belka wzmocniona dwoma warstwami maty węglowej o szerokości 30 cm każda przyklejonych na całej wysokości (zbrojenie typu U);
- E. belka wzmocniona dwoma pasami taśmy węglowej wklejonej wewnątrz wstępnie wydrążonej bruzdy od spodu elementu VNSM (Vertical Near Surface Mounted);
- F. belka wzmocniona taśmą węglową przyklejoną od spodu elementu EBR (Externally Bonded Reinforcement);

Podczas badań w sposób ciągły rejestrowano:

- wartość siły obciążającej i przemieszczenia siłowników;
- przemieszczenie dolnej powierzchni belki w środku rozpiętości;
- przemieszczenia powierzchni bocznej za pomocą systemu ARAMIS;
- postacie zniszczenia za pomocą aparatu fotograficznego.

Wyniki tych badań przedstawione zostały na wykresach a dane uzyskane z systemu Aramis posłużyły do wyznaczenia odkształceń elementów. Wyniki zostały poddane analizie statystycznej, która pozwoliła na określenie wartości maksymalnych obciążenia i przemieszczenia oraz zależności między nimi.

Rozdział ten kończy podsumowanie zawierające informacje dotyczące efektywności różnych sposobów wzmocnienia oraz wskazówki technologiczne.

Rozdział 4 zatytułowany "*Zastosowanie systemu optycznego typu ARAMIS*", poświęcony jest szczegółowej analizie danych uzyskanych za pomocą tego optycznego systemu pomiarowego. Na wstępie rozdziału podano opis systemu oraz metodologię pomiarów i walidację danych otrzymywanych z systemu. Przetworzenie tych danych pozwoliło autorowi na wyznaczenie parametrów charakteryzujących badane elementy. Analizowano:

- *Stan graniczny użytkowalności;*
- *Odkształcenia;*
- *Deformacje belek pełnowymiarowych;*
- *Sztywność belek;*
- *Moduł sprężystości przy zginaniu;*
- *Ciągliwość materiału;*

Rozdział kończy podsumowanie zastosowania ARAMIS-a w pomiarach odkształceń wskazujące na zalety i wady stosowania tego optycznego

systemu. Brakuje tu z pewnością oszacowania błędów pomiarów wykonanych tą techniką. Jest to szczególnie istotne przy wyznaczaniu składowej u_z przemieszczenia belki, na podstawie zdjęć z 2 kamer fotograficznych i wykorzystaniu w tym celu zjawiska paralaksy. Błąd uzyskanej tak wartości przemieszczenia może tu być szczególnie istotny.

Rozdział 5 zatytułowany *"Zastosowanie programowania wizualnego"* przedstawia metody wizualizacji dużych zbiorów danych uzyskiwanych z systemu optycznego Aramis. Wizualizację danych wykonano w środowisku systemu *"Autodesk Dynamo Studio"*, które umożliwia wykonywanie operacji na dużych zbiorach danych i ich wizualizację i przetworzenia na obiekty geometryczne, które można przekazywać innym systemom Autodesku. Automatyzacja procesu przetwarzania danych możliwa jest dzięki wykorzystaniu skryptów sterujących systemem *Dynamo*.

Autor opisał konstrukcję tych skryptów, które wykonuje do wyznaczenia parametrów badanych belek potrzebnych w szczegółowej analizie danych eksperymentalnych. Uzyskane parametry opisane są następująco:

- wartości krzywizny κ i promienia krzywizny ρ dla wybranych przekrojów podłużnych w płaszczyznach xz , yz oraz w przestrzeni 3D;
- wyznaczenie kąta nachylenia profili γ przekrojów poprzecznych;
- szacowanie odkształceń ϵ_x wzdłuż wybranych wierszy na podstawie analizy zmian położenia punktów pomiarowych w trakcie badania;
- mapowanie kolorystyczne zamodelowanych obiektów geometrycznych;
- modelowanie powierzchni pomiarowej i bryły środkowej części belek oraz jej eksport do środowiska projektowania Autodesk Revit 2021

Rozdział ten kończy krótkie podsumowanie, które zawiera wnioski wysnute z obserwacji możliwych dzięki zastosowaniu wizualizacji danych pomiarowych.

Rozdział 6 zatytułowany, trochę niefortunnie, *"Analiza analityczna"* poświęcony jest porównaniom przetworzonych wyników pomiarowych

(naprężeń wyliczonych z odkształceń pomierzonych Aramisem) z oszacowaniami uzyskanymi przez zastosowanie liniowo-sprężystego modelu belki Bernoulliego o przekroju zastępczym. Charakterystyki geometryczne tego przekroju uzyskane zostały poprzez przetworzenie rysunku przekroju w programie *AutoCad*. Takie "inżynierskie" podejście do tego problemu nie uzasadnia nazwanie tego rodzaju oszacowań "analizami analitycznymi". Dalsza część tego rozdziału zawiera porównania zmian położenia osi obojętnej badanych belek z położeniem środka ciężkości przekroju zastępczego, wyznaczeniem wytrzymałości belek podczas zginania oraz sztywności zginania. Wszystkie te oszacowania bazują na założeniu liniowo-sprężystego modelu Bernoulliego jako belki zastępczej.

Rozdział 8 zatytułowany jest *"Podsumowanie, wnioski i kierunki dalszych badań"* i jego treść dobrze odpowiada tytułowi. Autor zebrał tu najważniejsze wyniki badań i wnioski formułowane podczas analizy tych rezultatów. Zakończenie tego rozdziału zawiera stwierdzenia:

"Potwierdzono zasadność zastosowania kompozytów włóknistych jako wzmocnienia zginanych swobodnie podpartych belek z drewna klejonego warstwowo z fornirów. Uzyskano znaczące przyrosty nośności przy zginaniu, ciągliwości elementów oraz sztywności.

Opracowana technologia wzmacniania znacznie zwiększa konkurencyjność belek LVL, co uzasadnia z ekonomicznego punktu widzenia praktyczne jej wykorzystanie.

Zawarto tu także plany dalszych rozszerzonych badań elementów LVL z wykorzystaniem optycznej aparatury pomiarowej i systemu Aramis.

3. Merytoryczna ocena pracy

Tematyka podjęta w dysertacji jest ciągle istotna z naukowego jak też praktycznego punktu widzenia. Sformułowanie precyzyjnych i wygodnych w zastosowaniach warunków nośności i użytkowości konstrukcji z drewna klejonego i kompozytów złożonych z materiałów drewno-

pochodnych wzmocnionych taśmami FRP jest ważnym z punktu praktycznych zastosowań powodem podejmowanych prac badawczych.

Badania modelowe oraz eksperymenty na rzeczywistych elementach, które podjął doktorant, stanowią ważny przyczynek do poznania charakterystyk mechanicznych tych kompozytów. Próby zastosowań prostych liniowo-sprężystych modeli belkowych do symulacji zachowania badanych elementów należy traktować jako bardzo wstępne podejście do oszacowania ich wytrzymałości podczas zginania. To podejście nie może się w pełni powieść z powodów oczywistych jakimi są nieliniowość i niesprężystość materiału jakim jest kompozyt LVL+FRP, oraz występowanie w stanach krytycznych innych zjawisk jak delaminacja i pękanie, których nie można opisać liniowym modelem belki Bernoulliego. Dobrym wyjściem przed zaproponowaniem nieliniowego zastępczego modelu belkowego bałaby symulacja numeryczna przeprowadzonych eksperymentów z zastosowaniem zaawansowanego oprogramowania, które umożliwi modelowanie niesprężystych i geometrycznie nieliniowych reakcji materiału.

Praca jest bardzo obszerna (302 strony) z dużą liczbą rysunków (215) i tablic z wynikami pomiarów (115) co trochę utrudnia czytanie. Część z tych danych można byłoby przenieść do załączników a w treści zostawić tylko te najistotniejsze i reprezentatywne.

Manuskrypt przygotowany jest dobrze zarówno pod względem edytorskim jak też pod względem językowym. Układ pracy jest czytelny i logiczny, dołączone indeksy (spisy treści, oznaczeń, oraz spis rysunków i tabel) pomagają w czytaniu pracy. Na uwagę też zasługuje niezwykle obszerny zbiór (243 pozycje) cytowanych publikacji.

W tak obszernej pracy trudno ustrzec się jednak od błędów, które autor może poprawić przed jej publikacją. Zauważone przez recenzenta w czasie uważnej lektury błędy zostały zestawione w załączniku ale w tym miejscu chciałbym wskazać na moim zdaniem błędy najistotniejsze.

Podane na Str. 22 sformułowanie - *"Rozkład odkształceń przy zniszczeniu belek wzmocnionych przyjmuje nieliniową krzywiznę w strefie ściskanej i liniową w strefie rozciąganej"* jest błędne bo chodzi tu zapewne o nieliniową charakterystykę rozkładu odkształceń w przekroju.

Str. 84 – brak jest wyjaśnienia z czego może wynikać znacznie niższa sztywność jednej z belek?

Str. 86 – z czego może wynikać znacznie większa sztywność jednej z belek, zaznaczonej na wykresach kolorem żółtym.

Str. 89 – czy w przypadku próbek G1, G2, G3 mata nie powinna się również zerwać, skoro postać zniszczenia to rozciąganie? Brak jest wyjaśnień dotyczących sposobu zniszczenia (delaminacja?).

Str 101 – równanie (3.6) jest źle zapisane, gdyż występujący tam mnożnik 10^6 pozwala przypuszczać, że autorowi chodzi o przeliczenie jednostek. Autor nie podaje jednak jakie jednostki należy zastosować przy wprowadzaniu pozostałych wielkości występujących w tym równaniu, co może spowodować nieporozumienie. Takie podejście stosuje się zwykle w prostych opracowaniach normowych, jednak w pracy naukowej przeliczniki nie są potrzebne.

Str. 104-106 – brakuje tu wykresów przedstawiających zależności siła-przemieszczenie w każdym z badań, sama wytrzymałość nie jest wystarczająca np. do modelowania kompozytu LVL. Niezbędne w modelowaniu są też sztywności materiału w różnych kierunkach, które w przypadku materiału LVL na pewno będą się od siebie różniły.

Str. 107 – badanie wytrzymałości przy zginaniu próbki kleju epoksydowego nie wydaje się przydatne w modelowaniu materiału. W przypadku przyklejania mat klej będzie pracował na odrywanie i ścinanie oraz na rozrywanie prostopadle do kierunku włókien. Próbki kleju przedstawione na ilustracji 3.32 wydają się być dosyć „krępe” – czy tego typu próbka pozwala wyznaczyć wytrzymałość? Jak były wyznaczone naprężenia w trakcie badania tych próbek, bo liniowa teoria belek jest w tym przypadku mało przydatna.

Str. 150 i cały rozdz. 4 – brakuje wzmianki o błędach pomiarów wykonanych techniką optyczną. Jest to szczególnie istotne przy wyznaczaniu składowej u_z przemieszczenia belki, na podstawie zdjęć z 2 kamer fotograficznych i wykorzystaniu w tym celu zjawiska paralaksy. Błąd uzyskanej tak wartości przemieszczenia może być szczególnie istotny, a odkształcenia wyznaczane jako różnice przemieszczeń obarczone są błędem jeszcze większym.

Str. 185, rys 4.33 (prawy) - nie jest jasne jakie są kierunki osi układu współrzędnych? Czy kąt "gamma" zaznaczony na rysunku jest tu ujemny?

Str. 186 – obserwacja wykresów na rys. 4.34 pozwala wywnioskować, że badana belka w początkowym ustawieniu była wstępnie obrócona wokół osi poziomej, następnie w wyniku obciążania ulegała „wyprostowaniu”. Nie jest jasna przyczyna tego zjawiska.

Str. 240 – z podsumowania rozdziału 5 wynikają oczywiste wnioski, które można znaleźć w wielu publikacjach. Są one charakterystyczne dla wzmacniania elementów w strefie rozciąganej. Czy przedstawiony model w można wykorzystać do analizy belki o innej konfiguracji niż badane w pracy, bez prowadzenia kolejnych badań laboratoryjnych?

Str. 242 – odczytanie charakterystyk przekroju z programu AutoCAD nie jest podejściem analitycznym. Zastosowane podejście nie pozwala na bezpośrednie wykorzystanie modelu do obliczeń belek w innej konfiguracji niż badana. Dla innej geometrii kompozytu, np. dla taśmy o większej sztywności, trzeba policzyć "ręcznie" szerokości zastępcze, później narysować przekrój w programie AutoCAD i dopiero podstawić tą wartość do kolejnego równania. Model analityczny powinien umożliwiać bezpośrednie obliczenie odpowiednich wartości poprzez podstawienie wymiarów elementu oraz parametrów materiałowych.

Str. 243, 250 – zniszczenie próbek B1 i D4 nastąpiło przez rozciąganie i zerwanie maty (Tab. 3.26, 3.30), dlaczego wykorzystanie wytrzymałości maty wyniosło tylko 23%?

Pozostałe błędy zauważone w tekście są mniej istotne, może tylko warto zwrócić uwagę na pewne nieścisłości w sformułowaniach i drobne błędy edycyjne. Na te usterki pracy warto zwrócić uwagę przy jej ewentualnej publikacji, nie umniejszają one jednak pozytywnej oceny dysertacji pod względem merytorycznym, a pod względem edycyjnym jak już zaznaczyłem przygotowana została dosyć starannie.

4. Wniosek końcowy

Podsumowując recenzję stwierdzam, że rozprawa doktorska magistra inżyniera Michała Bakalarza pt. "Efektywność wzmacniania zginanych belek z drewna klejonego warstwowo z fornirów za pomocą kompozytów włóknistych" jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego i potwierdza jego wiedzę w dziedzinie prowadzenia badań eksperymentalnych konstrukcji kompozytowych. Autor wykazał w pracy swoje znaczne umiejętności w prowadzeniu badań laboratoryjnych i analizy

wyników tych badań. Doktorant przedstawił rozwiązanie postawionych problemów naukowych. Dysertacja spełnia tym samym wymóg art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Należy też wysoko ocenić przydatność praktyczną wyników badań laboratoryjnych oraz ich interpretacji przedstawionych w pracy.

Stawiam wniosek do przyjęcie dysertacji doktorskiej mgr inż. Michała Bakalarza i dopuszczenie kandydata do jej publicznej obrony oraz do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'J. Podgórski'. The signature is fluid and cursive, with the first letter 'J' being large and stylized. The name 'Podgórski' follows in a similar cursive style.

Załącznik do recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Bakalarza

Zauważone pomyłki, błędy edytorskie lub sugestie zmian tekstu

- Str. 9-10 – nie najładniej brzmi określenie „manipulowanie danymi” oraz „analiza analityczna”, warto poszukać mniej kontrowersyjnych opisów.
- Str. 7,9,10,20,21,219,220,239,267 – "programowanie wizualne"- warto zastanowić się nad zmianą tego określenia na inne, lepiej oddające istotę zagadnienia. Nie wiadomo teraz co ono określa, graficzny interfejs systemu tworzenia skryptów sterujących, czy też sam proces sterujący wizualizacją zbioru danych. Słowo programowanie dla użytkowników systemów komputerowych nieodmiennie kojarzy się z procesem tworzenia kodu, który steruje maszyną.
- str 22 – rozkład odkształceń przy zniszczeniu belek wzmocnionych przyjmuje nieliniową krzywiznę w strefie ściskanej i liniową w strefie rozciąganej -raczej charakterystykę
- Str. 77 – przydałoby się wyjaśnić słowo „podbitka”, nie jest to napisane, ale w dalszej części pracy można się dowiedzieć, że jest to płaszczyzna dolna
- Str. 78 – pogrubiałbym nazwy serii próbek na rysunku
- str 81 – "*napór obciążających*" - **napora** to słowo, które nie występuje w słowniku języka polskiego, jest **napornik** jako część mechanizmu amortyzującego. Pewnie istnieje polskie określenie tej części maszyny wytrzymałościowej, bo jeżeli nie to mamy neologizm.
- Str. 84 – z czego może wynikać znacznie niższa sztywność jednej z belek? Dobrze byłoby też napisać skąd wzięły się znaczniki poziome 180s, 300s, 420s zaczynając od Rys. 3.5
- Str. 85 – tło na rysunkach z postaciami zniszczenia belek jest za mało kontrastowe, co obniża widoczność szczegółów
- Str. 84-93 – nie podoba mi się odwrócenie niektórych belek na zdjęciach – badanie prowadzone było z przemieszczeniem w dół, a jedne próbki są wygięte do góry, inne do dołu. Warto wybrać jednolitą formę przedstawienia zdjęć. Kolory dwóch pierwszych próbek na wykresach są do siebie bardzo zbliżone i trudno je rozróżnić. Jeżeli na wykresach podana jest średnia siła maksymalna dla belek referencyjnych to podawałbym również średnią uzyskaną dla kolejnych serii, w tej wersji
- Str. 86 – pytanie z czego może wynikać znacznie większa sztywność belki "żółtej" na wykresach
- Str. 89 – czy w przypadku próbek G1, G2, G3 mata nie powinna się również zerwać, skoro postać zniszczenia to rozciąganie? co się z nią dzieje – delaminacja?
- Str. 101 – wzór 3.6 jest źle zapisany, trzeba podać jednostki wprowadzania danych, albo lepiej – zastosować taką postać równania, która nie zależy od jednostek
- Str. 104-105 – czy forma zniszczenia była taka sama dla każdej z próbek?
- Str. 104-106 – moim zdaniem dużo cenniejszą wiedzą byłyby wykresy zależności siła-przemieszczenie w każdym z badań. Sama wytrzymałość nie jest wystarczająca np. do

modelowania kompozytu LVL. Niezbędne są też sztywności w różnych kierunkach, które w tym przypadku na pewno będą się od siebie różniły

- Str. 107 – moim zdaniem badanie wytrzymałości na zginanie kleju epoksydowego nie jest przydatne. W przypadku przyklejania mat klej będzie pracował na odrywanie i ścinanie oraz na rozrywanie prostopadle do kierunku włókien. W jakim celu szacowana jest wytrzymałość na zginanie? Próbkę kleju wydają się być dosyć „krępe” – czy na pewno nie będą tu zachodziły inne zjawiska oprócz zginania – ścinanie czy wgniatanie w miejscu przyłożenia obciążenia? O ile ze sztywności podłużnej kleju wywnioskujemy jego sztywność poprzeczną, o tyle z wytrzymałości na zginanie nie wywnioskujemy parametrów charakteryzujących pracę statyczną kleju
- Str. 111 – warto pogrubić nazwy serii próbek na rysunku
- Str. 160-162 – nie najlepiej wyglądają mapy odkształceń – prawie wszystko jest niebieskie, może uda się lekko zmienić skalę barw?
- Str. 185 - wszystkie belki serii A posiadały dodatnie przechylenie początkowe (Rys. 4.34), jedynie w przypadku elementu A2 uległo zmianie na wartość ujemną w końcowej fazie badania.
- rys 4.33 (prawy) - jakie są kierunki osi? kąt "gamma" jest tu ujemny?
- Str. 186 – nie wiem czy dobrze rozumiem, ale z większości wykresów chyba wynika, że belka w początkowym ustawieniu była obrócona poza płaszczyznę, następnie w wyniku obciążania ulegała „wyprostowaniu” – wydaje mi się, że coś jest z tym nie tak – może należało odnosić kolejne przyrosty obciążenia do obciążenia wstępnego?
- Str. 240 " *odkształcenia ściskające i rozciągające* " – naprężenia czy siły mogą być "ściskające" lub "rozciągające", ale odkształcenia NIE, one są dodatnie (przy rozciąganiu) lub ujemne (przy ściskaniu)
- Str. 242 – odczytanie charakterystyk przekroju z programu AutoCAD nie jest podejściem analitycznym. Zastosowane podejście nie pozwala na bezpośrednie wykorzystanie modelu do obliczeń belek w innej konfiguracji niż badana. W celu policzenia belki, np. dla taśmy o większej sztywności, trzeba doliczyć ręcznie szerokości zastępcze, później narysować przekrój w programie AutoCAD i dopiero później podstawić do kolejnego wzoru. Model analityczny powinien umożliwiać bezpośrednie obliczenie odpowiednich wartości poprzez podstawienie wymiarów elementu oraz parametrów materiałowych
- Str. 243 – zniszczenie próbki B1 nastąpiło przez rozciąganie i zerwanie maty (Tab. 3.26) – dlaczego wykorzystanie maty to tylko 23% (1200/5100)?
- Str. 250 – podobna uwaga jak wyżej do belki D4
- str 253 "*normlane*"??? **normalne**
- Str. 256 "*wartościami znajdującymi się po obu stronach osi pionowej*" co to za oś ? autorowi chodzi chyba o linię zerowych wartości naprężeń
- Str. 257 "*amplituda przemieszczeń położenia osi obojętnej ulega zmniejszeniu*" – amplituda występuje w dynamice, a tu mamy statyczne przemieszczenie, więc należy użyć innego określenia (np. maksymalna wartość przemieszczenia?)