

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. Grzegorza Koczana pt.

Badanie nieliniowych modeli wytrzymałościowych dla zginania drewna

wykonanej pod kierunkiem dr. hab. inż. Pawła Kozakiewicza, prof. SGGW

1. Podstawa recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Dyrektora Instytutu Nauk Drzewnych i Meblarstwa SGGW w Warszawie, dr. hab. inż. Pawła Kozakiewicza, prof. SGGW, z dnia 9 października 2020 r. (znak INDM/88/2020), z prośbą o wykonanie recenzji ww. rozprawy doktorskiej, w związku z powołaniem mnie w dniu 16 czerwca 2018 r. na recenzenta tej rozprawy przez Radę Wydziału Technologii Drewna SGGW w Warszawie. Do pisma dołączono przedmiotową rozprawę doktorską w wersjach papierowej oraz cyfrowej (płyta CD).

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska, którą zredagowano na 90 stronach (standardowy dla tego typu opracowań format i styl, jednak ze zwartą interlinią). Dodatkowo zamieszczono podziękowania (1 strona), stosowne oświadczenia i zgodę Autora (2 strony), a także 3 puste strony (których obecność w pracy trudno uzasadnić – owszem, w wielu redakcjach panuje zasada, że główne rozdziały rozpoczynają się na stronach nieparzystych, ale w ocenianej pracy zdecydowanie nie zachowano w tym względzie konsekwencji). Zasadniczą część pracy, poprzedzoną streszczeniami i słowami kluczowymi w języku polskim i angielskim, spisem treści, a także – pomocną w tej pracy – listą użytych symboli matematycznych i innych oznaczeń, podzielono na 9 głównych rozdziałów (77 stron). Najobszerniejszymi rozdziałami są *Analiza teoretyczna poszczególnych modeli* (rozdział 6) oraz *Wyniki badań i ich analiza* (rozdział 7) – po ok. 25% objętości zasadniczej części pracy. Mniejszą objętość mają rozdziały *Stan zagadnienia* (rozdział 2) i *Metodyka badań* (rozdział 5) – po ok. 17%. Pozostałe rozdziały są zdecydowanie krótsze (od 1 do niespełna 4 stron). Bezpośrednio po zasadniczej części pracy, zamieszczono spis wykorzystanych w niej źródeł literaturowych (83 pozycje) i norm (25 pozycji).

3. Ocena ogólna

Układ pracy zaprojektowano poprawnie, bowiem kolejność przedstawionych treści pozwala na ich zrozumienie. Objętość poszczególnych rozdziałów jest – ogólnie rzecz biorąc – stosowna do zawartych w nich treści. Pracę zredagowano dość starannie, napisano ją zrozumiałym językiem.

Przedmiotem pracy było opracowanie modeli matematycznych, pozwalających na wyznaczenie doraźnej wytrzymałości na zginanie drewna na podstawie znajomości jego innych parametrów mechanicznych (modułu sprężystości liniowej, wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie). Istotną częścią pracy była weryfikacja zaproponowanych modeli matematycznych w oparciu o wyniki wytrzymałościowe uzyskane eksperymentalnie dla 10 zróżnicowanych strukturalnie gatunków drewna. Pomiarów wybranych parametrów mechanicznych drewna (wytrzymałość i moduł sprężystości liniowej w próbach podłużnego ściskania, rozciągania i zginania) przeprowadzono przy dwóch ważnych, z praktycznego punktu widzenia, jego stanach wilgotnościowych, a mianowicie w stanie równowagi higroskopijnej w laboratorium (wilgotność drewna wynosząca ok. 8%) oraz w stanie powietrznosuchym (ok. 12%).

Biorąc pod uwagę, że dotychczas w nauce o drewnie nie zaproponowano, o ile dobrze wiadomo, wystarczająco dokładnych modeli matematycznych, pozwalających na wyznaczenie wytrzymałości na zginanie drewna na podstawie innych parametrów mechanicznych, celowość wykonania recenzowanej pracy jest uzasadniona. Ma to istotne znaczenie użytkowe dla projektantów, architektów tak bardzo aktualnie popularnych konstrukcji drewnianych, o coraz większych rozmiarach. Dysponując tylko niektórymi parametrami mechanicznymi materiałów konstrukcyjnych można na podstawie modeli matematycznych przewidywać inne, niezbędne w projektach parametry. W przypadku drewna jest to jednak zadanie niezwykle trudne (żeby nie określić karkołomne), biorąc pod uwagę mnogość czynników, które determinują kształtowanie się wartości (zwykle w szerokim zakresie) pojedynczego parametru mechanicznego. Niemniej nie oznacza to, że nie należy takich prób podejmować. Pod tym względem należy uznać, że Autor pracy postawił sobie zadanie niezwykle ambitne. Wymagało ono przeprowadzenia zarówno wymagających odpowiedniej wiedzy matematycznej analiz teoretycznych, jak i niełatwych, licznych badań eksperymentalnych. Należy uznać, że w pracy osiągnięto założony cel.

4. Ocena szczegółowa

W pierwszym rozdziale pracy (*Wstęp*) zawarto w syntetyczny sposób informacje ogólne o drewnie jako materiale konstrukcyjnym. Rozdział ten wprowadza czytelnika w złożoność problematyki wytrzymałościowej drewna, wskazując na praktyczne aspekty modeli matematycznych dla zginania drewna. W tym miejscu pracy wskazano na istniejącą lukę w tym obszarze nauki i jednocześnie brak ewolucji w tym zakresie na przestrzeni ostatnich 36 lat.

Stan zagadnienia opisano dość dokładnie w rozdziale drugim (*Stan zagadnienia*), który podzielono na 4 podrozdziały. W pierwszym przedstawiono ciekawy rys historyczny powstawania liniowej teorii zginania – od zginania belek przez Leonarda da Vinci począwszy. W drugim podrozdziale opisano rozwój nieliniowej teorii sprężystości (w tym modele trapezowy TR i półparaboliczny S), a w trzecim – uzupełniające modele podstawowe (P – model ciała całkowicie plastycznego podczas ściskania, PP – model całkowicie plastyczny zarówno na ściskanie, jak i rozciąganie, K – model Koconia). W tym miejscu pracy Autor wskazuje na niedoskonałości tych modeli i nawiązuje do modeli autorskich, które szczegółowo opisano w dalszej części rozprawy. W podrozdziale czwartym dokonano konfrontacji modelu TR z danymi źródłowymi – podręcznikowymi (dla 25 rodzimych gatunków drewna) i z różnych

prac dyplomowych (dla 28 gatunków drewna). Na tej podstawie stwierdzono, że model TR pomimo, że jak dotąd jest – zdaniem Autora – „najrozsądniejszy”, to przewidywane na jego podstawie wartości wytrzymałości na zginanie są zasadniczo zaniżone w stosunku do wartości uzyskanych eksperymentalnie.

Cel pracy sformułowano w rozdziale 3. W tym miejscu syntetycznie opisano również podjęte działania zmierzające do osiągnięcia tego celu, a zatem „konfrontacji i uzgodnienia wyników doświadczalnych z przewidywaniami teoretycznymi wytrzymałości drewna na zginanie”. Sformułowano „roboczą” (dlaczego roboczą?) hipotezę, która zakładała istnienie formuły matematycznej wytrzymałości na zginanie, zależnej od wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie podłużne drewna. Dopuszczono również możliwość zależności tej formuły od innego parametru – modułu sprężystości liniowej. Wątpliwe jest rozróżnienie przez Autora „modułu sprężystości na ściskanie i „modułu sprężystości na rozciąganie”. W mechanice bowiem nie występują takie pojęcia. Autor podaje, że „mierzone były moduły sprężystości”. Faktycznie w ocenianej pracy chodzi jednak tylko o jeden moduł (moduł sprężystości liniowej), ale wyznaczany przy różnych sposobach mechanicznego obciążania drewna. Należy stwierdzić, że tytuł pracy koresponduje z jej celem i zakresem, choć nie najlepiej. Po tytule, owszem, spodziewać się można różnych analiz modeli matematycznych, ich konfrontacji z wynikami, np. literaturowymi. Tymczasem podkreślenia wymaga, że w pracy zaproponowano w większości autorskie modele matematyczne i poddano je weryfikacji w oparciu o wyniki, przeprowadzonych w ramach tej samej pracy, szerokich badań eksperymentalnych mechanicznych właściwości drewna – do tego jeszcze, w przypadku prób rozciągania, z użyciem specjalnie zaprojektowanych próbek. Innymi słowy, zakres ocenianej rozprawy jest ambitniejszy, niż recenzent spodziewał się po jej tytule.

Czwarty z głównych rozdziałów pracy (*Materiał badawczy*) podzielono na dwa podrozdziały. W pierwszym z nich scharakteryzowano 10 wybranych do badań gatunków drewna, w tym również poprawnie uzasadniono ten wybór. Ponadto, podano informacje o sposobie przygotowania materiału do badań. Częściowo informacje te powtórzono w drugim podrozdziale zatytułowanym *Zasady selekcji i grupowania próbek drewna*. Należy zaznaczyć, że nie udało się pozyskać w analogiczny sposób próbek ze wszystkich 10 gatunków drewna (różna liczebność próbek, próbki świerkowe, które wycinano z „nieco spękanych wałków”... jakie były wymiary tych wałków? czy poszczególne serie próbek do ściskania, rozciągania i zginania, dla obu stanów wilgotnościowych, obejmowały chociaż ten sam zakres wartości parametrów makrostrukturalnych drewna? czy pochodziły z tej samej strefy pnia? – tkanka młodociana, dojrzała itd.) – szkoda, bo uzyskane wyniki eksperymentalne, które posłużyły do weryfikacji modeli matematycznych, nie powinny budzić żadnych wątpliwości.

W piątym rozdziale pracy skrupulatnie (może nawet zbyt bardzo) opisano metody badań. Rozdział ten podzielono na 5 podrozdziałów. W pierwszym z nich scharakteryzowano sposób doprowadzania drewna do założonej wilgotności – klimatyzowanie w pracowni oraz nad różnymi roztworami soli, co należy uznać za poprawne. W drugim podrozdziale opisano sposoby pomiaru wilgotności (metoda grawimetryczna) i gęstości (metoda stereometryczna) drewna, powołując się na odpowiednie normy. W relatywnie najobszerniejszym podrozdziale 3 scharakteryzowano dobór metod pomiaru wybranych parametrów mechanicznych drewna, dokonując wnikliwego przeglądu stosownych norm i doniesień literaturowych. Precyzyjnie

opisano wybrane metody zastosowane w badaniach do ocenianej pracy. Na uznanie zasługuje autorski projekt próbki do rozciągania podłużnego drewna, a także skrupulatne dywagacje nad doborem układu zginania. Treści te nie budzą wątpliwości. W kolejnym podrozdziale krótko, lecz wystarczająco, opisano sposób statystycznej analizy (w pracy użyto słowa „obróbki”!) wyników pomiarów parametrów wytrzymałościowych drewna. W podrozdziale 5 scharakteryzowano natomiast założenia metod obliczania formuł wytrzymałości w modelach nieliniowych. Szczegółowo opisano 6 podstawowych warunków jakie powinna spełniać nieliniowa funkcja naprężenia, określana za pomocą wykresu lub wzoru, w momencie maksymalnego ugięcia. Warunki te należy uznać za poprawnie sformułowane.

Szczegółowych analiz teoretycznych poszczególnych modeli, w tym siedmiu autorskich, dokonano w rozdziale szóstym, którego treść podzielono na 8 podrozdziałów. W kolejnych podrozdziałach opisano model liniowy zwykły L i nierównowagowy LN, formuły wytrzymałości dla modeli K, PP, TR i S, modele zginania uplastycznionego P i D, uogólniony model potęgowy UP i nieliniowe prawo Hooke’a NH, dwumodułowy model trapezowy TRK, aproksymację infinitesimalną modeli dwutrapezowych TT i TTK, a także model trapezowy nierównowagowy TRN. W ostatnim podrozdziale dokonano podsumowania opisanych wcześniej w sumie czternastu modeli, w tym 12 modeli nieliniowych, z których 2 okazały się równoważne. Ostatecznie zatem w pracy analizie poddano 11 modeli nieliniowych, w tym aż 7 autorskich, co zasługuje na podkreślenie.

Siódmy rozdział pracy (*Wyniki badań i ich analiza*) podzielono na 5 podrozdziałów. W pierwszym z nich zaprezentowano w ujęciu statystycznym wyniki pomiarów wytrzymałościowych drewna. Wyniki te zestawiono w dziesięciu dobrze zaprojektowanych tabelach, kolejno dla dziesięciu uwzględnionych w badaniach gatunków drewna. Zgodnie z wcześniejszymi obawami (wyrażonymi powyżej) uzyskane wyniki budzą pewne wątpliwości. Przykładowo, dla drewna sosny zwyczajnej, podane parametry mechaniczne (tab. 2) dla drewna o wilgotności ok. 8% są znacznie wyższe, niż dla drewna o wilgotności 12%. W tym przedziale wilgotności drewna, jak wynika z licznych doniesień literaturowych, wpływ wody związanej z substancją drzewną na parametry mechaniczne drewna jest relatywnie niewielki. Tymczasem wytrzymałość na ściskanie i zginanie (średnio dla siły w kierunku stycznym i promieniowym) badanego drewna sosny o wilgotności 12% jest mniejsza o ok. 36%, niż dla drewna o wilgotności 8% (tym sposobem w punkcie nasycenia włókien należałoby oczekiwać wartości dużo niższych od zera...), a na rozciąganie o 23%. Jeszcze gorzej jest z modułem sprężystości (o 40% w próbie ściskania). Przywołany w analizie tych wyników wzór Bauschingera można stosować jedynie w zakresie prostoliniowej zależności pomiędzy wilgotnością a poszczególnymi parametrami mechanicznymi drewna. Wątpię wielce, że taka zależność występuje w przedziale wilgotności drewna od 8 do 12% – szczególnie przy rozciąganiu i zginaniu, kiedy zwykle obserwowane jest tzw. wzmocnienie adsorpcyjne. W przypadku drewna merbau (tab. 9) sytuacja jest odwrotna – drewno o wyższej wilgotności ma praktycznie wszystkie parametry mechaniczne zdecydowanie wyższe od drewna o niższej wilgotności. Na domiar tego, drewno merbau o niższych parametrach wytrzymałościowych miało zdecydowanie wyższą gęstość. Bez komentarza w podrozdziale 1 pozostawiono zebrane w tabelach wartości błędu standardowego oraz odchylenia standardowego (ale skorzystano z nich dalej, np. w rozdziale 7.3.). Autor sam przyznaje w tym miejscu pracy, że nie do końca

poprawnie dobrano materiał doświadczalny, co nie pozwala na porównywanie między sobą wyników parametrów wytrzymałościowych drewna w zależności od jego wilgotności. Pomimo tego w kolejnym podrozdziale poddano wszystkie te wyniki (wartości średnie poszczególnych parametrów), nazwane najważniejszymi dla ocenianej dysertacji, zestawieniu na wspólnych wykresach (rys. 45 i 46 – może szczęśliwie nieczytelnych, bo barwy słupków są trudno rozróżnialne). Autor na szczęście zaznacza jednak, że dla weryfikacji modeli matematycznych nie tyle ważne są wartości liczbowe parametrów mechanicznych, co ich wzajemne relacje (ściskanie/rozciąganie/zginanie), a te nie budzą już zastrzeżeń, bowiem trzeba przyznać, że są zgodne z dotychczasowym stanem wiedzy (średnio odpowiednio 1/2,25/1,81). Trzeba się też zgodzić ze zdaniem Autora (ostatnie zdanie w rozdziale 7.2.), że w dysertacji nie jest modelowana sama tzw. znakoczułość, a jedynie jest ona wykorzystywana w modelowaniu procesu zginania. W kolejnym podrozdziale (7.3.) wyniki poddano analizie w formie korelacji liniowej. W rozdziale tym dowodnie wykazano, że istnieje potrzeba poszukiwania lepszego modelu (i/lub innych założeń metodycznych) niż najlepszy spośród literaturowych, a zatem TR. Wykazano bowiem (rys. 49), że przeciętna zmierzona wytrzymałość na zginanie drewna jest większa, niż przewidywana na podstawie modelu TR. Wskazano zatem na potrzebę wyjaśnienia tej różnicy. W podrozdziale 7.4. skonfrontowano uzyskane wyniki eksperymentalne z jedenastoma nieliniowymi modelami zginania, ale bez wykorzystania wyników modułu sprężystości liniowej, a w podrozdziale 7.5. – z wykorzystaniem tych wyników. W obu tych podrozdziałach zamieszczono tabele rankingowe dopasowania wyników otrzymanych na podstawie weryfikowanych modeli względem wyników pomiarów eksperymentalnych. Rankingi te sporządzono na podstawie wartości średniego odchylenia kwadratowego. We wzorze 132 (str. 80) w mianowniku podano niepoprawną wartość – czy zatem dane w tabeli 14 (odch. stand.) są poprawne?

W ósmym rozdziale rozprawy podsumowano konfrontowane wcześniej nieliniowe modele wytrzymałościowe z wynikami badań eksperymentalnych. Pomimo, że w tytule tego rozdziału mowa jest o modelach nieliniowych, to w rzeczywistości w podsumowaniu uwzględniono również modele liniowe (tab. 16). Tabelarycznie zestawiono w tym miejscu pracy najważniejsze cechy analizowanych modeli. Każdy model zilustrowano graficznie oraz każdorazowo podano odpowiadającą formułę wytrzymałości na zginanie. W tym miejscu pracy (ostatni akapit na str. 86) podsumowano (niestety nieco niepoprawnym językiem), że modele trapezowe najlepiej odzwierciedlają wyniki wytrzymałościowe uzyskane w ramach ocenianej pracy. Niestety, formuły wytrzymałościowe tych modeli są dość złożone – szczególnie modelu, który w obu powyżej wspomnianych rankingach zajął pierwsze miejsce (TTK). Ostatecznie w tym miejscu pracy Autor sporządził „podium” (ale dlaczego cztery miejsca?) nieliniowych modeli wytrzymałościowych dla zginania drewna (od najlepszego): TTK, TRN i TT, TRK, TR.

W rozdziale 9 sformułowano 10 wniosków, które w połowie bezpośrednio korespondują z celem pracy. Za najważniejsze stwierdzenia należy uznać, że nieliniowe modele matematyczne pozwalają przewidywać wytrzymałość na zginanie drewna z dokładnością porównywalną do odchylenia standardowego wyników eksperymentalnych (wniosek 1). Czy używając słowa „starannie” we wnioskach 1 i 2 Autor ma na myśli ogólne zalecenie, czy swoje pomiary parametrów wytrzymałości drewna, zaprezentowane w pracy? Wnioski 4-8 nie dotyczą bezpośrednio celu pracy, ale są spostrzeżeniami istotnymi m.in. dla modelowania

wytrzymałości drewna (wątliwość budzi wniosek 8 – na podstawie których wyników zaprezentowanych w pracy został sformułowany? „Mierzone wartości wytrzymałości na zginanie czteropunktowe są prawdopodobnie zawyżone o około 5%...” – zawyżone w porównaniu do jakich wyników?).

Wykaz cytowanej literatury (str. 90-94) i norm (str. 94-95) przygotowano starannie, co umożliwi łatwe dotarcie do materiałów źródłowych. Największą gafą w tym miejscu pracy (o ile nie w całej rozprawie...) jest błędny inicjał imienia w przywołanej pracy recenzenta (str. 93). Nieco ponad połowa (53%) cytowanych źródeł literaturowych pochodzi z ubiegłego wieku, co jednak tłumaczy wykazany w pracy brak ewolucji w rozpatrywanym zakresie tematyki na przestrzeni ostatnich 36 lat.

Inne uwagi edytorskie i językowe :

- rys. 6 na str. 18 – czy przedstawiona na tym rysunku okładka podręcznika jest potrzebna w pracy doktorskiej? co wnosi ten nieczytelny wykres? niestety kilka innych wykresów jest również mało czytelnych (głównie rys. 8 i 10),
- liczne rysunki zamieszczono nad tekstem, w którym dopiero są do nich odwołania (rys. 5, 6, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 22, 35, 37), tak samo tabela 14 – czym to było podyktowane? brak odwołania w tekście pracy do rys. 20 i 23,
- rozdział 5.2.: „W pomiarach użyta była dokładna waga laboratoryjna o dokładności odczytu masy do 1 mg.” — takich „kwiatków” w pracy jest niestety więcej; nie wpływają one oczywiście na wartość merytoryczną rozprawy, ale jednak z takiego typu opracowania powinny być wyeliminowane; należy też wspomnieć, że w niektórych (nielicznych) fragmentach pracę napisano językiem nieco potocznym,
- na str. 81 (ostatni akapit) odwołano się do rys. 41 (str. 61), który dotyczy innego modelu, niż opisywany w tym miejscu pracy,
- dłączego skróty tab. i ryc. zapisano w pracy (co prawda konsekwentnie) z wielkich liter (nawet w środku zdania)?

5. Konkluzja

Autor rozprawy wyznaczył sobie ambitny cel – wymagający szerokiej wiedzy matematycznej, a jednocześnie dogłębnej wiedzy i umiejętności z zakresu nauki o drewnie, w tym wytrzymałości drewna – polegający na opracowaniu modeli matematycznych, które z wystarczającą dla praktyki dokładnością, pozwolą przewidywać wytrzymałość drewna na zginanie. Należy uznać, że cel ten został z pomyślnością osiągnięty.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Grzegorza Koczana pt. „Badanie nieliniowych modeli wytrzymałościowych dla zginania drewna” spełnia wymagania zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony tej pracy.



prof. UPP dr hab. inż. Edward Roszyk