Dr hab. inż. Cezary Gozdecki, prof. UKW
Instytut Inżynierii Materiałowej
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
w Bydgoszczy

Bydgoszcz, 19 czerwca 2022r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Łukasza Krzyżaniaka

Tytuł rozprawy: Wpływ wewnętrznych sił montażowych i zjawisk kontaktowych na wytrzymałość zewnętrznie niewidocznych połączeń meblowych

Promotorzy pracy: prof. dr hab. inż. Jerzy Smardzewski i prof. dr Ali Kasal

Zrealizowana w Katedrze Meblarstwa, Wydziału Leśnego i Technologii Drewna, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

Podstawy prawne: zgodny ze stanem prawnym, określonym w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2020r. z późn. zm.).

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Pana prof. dra hab. Wiesława Olka, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Leśne, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu z dnia 20 kwietnia 2022 roku (WTD-WLTD/4000-2/2022).

Informacje o doktorancie

Pan mgr inż. Łukasz Krzyżaniak Urodził się 30 grudnia 1991 r. w Gubinie. W 2011 roku rozpoczął studia na Wydziale Technologii Drewna, specjalność meblarstwo i w tym zakresie zrealizował pracę inżynierską oraz magisterską. Był stypendystą stypendiów rektorskich, naukowych oraz innych przeznaczonych dla najlepszych studentów. Pracę inżynierską pt. „Projekt mebli szkieletowych do biur z wykorzystaniem materiałów pasywnych akustycznie" obronił w roku 2015. Pracę magisterską pt. „Modelowanie połączenia do mebli skrzyniowych" obronił w roku 2016. Studia drugiego stopnia ukończył z wyróżnieniem w postaci złotego medalu oraz wyróżnienia dla najlepszego absolwenta. Współpracę z przemysłem rozpoczął jeszcze w trakcie studiów, angażując się różnego rodzaju prace badawczo-rozwojowe dotyczące rozwiązywania problemów konstrukcyjnych jak i technologicznych. W roku 2016 zaraz po ukończeniu studiów magisterskich podjął pracę na stanowisku konstruktora-technologa w fabryce mebli biurowych „MARO Sp. z o.o." w Komornikach pod Poznaniem. Studia doktoranckie rozpoczął w roku 2017 równolegle z rozpoczęciem stałej współpracy z fabryką mebli „VOX Sp. z o.o." na stanowisku inżyniera

działu rozwoju. Ze spółką „VOX Sp. z o.o." związany jest do dzisiaj jako konsultant z zakresu technologii łączenia oraz innowacji konstrukcyjnych. W roku 2020 objął stanowisko inżyniera R&D w centrum designu „Lab150" w Poznaniu. Na wspomnianym stanowisku do dziś zajmuje się opracowywaniem innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych dla podmiotów zewnętrznych, nie tylko z zakresu wyposażenia wnętrz, ale także małej architektury. Pan mgr inż. Łukasz Krzyżaniak Jest współautorem pięciu artykułów naukowych dwóch patentów i jednego zgłoszenia patentowego oraz dziesięciu Europejskich wzorów użytkowych. Był uczestnikiem konferencji naukowych. Był wykonawcą jednego projektu badawczego finansowanego przez NCBiR a także wykonawcą czterech projektów badawczych finansowanych ze źródeł zewnętrznych.

Ocena formalna pracy

Przedstawiona mi do oceny Dysertacja jest pracą o charakterze eksperymentalno-analitycznym a jej podstawę stanowi zbiór artykułów naukowych. Pracę można podzielić na cztery części, pierwsza, którą można scharakteryzować jako informacyjną, następnie część stanowiąca przedmiot badań z typowymi dla niej elementami, następnie kopie 5 artykułów naukowych, zaprezentowanych w taki sam sposób jak w czasopismach, w których zostały opublikowane z zachowaniem oryginalnej numeracji oraz w części ostatniej pisemne oświadczenia współautorów. Całość zawarta jest na 62 stronach nie licząc kopii artykułów. Praca podzielona jest na 9 numerowanych rozdziałów i 9 podrozdziałów, w których część informacji przedstawiana jest w 2 tabelach i na 35 rysunkach. Wykaz literaturowy obejmuje 57 aktualnych i odpowiednio dobranych pozycji, w tym normy. Przedstawiona Praca Doktorska chociaż napisana w dosyć niekonwencjonalnym układzie spełnia formalne wymagania stawiane dysertacjom na stopień doktora.

Ocena merytoryczna pracy

Tytuł przedstawionej Dysertacji, „Wpływ wewnętrznych sił montażowych i zjawisk kontaktowych na wytrzymałość zewnętrznie niewidocznych połączeń meblowych", jest poprawny i tak zapisany odpowiada celowi i zawartym w Pracy treściom.

Wprowadzenie, stanowiące również przegląd literatury światowej, jest bardzo syntetycznym przedstawieniem zagadnień będących podstawą motywującą Doktoranta do napisania pracy, mieści się ono na niecałych dwóch stronach. W mojej opinii temu rozdziałowi powinno się poświęcić nieco więcej uwagi. Przedstawiając wybrane zagadnienia z podejmowanego w Pracy obszaru Doktorant pominął, w mojej opinii, istotny aspekt materiałowy, związany z wpływem anizotropii właściwości materiałów tworzyw drzewnych na sztywność i wytrzymałość połączeń kątowych. Pomimo, że informacje z tego zakresu są w pewnym zakresie poruszane w publikacjach stanowiących podstawę Dysertacji, to przynajmniej przedstawiając aktualny stan wiedzy we wprowadzeniu, te zagadnienia powinny być skomentowane. Wydaje się to tym bardziej zasadne, gdy weźmie się pod uwagę, że bardzo duży wkład w wiedzę z tego zakresu włożyli polscy naukowcy, między innymi, pracownicy Katedry, w której Dysertacja powstała. Doktorant w rozdziale tym uzasadniając konieczność prowadzenia podjętych w Dysertacji badań, zwraca uwagę na kilka istotnych problemów dotyczących sztywności i wytrzymałości mebli skrzyniowych w kontekście rozwiązań stosowanych w obrębie węzłów konstrukcyjnych czyli połączeń. Zaczynając od przedstawienia istotnych aspektów dotyczących procesu montażu i jego

wpływu na cechy mechaniczne mebla, podkreśla dużą ilość czynników zmiennych, które wpływają na ostateczną zdolność konstrukcji do przenoszenia obciążeń użytkowych. Zwraca uwagę na różnorodność stosowanych złączy i fakt, że nadal zasadne jest poszukiwanie nowych lepszych rozwiązań w tym obszarze. Następnie wskazuje na najczęściej spotykane metody analizowania sztywności i wytrzymałości połączeń meblowych podkreślając, że pomimo wielu doniesień znajdujących się w literaturze światowej istnieje jeszcze wiele niewyjaśnionych w tym zakresie kwestii. Jedną z istotniejszych jest bez wątpienia wpływ sił montażowych na te właściwości. Proponuje więc w konsekwencji prowadzonych przemyśleń aby, jako swego rodzaju kryterium oceny jakości połączenia, uznać wartość sił montażowych występujących pomiędzy łączonymi elementami. Podkreśla też, że w niewystarczający sposób opisane są zjawiska mechaniki zniszczenia tego ważnego węzła konstrukcyjnego oraz zauważa, że w każdym z analizowanych osiągnięć naukowych stosowano podczas badań wyłącznie statyczny sposób obciążania. Uwzględniając jednak fakt, że podczas transportu i późniejszego użytkowania, konstrukcja meblowa poddawana jest obciążeniom nie tylko statycznym ale i dynamicznym, istnieje realna konieczność uzupełnienia wiedzy w zakresie wpływu obciążeń dynamicznych na pracę tak wytężanych połączeń.

Trudno się jednak zgodzić ze stwierdzeniem Autora: *„W wymienionych powyżej pracach badawczych brakuje badań wyjaśniających powstawanie sił montażowych ....”*, zważywszy, że jak sam wcześniej napisał: *„Cechą charakterystyczną tych łączników jest konieczność doprowadzenia energii zewnętrznej niezbędnej do wygenerowania sił montażowych...”* wskazując, że pojawiają się w wyniku skręcania np. śrub mimośrodowych.

Autor Pracy w wyniku dokonanego przeglądu literatury ujawnił obszary zagadnień, które, moim zdaniem, słusznie uznał za niewystarczająco zbadane i opisane a w konsekwencji mogące stanowić podstawę podjęcia rozważań prowadzonych w ramach Dysertacji. Wymienia tu, między innymi, konieczność podjęcia badań wyjaśniających powstawanie sił montażowych i zniszczeń w złączach połączeń meblowych, analiz prowadzących do oceny wpływu sił montażowych powstających w połączeniach na ich wytrzymałość. Kolejno wpływu obciążeń statycznych i dynamicznych na ilość energii pochłanianej podczas testowania połączeń. Dokonany przegląd literaturowy oraz ujawnione niedostatki wiedzy w przedmiotowym zakresie, skłoniły Autora Dysertacji do postawienia czterech logicznych i zasadnych hipotez badawczych.

Biorąc pod uwagę informacje znajdujące się we wstępach artykułów stanowiących podstawę Dysertacji, oraz treść rozdziału zredagowanego w zwartej części Pracy, stwierdzam, że pomimo kilku uwag, Doktorant przeprowadził wartościową analizę doniesień literaturowych wskazując na celowość podjęcia prezentowanych w Dysertacji zagadnień. Moim zdaniem, ten fragment pracy jest odpowiednio napisanym przeglądem doniesień naukowych, świadczącym o umiejętności dokonywania przez Doktoranta selekcji rzeczy istotnych z bogatej literatury.

Hipoteza badawcza

Postawione hipotezy badawcze dobrze wpisują się w ideę pracy. Jednak dwie z nich wymagają pewnego komentarza. Moim zdaniem zapis w hipotezie nr 1: *„Wytrzymałość oraz sztywność połączeń meblowych jest wprost proporcjonalna do wartości sił montażowych powstających podczas łączenia”*, chociaż wydaje się poprawny to istnieje pewna wątpliwość co do tego, co Autor miał na myśli pisząc *„ ... wprost proporcjonalna...”*. Czy chodzi o zależność, którą można określić zgodnie z definicją: „jakaś wielkości pozostająca w takim

stosunku do innej wielkości, że gdy tę drugą zwiększymy lub zmniejszymy pewną liczbę razy, wówczas pierwsza odpowiednio zwiększy się lub zmniejszy taką samą liczbę razy"?. W przypadku hipotezy nr 2 zapisano: *„Wewnętrzne siły montażowe są najważniejszym kryterium determinującym wytrzymałość oraz sztywność połączeń meblowych"*. Uważam, że tak kategoryczne stwierdzenie *„...są najważniejszym kryterium..."* jest dość ryzykowne. W mojej opinii, korzystniejszym rozwiązaniem byłby zapis np. „jednym z najważniejszych" albo „istotnym" lub „ważnym".

Cel rozprawy

Cele pracy, zarówno naukowy jak i utylitarny są poprawne i odpowiadają zaprezentowanym zadaniom badawczym.

Ogólna metodyka badań

Ogólna metodyka badań stanowi syntetyczne przedstawienie metod badawczych oraz rodzaju stosowanych analiz zmierzających do wypełnienia zakładanych celów oraz weryfikacji postawionych hipotez. Podrozdział ten jest dobrze napisanym elementem Pracy, korespondującym ze szczegółowymi metodykami zawartymi w odpowiednich publikacjach stanowiących cykl będący podstawą Dysertacji. Zaproponowany narastający zakres wiedzy rozłożony na poszczególne prace badawcze (publikacje), jest uzasadniony i logiczny a sposób pogrupowania zagadnień, w ramach poszczególnych etapów, dobrze odzwierciedla ideę prowadzonych eksperymentów oraz dyskusji otrzymanych rezultatów. Pewną uwagę można mieć do etapu prac nazwanego w Dysertacji „krok drugi", zakładający ochronę patentową opracowanych rozwiązań. Działania patentowe bez wątpienia mogą stanowić element prac B+R w projektach badawczych, natomiast w ramach realizacji pracy naukowej jaką jest Praca Doktorska może stanowić ewentualnie swego rodzaju finalizację efektów zasadniczych prac badawczych. Pewnym rozwiązaniem byłoby przeniesienie opisu tych działań na koniec pracy i wskazanie na utylitarny charakter uzyskanych rezultatów prowadzonych badań i analiz.

Omówienie głównych wyników prac wchodzących w skład cyklu

Ta część pracy zawarta jest na 29 kartach i stanowi opis badań i analiz znajdujących się w artykułach naukowych, stanowiących cykl publikacji będących podstawą przedstawionej mi do oceny Dysertacji. Autor zdecydował się na przedstawienie każdego z artykułów osobno, komentując najistotniejsze elementy podejmowanych prac. W pierwszej kolejności Doktorant opisał prototypy innowacyjnych złączy meblowych oraz ocenił ich jakość w porównaniu z popularnymi w przemyśle meblowym złączami mimośrodowymi. Efektem tych prac miała być weryfikacja hipotezy wskazującej na istotną rolę sił montażowych w kształtowaniu sztywności i wytrzymałości połączeń meblowych. Poprawnie przeprowadzone badania i analizy obserwowanych zjawisk pozwoliły Doktorantowi na ustalenie kilku istotnych faktów. Jednym z istotniejszych osiągnięć jest zweryfikowanie wpływu sił montażowych na właściwości połączeń. Porównując trzy rodzaje łączników, dwa, w których podczas montażu powstają siły montażowe i jeden, w którym siły te nie występują, ustalił istotną przewagę tych rozwiązań, gdzie siły montażowe występują. Można mieć tu jednak pewne uwagi. Autor jako złącze referencyjne przyjął łącznik mimośrodowy. Nie neguję słuszności takiej decyzji, jednak w kontekście liczności różnych rozwiązań, również nowych, np. autorstwa pracowników Katedry Meblarstwa, które stanowić mogłyby dobry „punkt odniesienia", wybór konkretnego

łącznika powinien być szerzej skomentowany. Pewien problem sprawia też zestawienie rodzajów łączników do oceny wpływu sił montażowych na sztywność i wytrzymałość połączeń. Wydaje się, że w przedmiotowych badaniach, co prawda występują różne przypadki, w których jest widoczny wpływ sił montażowych ale czy tylko ich? Przecież istotną rolę będzie tu odgrywać chociażby sama konstrukcja łącznika. Możliwe też, że konstrukcja złącza skrętno-sprężystego (nie występują siły montażowe) nie jest poprawna, a przynajmniej nie spełnia założeń, zgodnie z którymi elementy łączone powinny być stabilnie pozycjonowane względem siebie, w taki sposób aby w zakresie bezpiecznych obciążeń użytkowych zapewnić odpowiednią sztywność i wytrzymałość połączenia. Pamiętać należy, że podczas badań eksperymentalnych siły obciążające oddziaływują na całą konstrukcję połącznia i każdy z jej elementów składowych w pewnym zakresie będzie wpływał na ostateczną wartość sztywności i wytrzymałości. Zdaniem recenzenta dobrym sposobem byłoby testowanie jednego rozwiązania konstrukcyjnego złącza ale w taki sposób, aby zapewnić podczas montażu różne poziomy sił montażowych. Wówczas określić można by też realne poziomy wpływu sił montażowych na sztywność i wytrzymałość połączeń. Następnie, w drodze porównania, należałoby przetestować wpływ różnych rozwiązań konstrukcyjnych łączników na analizowane właściwości. Obecnie można odnieść wrażenie, że porównuje się zupełnie niezależne przypadki, dodatkowo, bez uwzględnienia innych czynników zmiennych, mogących wpływać na osiągane rezultaty. Przypomina to trochę ocenę wpływu barwy samochodu na jego prędkość maksymalną, przy czym porównujemy Fiata 126p z bolidem F1. Dość niefortunny jest też zapis znajdujący się na stronie 21 Dysertacji: *„...naprężenia wywołane siłami montażowymi w połączeniach ze złączami (S) i (E) zależą od strony, na której naklejono tensometr...”*. Naprężenia nie zależą od strony, na której naklejono tensometr, tensometr jest tylko elementem umożliwiającym zmierzenie odkształceń (tu) materiału stanowiącego ramię połącznia i na tej podstawie można obliczyć naprężenia.

Pomimo tych uwag bez wątpienia Autor Dysertacji uzyskał komplet oryginalnych i interesujących wyników, które same w sobie stanowią uzupełnienie istniejącej wiedzy ale też stanowią fundamenty do dalszych rozważań.

W dalszej części podjętych analiz Doktorant przedstawił modyfikację wcześniej testowanego złącza skrętno-sprężnego nazwanego teraz złączem skrętnym lub TwinCom w celu ustalenia tej modyfikacji na sztywność i wytrzymałość połączeń wykonanych z jego udziałem. Dodatkową motywacją do podjęcia badań było zweryfikowanie hipotezy mówiącej, że wytrzymałość oraz sztywność wspomnianych połączeń meblowych nie jest bezpośrednio uzależniona od materiału, z którego wykonane jest złącze i może zależeć od innych czynników, takich jak zdolność do generowania sił montażowych w połączeniach. W moim przekonaniu Autor Dysertacji zaproponował bardzo ciekawe rozwiązanie w ramach złącza, które w obecnym kształcie, bez wątpienia, stanowi gotowe rozwiązanie do zastosowania w praktyce przemysłowej. Podkreśla też, że na dużą sztywność nowego rozwiązania istotny wpływ miał rodzaj materiału, z którego zostały wykonane łączone elementy. Jakkolwiek na podstawie przeprowadzonych zestawień wyników własnych i pozyskanych z literatury Doktorant wykazał, że połączenie z zaproponowanym przez Niego złączem posiada najwyższą sztywność oraz na tej podstawie stwierdza, że *„materiał, z którego wykonany jest łącznik jest cechą wtórną względem innych czynników determinujących wytrzymałość połączeń została zweryfikowana poprzez porównanie wyników sztywności nowego połączenia z połączeniami opartymi na łącznikach dostępnych na rynku, których konstrukcja w całości lub częściowo opiera się na metalu.”*, to jednoznaczne stwierdzenie tego faktu na tej podstawie jest dość ryzykowne. Przecież zestawienie, które

zostało wykonane dotyczy sztywności połączeń utworzonych z bardzo różnych materiałów przeznaczonych na ramiona połączeń, jaki i materiałów samego złącza. Dobrze, że Autor Dysertacji zdaje sobie z tego sprawę stwierdzając: *„Dodatkowo w przyszłych badaniach rozsądne wydało się wykonanie prototypu łącznika TwiCom z metalu oraz budowanie próbek z materiałów identycznych względem materiałów próbek referencyjnych, zarówno pod względem grubości jak i surowca."* Pozostaje jednak pytanie dlaczego Doktorant mając tego świadomość nie poszerzył swoich badań o tę kwestię. Bez wątpienia rezultaty tych pogłębionych analiz stanowiłby bardzo istotny element wiedzy, który już w sposób nie budzący żadnych wątpliwości stanowiłby potwierdzenie postawionej hipotezy.

Kolejnym bardzo ciekawym rozwiązaniem zaproponowanym w Pracy jest złącze nazwane przez Autora Dysertacji przesuwno-rozporowym. Zgodzić się należy, że spełnia ono istotne oczekiwania stawiane tego typu złączom do wykonywania połączeń rozłącznych w konstrukcjach meblowych. Jest niewidoczne, cechuje się prostotą montażu niewymagającego narzędzi oraz zapewnia poprawne złożenie elementów łączonych przez osoby niewykwalifikowane w warunkach domowych, a do tego, jak wykazano w rezultacie przeprowadzonych badań, połączenia z tym złączem charakteryzują się wysoką sztywnością i wytrzymałością. W celu wyznaczenia sił występujących w złączu podczas montażu oraz określenia wartości i rozkładu naprężeń, Doktorant zastosował analizę numeryczną MES. Aby odwzorować proces montażu połączeń, zastosował ciekawą metodykę symulacji tego procesu opierając ją na trzech etapach. Trafne w mojej opinii, jest też zaproponowanie dwóch punktów referencyjnych nazwanych w Pracy RP1 i RP2, pierwszy, jako punkt odniesienia przemieszczeń oraz drugi, jako punkt pierwszego kontaktu czopa z gniazdem. Pomysł jest o tyle ciekawy, że umożliwia śledzenie zmian naprężeń występujących w złączu, w trakcie montażu połączenia. Pewne wątpliwości można mieć podczas analizy rezultatów badań numerycznych zobrazowanych na rysunku 18b zwartej części Dysertacji i 8b artykuł A4. Zastanawiające jest, co było przyczyną narastania wartości tych naprężeń wraz z przemieszczaniem się czopa złącza w gnieździe. Przecież jak zapisano w Pracy, analiza wartości naprężeń była przeprowadzana w miejscu styku (RP2) tych dwóch elementów. W opinii recenzenta wartość „nacisku" gniazda na czop i odwrotnie, podczas przesuwania tych elementów względem siebie powinna pozostawać na porównywalnym poziomie. Czy zastosowano w tym przypadku sumowanie wartości naprężeń? Uważam, że wymaga to wyjaśnienia. Wyniki otrzymanych analiz doprowadziły też Doktoranta do ważnego stwierdzenia, jak zresztą sam pisze: *„Stąd też uwidacznia się znacząca wartość siły montażowej w zależności od rodzaju zastosowanego materiału. Uznano zatem, że materiał połączeń ma wpływ na wielkość sił montażowych"*. Jak w tym kontekście rozumieć tak jednoznaczne stwierdzenie *„...że wewnętrzne siły montażowe są najważniejszym kryterium determinującym wytrzymałość oraz sztywność rozłącznych połączeń meblowych."*. Zgodzić się należy, ze finalnie wielkość tych sił będzie miała istotny wpływ na właściwości mechaniczne połączeń, jednak te siły są elementem np. synergii różnych składowych, choćby, jak wykazano, rodzaju materiału połączenia. W mojej opinii gdyby wprowadzono szerszy komentarz wykazujący jak Doktorant interpretuje wpływ poszczególnych czynników na wielkość sił montażowych i w konsekwencji, jak poszczególne składowe wpływają na ostateczną postać sztywności i wytrzymałości połączeń, łatwiej byłoby czytelnikowi odczytać, w jaki sposób Autor Dysertacji interpretuje prezentowane rezultaty i efekty prac.

Za swego rodzaju weryfikację otrzymanych wcześniej rezultatów można uznać badania sztywności mebli, w których zastosowano do łączenia elementów konstrukcji złącze

przesuwno-rozporowe. Analizy w tym zakresie przeprowadzono na drodze eksperymentu i symulacji metodą MES. Autor Pracy osiągnął ciekawe rezultaty, jednak w mojej ocenie dokonuje czasami ich nadinterpretacji. Pisze np., że: *„Siły montażowe mają natomiast znaczący wpływ na sztywność mebli skrzyniowych poddanych skręcaniu."* Na jakiej podstawie te wnioski zostały wyciągnięte? Przecież przeprowadzone badania (chyba, że istnieją wyniki, których nie ujawniono) dotyczyły tylko jednego przypadku złącza zastosowanego w łączeniu takiego samego materiału płytowego i przy uwzględnieniu takich samych wartości sił montażowych. Nie występuje więc czynnik zmienny w postaci różnych sił montażowych, który pozwoliłby na ocenę tego wpływu.

Kolejno, stosując metodę elementów skończonych Autor Dysertacji prowadził analizy dotyczące wpływu rodzaju zastosowanego złącza na stopień deformacji korpusów mebli skrzyniowych. Jako punkt wyjściowy, dla celów prowadzenia stosownych symulacji komputerowych, Doktorant przyjął wyznaczenie zastępczych modułów sprężystości połączeń, które reprezentowałyby właściwości rzeczywistych węzłów konstrukcyjnych zweryfikowanych w badaniach eksperymentalnych. Co prawda podejście polegające na wyznaczeniu zastępczego modułu sprężystości połączenia dla celów prowadzenia analiz numerycznych nie jest czymś nowym i jest znane w literaturze, to w odniesieniu do prowadzonych w Dysertacji badań, jest zasadne. Stanowi też przykład swego rodzaju umiejętności Doktoranta polegającej na podejmowaniu świadomych decyzji, w tym przypadku polegających na umiejętności weryfikacji stopnia uszczegółowienia modelu numerycznego, w kontekście możliwości przeprowadzenia poprawnych analiz. Bardzo ciekawe z poznawczego punktu widzenia są rezultaty analiz zmienności zastępczego modułu sprężystości w funkcji ugięcia połączenia. Autor Rozprawy wykazał, że dla testowanych przypadków, najwyższe wartości tej właściwości mechanicznej uzyskuje się w przypadku, gdy ugięcie połączenia wynosi około 1mm i to bez względu na rodzaj symulowanego złącza. Zdaniem recenzenta, naukową rangę tych analiz zdecydowanie podniosłoby, gdyby Autor podjął się próby szerszego komentarza tego zjawiska zwłaszcza, że jak ustalono najwyższe wartości modułów uzyskano nie w okolicy 0 mm (brak ugięć) a dopiero, jak w przypadku złącza mimośrodowego, podczas rozwierania połącznia, po przekroczeniu wartości 1mm. Dodatkowo, obserwując charakterystyki zmian wartości modułu w funkcji ugięcia, widać, że w przypadku zwierania połączenia powstaje pewna zmienność przebiegu mająca kształt siodełka. Być może jest to istotny element oceny pracy takiego połączenia zwłaszcza, że dla przypadku gdy zasymulowano złącze mimośrodowe tego zjawiska nie widać. Należy też zwrócić uwagę na fakt, że w opisie rezultatów badań dotyczących wpływu stosowanego złącza na sztywność mebli skrzyniowych pojawia się istotna nieścisłość. W artkule A2 można odnaleźć wniosek nr 2, w wolnym tłumaczeniu informujący, że, *„...nie wykazano istotnej różnicy między sztywnością mebli skrzyniowych z tradycyjnymi połączeniami mimośrodowymi a sztywnością mebli z połączeniami nowoprojektowanymi. Wynika to z faktu, że każde z połączeń generuje wewnętrzne siły montażowe."*. Biorąc jednak pod uwagę, że w badaniach zawartych w cytowanym artykule zastosowano złącze oznaczone jako *M*, które z kolei np. na stronie 19 Rozprawy zostało scharakteryzowane jako nie generujące sił montażowych *„...próby wstępne wykazały, że podczas montażu złączy skrętno-sprężnych (M) nie występują siły montażowe, które mogły by dociskać ramiona połączeń do siebie."*, odnieść można wrażenie, że pojawia się swego rodzaju dwugłos. Jest to o tyle istotne, że przecież rezultaty te mają potwierdzić wpływ sił montażowych na wytrzymałość i sztywność połączeń a w konsekwencji mebli.

Istotną wartość poznawczą, spośród przedstawionych w pracy zagadnień, mają rozważania dotyczące wpływu rodzaju stosowanego złącza, rodzaju materiału połączenia oraz

sił montażowych na wytrzymałość połączeń, rozumianą jako ilość energii pochłoniętej podczas odziaływania siły dynamicznej. Doktorant wykazał, między innymi, że zdolność połączeń do absorbowania energii znacząco zależy od wielkości sił montażowych oraz co ciekawe, że zastosowanie płyty wiórowej i MDF w jednakowym stopniu wpływa na wielkość siły uderzenia powodującej zniszczenie analizowanych połączeń podczas prób dynamicznych. Rezultaty te, jak sam Autor wspomina, są odmienne od powszechnie znanych wyników badań, w których stosowano obciążenia statyczne. Te wartościowe i poprawnie przeprowadzone badania i analizy pozwoliły na uzupełnienie istniejącej wiedzy w zakresie procesów niszczenia połączń rozłącznych, będąc jednocześnie istotnym argumentem przemawiającym za celowością prowadzenia dalszych badań w tym zakresie.

W mojej ocenie Doktorant podjął się rozwiązania ważkiego tematu badawczego stosując, właściwą, pomijając drobne szczegóły, metodę jego rozwiązania. Uważam, że w trakcie pracy nad Rozprawą uzyskał interesujące i oryginalne wyniki eksperymentalnych i analitycznych badań poszerzające wiedzę z obszaru dotyczącego sztywności i wytrzymałości rozłącznych połączeń meblowych. Generalnie uznać też można, że Doktorant wykazał słuszność stawianych hipotez. W mojej ocenie, hipotezy nr 3 i 4 są w pełni udowodnione a sposób prowadzonych wnioskowań, stanowiących podstawę ich weryfikacji nie budzi żadnych wątpliwości. Natomiast w przypadku hipotezy 1 i 2, co do zasady, otrzymane rezultaty badań w pewien sposób wskazują na ich słuszność, jednak co do szczegółów, które powinny jednoznacznie tę słuszność potwierdzać, można mieć pewne uwagi. Hipoteza nr 1 głosi, że: *„Wytrzymałość oraz sztywność połączeń meblowych jest wprost proporcjonalna do wartości sił montażowych powstających podczas łączenia.”*. Uważam jednak w przedstawionej mi do oceny Dysertacji jednoznaczne wykazanie „wprostproporcjonalności” sił montażowych do wytrzymałości oraz sztywności nie występuje. Zgodzić się mimo to należy, że zależność pomiędzy siłami montażowymi a wytrzymałością i sztywnością występuje co Doktorant wykazał. Kolejno, Autor w opisach znajdujących się w Dysertacji wielokrotnie stwierdza, że potwierdził hipotezę nr 2 mówiącą, że: *„Wewnętrzne siły montażowe są najważniejszym kryterium determinującym wytrzymałość oraz sztywność połączeń meblowych”*. Jak w takim przydatku skomentować ten fakt w odniesieniu do prezentowanych w Rozprawie (str. 32 artykuł A4) wyników, gdzie wykazano, że wytrzymałość połączeń silnie zależy od zastosowanego materiału drzewnego, np. wytrzymałość połączeń z płyty wiórowej jest niższa o ponad 67% od wytrzymałości połączenia wykonanego z drewna bukowego, przy czym różnica pomiędzy maksymalnymi siłami montażowymi dla tych samych połączeń różniła się jedynie o około 5%? Przecież w tym przypadku widać bardzo silny wpływ materiałów drzewnych na wytrzymałość połączenia.

Dyskusja wyników i wnioski

Rozdział ten zawiera 5 wyodrębnionych nienumerowanych akapitów stanowiących swego rodzaju podsumowania z elementami dyskusji otrzymanych wyników i wnioskowaniem. W mojej ocenie jest to dość oryginalny niezbyt czytelny sposób prezentacji wniosków. Uważam, że zupełnie zbędne jest tu prowadzenie nawet skróconej dyskusji wyników, przecież stosownym do tego miejscem jest, w przypadku tej Rozprawy, rozdział „Przedmiot badań”. Uważam, że klasyczny układ z jasno nakreślonymi, punktowanymi wnioskami i ewentualnie podpunktami plus podsumowanie stanowiłoby bardziej przejrzystą formę od zaproponowanej przez Autora Dysertacji. Pomimo iż jednoznaczne odczytanie

wniosków jest dość kłopotliwe przyjąć można, że w wystarczający sposób podsumowują one prowadzoną analizę wyników oraz korespondują z postawionymi celami pracy i hipotezami badawczymi, które poprawnie (z drobnymi uwagami zaznaczanymi wcześniej) zostały zweryfikowane w Pracy.

Inne uwagi do Pracy

Z innych uwag należy wymienić pojawiające się w Pracy niezrozumiałe stwierdzenia typu:
- *„Ulepszona wersja opisywanego rozwiązania zakładała na zamianie wypustów na raniona"*,
- *„...Sztywniejsze warstwy płyty MDF korzystniej wzmacniają połączenia meblowe"*
- „...wykazały zgodność do wyników...",
-*„Wartości sił montażowych upoważniają też do wniosku, że są one najważniejszym kryterium determinującym właściwości połączeń."* W jaki sposób wartość sił może do czegoś upoważniać tym bardziej do tak istotnego wniosku?
- *„...Badania wykorzystujące obciążenia dynamiczne wykazały zależność zauważoną podczas badań wykorzystujących obciążenia statyczne, że połączenia zwierane wykazują odpowiednio połowę sił niszczących w porównaniu z połączeniami rozwieranymi"*,
itp., a także błędy w zapisów np.:
- strona 29 jest „ε_w, ε_w" powinno być „ε_w, ε_p",
- znajdujący się na stronie 32 opis wyników prezentowanych na rysunku 20, zawiera błędne wartości procentowe (w artykule A4, ten sam opis ale wartości procentowe poprawne).

Ocena zbioru publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej

Podstawę pracy doktorskiej stanowi zbiór 4 głównych publikacji plus 1 stanowiąca uzupełnienie. W mojej opinii publikacja uzupełniająca dobrze wpisuje się w zakres tematyczny podejmowany w ramach Dysertacji i może być traktowana jako istotny element cyklu. Wszystkie publikacje z cyklu są wydane w języku angielskim. Cztery publikacje opublikowane zostały w czasopismach znajdujących się na ministerialnej liście A (JCR) o łącznym indeksie IF 12,818 i 460 punktach MNiSzW. We wszystkich publikacjach ze zbioru Doktorant jest pierwszym autorem, trzy prace są dwuautorskie, jedna, trójautorska i jedna czteroautorska. Zaprezentowane publikacje stanowią zwarty, monotematyczny zbiór informacji, opisujący spójny tematycznie zakres badań i rezultatów stanowiących odpowiedź na postawioną w pracy hipotezę badawczą oraz wyodrębnione cele.

Podsumowanie

Przedstawiona mi do oceny Dysertacja stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego wpływu czynników konstrukcyjnych i materiałowych na właściwości rozłącznych połączeń meblowych. Przeprowadzone przez Doktoranta badania zostały prawidłowo zaplanowane i konsekwentnie realizowane przy użyciu stosownych metod eksperymentalnych i analitycznych. Dodatkowo istotną wartością Dysertacji jest przedstawienie nowych rozwiązań o charakterze naukowym i utylitarnym.

Podsumowując, Rozprawa Doktorska Pana mgra inż. Łukasza Krzyżaniaka odznacza się odpowiednim poziomem naukowym, wnosi cenny wkład w dyscyplinie nauki leśne a pojawiające się w niej słabsze strony nie stanowią podstawy do poddania w wątpliwość jej

wartości merytorycznej, którą oceniam pozytywnie. Dlatego też przytaczane przez recenzenta uwagi mają najczęściej charakter systematyzujący i mogą być przedmiotem dyskusji.

Wnioski końcowe

Stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny Rozprawa spełnia wymagania stawiane Dysertacjom doktorskim, zawarte w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2020r. z późn. zm.) i stanowi podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora nauk rolniczych w dyscyplinie nauki leśne. Wnoszę więc o dopuszczenie Pana mgra inż. Łukasza Krzyżaniaka do publicznej obrony wyżej wymienionej Rozprawy.

Dr hab. inż. Cezary Gozdecki, prof. UKW