

Prof. dr hab. Włodzimierz Prądyński
Instytut Technologii Drewna
60-654 Poznań
ul. Winiarska 1

Poznań, 06.08.2019 r.

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Valerjana Romanovskiego
pt. "Stabilizacja wymiarowa podłóg drewnianych
na podkładzie mineralnym z ogrzewaniem".

wykonanej

w Katedrze Nauki o Drewnie i Ochrony Drewna na Wydziale Technologii Drewna
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie pod kierunkiem promotora
dr hab. inż. Pawła Kozakiewicza, prof. SGGW i promotor pomocniczej dr hab. inż. Agnieszki Jankowskiej

Przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska zawiera 102 strony maszynopisu formatu A4, w tym 50 rycin, 29 tabel, 79 pozycji literaturowych oraz zestaw norm DIN, ISO, PN-EN oraz cytowane strony internetowe http, a także streszczenia w języku polskim i angielskim.

Tematyka pracy jest bardzo aktualna i dotyczy istotnych problemów związanych z coraz szerszym zastosowaniem i rozwojem ogrzewania podłogowego. Autor bardzo precyzyjnie omówił w rozdziale 2 Stan zagadnienia i wymagania dotyczące podłóg drewnianych, podrozdział 2.1 np. "oprócz spełniania walorów estetycznych, podłoga musi spełniać szereg wymagań w zakresie właściwości fizycznych i mechanicznych (stabilność wymiarów i kształtu, odporność na wgniecenia, ścieralność, tłumienie drgań, izolacyjność)" - jest to cytat z pracy Kozakiewicz i inni, 2012). Szkoda, że przy tej pracy nie uzupełnił o informacje o przewodności cieplnej czy oporze cieplnym dotychczas stosowanych materiałów podłogowych.

W podrozdziale 2.2 opisał posadzki z drewna o budowie warstwowej przedstawiając różnice w budowie i zwracając uwagę na modyfikacje desek warstwowych przeznaczonych na powierzchnie z ogrzewaniem podłogowym oraz na zwiększenie stabilności wymiarowej.

W podrozdziale 2.3. Doktorant omówił szczegółowo podkłady stosowane pod posadzki z drewna, zwracając uwagę na podkłady anhydrytowe, określane jako bezskurczowe o powierzchni do 50m² i długości przekątnej do 10m bez dylatowania. Do poprawy

wytrzymałościowych podkładów mineralnych mogą być stosowane płyty drzewne spełniające normy PN-EN 13986, a klasa wytrzymałościowa drewna zgodna z WTWiORB numer B2/2014.

W podrozdziale 2.4. cytując własne opracowania, a także wspólnie z Promotorem przedstawił właściwości klejów i rodzaje spoin wpływających na zmiany wymiarowe drewna w podsadzce wywołane zmianami wilgotności. Omówił różne typy klejów stosowane w parkieciarstwie: rozpuszczalnikowe, poliuretanowe, a także poliuretanowe modyfikowane silanem.

W rozdziale 2.5. Wielkość zmian wymiarowych na posadzkach z drewna litego. Doktorant analizował wyniki dotyczące zmian wymiarowych drewna zawarte w klasycznych podręcznikach np. Kollmann (1951), jak i z 2017 roku (Niemz i Sondereferger). Zwrócił szczególną uwagę na mikroklimat pomieszczeń wpływający na wilgotność posadzek oraz na szybkość i kierunek zmian wilgotnościowych drewna. Zacytował zalecane wilgotności drewna przygotowanego na posadzki do pomieszczeń ogrzewanych zgodnie z normami PN-EN oraz zaleceniami ITB z 2014 roku. Stwierdził, że spoina w zależności od parametrów wytrzymałościowych ogranicza zmienność wymiarową w zakresie od 20% do 50%.

W podrozdziale 2.5.2. Doktorant przedstawił szeroko obecnie analizowany wpływ modyfikacji drewna na uzyskanie materiału o wyższej jakości, podwyższonej hydrofobowości i zwiększonej stabilności wymiarowej. Zaakcentował skuteczność produktu uzyskiwanego obecnie metodą termohydromechaniczną w skrócie THM (Thermo-Hydro-mechanically), choć ze względów ekonomicznych są preferowane powłoki powierzchniowe jako modyfikacja chemiczna, która zwiększa stabilność wymiarową drewna.

Stan zagadnienia oceniam pozytywnie. Autor uwzględnił podstawowe prace np. Kollmann, Perkitny (1951), Krzysik (1978) oraz współczesne Kozakiewicz, Matejak (2013), Romanovski i inni (2016), Zborowska i inni (2016), Stachowiak - Wencsek i inni (2018). Doktorant w części teoretycznej przedstawił wszystkie możliwe aspekty związane ze stabilnością wymiarową podłóg drewnianych na podkładzie mineralnym z ogrzewaniem, co w konsekwencji pozwoliło sformułować cel pracy tj. "Ocena możliwości wykorzystania podkładu mineralnego do stabilizacji kształtu deszczulek stosowanych do podłóg z ogrzewaniem oraz określenie wielkości tej stabilizacji".

Zakres badań umożliwiający realizację celu pracy, przeprowadzenie testu czterech typów posadzek na płycie kontrolnej, a także badania pełnowymiarowej posadzki testowej przez 2 lata oceniam bardzo pozytywnie.

Materiał badawczy i metodyka

Godnym podkreślenia jest fakt wytypowania do badań, oprócz gatunków i rodzajów drewna krajowego stosowanych na materiały podłogowe, także drewna modyfikowanego i gatunków ze strefy tropikalnej (Azja i Oceania, Afryka zachodnia). Tak wytypowane gatunki zapewniły różne typy budowy strukturalnej, jak też zróżnicowaną zawartość substancji ekstrakcyjnych. W tych 11 rodzajach drewna oznaczono istotne cechy decydujące o wykorzystaniu ich na elementy podłogi z ogrzewaniem, a mianowicie: gęstość, wilgotność, skurcz swobodny, przewodność cieplną oraz twardość. Zastosowano metody standardowe, a opis jest właściwy np. przewodność cieplną dla 3 poziomów wilgotności tzn. mikroklimat suchy, umiarkowany i mokry. Doktorant podał odpowiednie normy, aparaturę, ilości prób z podziałem na kierunki anatomiczne. Wybór 11 klejów 4 firm tj. Mapei - 4 kleje, Recoll - 4 kleje i po jednym kleju firmy Wakol, Berger i Rakoll uznać należy za trafny, a opis zawarty na stronach 40-44 prawidłowy, łącznie z podaniem wymiarów próbek, kalibracją na szlifierce szeroko taśmowej (taśma o granulacji 80). Dodatkowo zobrazowano sposób przygotowania próbek na ryc. 13 i 14 opisując próbki do badań wytrzymałości spoin na ścinanie. Badania te zrealizowano na maszynie INSTRON model 3382 współpracującej z programem komputerowym INSTRON Series IX/s Automated Materials Tester - Version 8.32.00.

Badanie zmian wymiarowych

Badanie zmian wymiarowych elementów posadzkowych przytwierdzonych do podłoża zrealizowano w dwóch klimatach, próbki mokre (M) wilgotność powietrza 60% i próbki suche (S) wilgotność powietrza 30%, temperatura 20°C. Opis przygotowania prób do klejenia, klejenie, klimatyzacja oraz badanie cech wytrzymałościowych spoin na wielkość zmian wymiarowych elementów nie wymaga uwag. Pomiarzy były powtarzane po kolejnych etapach klimatyzacji, a na zakończenie określono współczynnik spęcznienia drewna dla każdej spoiny. Doktorant wytypował do dalszych badań 4 rodzaje materiałów podłogowych:

- tradycyjne deski dębowe o szerokości 100mm i grubości 16mm - symbol "L";
- deski dwuwarstwowe (warstwa licowa dębowa o grubości 6mm i warstwa stabilizująca 9mm) - symbol "2W";
- deski pięciowarstwowe (warstwa licowa dębowa oraz cztery warstwy spodnie sosnowe, o szerokości 210mm, grubości 14mm) - symbol "5W";
- warstwa licowa to obłogi z drewna dębowego, szerokość 80mm, grubość 6,5mm - symbol "1W".

Posadzkę testową wykonano na wylewce betonowej, a opis przygotowania jest profesjonalny, umożliwiający odtworzenie badań. Dodatkowo udokumentowano na rycinach od 18 do 25 sposób izolacji termicznej, rozproszanie przewodów grzewczych, pomiar wilgotności podkładu metodą CM, rozproszanie termopar, przygotowanie podkładu przed montażem, montaż desek, stanowisko do kontroli temperatury pod i nad posadzką, a także do pomiaru zmian wymiarowych desek. W tabelach 12 i 13 Doktorant udokumentował zakres wilgotności materiału w posadzce od 5,43% ("1W") do ok. 9,9% ("2W" i "L"), a wahania temperatury podkładu kształtowały się w granicach od 29-30°C (grzanie) do 22°C (studzenie). Tak przygotowana posadzka była przez 34 dni poddana takim badaniom jak: zmiany wymiarowe, wilgotność drewna, temperatura powierzchni i podkładu oraz trwałość połączenia w podwyższonych temperaturach. Końcowym etapem sfery badawczej było przygotowanie podkładu mineralno - cementowego i montaż posadzki testowej z precyzyjnym opisem stosowanych narzędzi oraz materiału drzewnego z podaniem wymiarów parametrów klimatyzacji, a nawet ilości sztuk deszczułek na pomieszczenie 17m² (354 szt.) - dąb po modyfikacji termo - mechanicznej (w tabeli 6 - zagęszczony), a na 100m² 2083szt. dębu europejskiego *Quercus petraea* (Matt.). Liebl. (tzn. natywny tab.6).

Doktorant podał wszystkie możliwe parametry, aby była możliwość powtórzenia badań i weryfikacji osiągnięć. Były to takie parametry jak: rodzaj kleju epoksydowo - poliuretanowego firmy Rekol 25 - 2K NEW, kierunek nałożenia prostopadle do kierunku usłojenia deszczułki, paca zębata B11, zużycie kleju 1,1kg/m², czas obciążenia 24h (25kgm²). Dodatkowo w celu zwiększenia stabilności oraz ograniczenia deformacji, deszczułki z długości zostały sklejone klejem RAKOLL®-GXL 3/F-Neu. Do uszlachetniania posadzki zastosowano oleje firmy OSMO "Protektor Drewna nr 4006 bezbarwny" oraz "Wosk Twardy Olejny Oryginal nr 3032 bezbarwny Jedwabisty Połysk".

Cały rozdział 4. materiał badawczy i metodyka (str.37 do 62) przygotowana jest wzorowo, świadczy to bardzo pozytywnie o Doktorancie i Promotorze oraz Promotorze pomocniczym, opisy są pełne i merytoryczne, a 18 pozycji to publikacje wspólne tego zespołu i współpracowników. Należy podkreślić, że mgr inż. Valerjan Romanovski jest 3 krotnie samodzielnym Autorem i 3 krotnie pierwszym Autorem w pracach zespołowych.

Wyniki badań i ich analiza

Analiza 11 badanych próbek drewna w zakresie zmian wilgotności {w mikroklimacie suchym (wilgotność względna powietrza 35%), umiarkowanym (wilgotność względna powietrza 50%) i mokrym (wilgotność względna powietrza 75%)} kształtowała się od 3,16%

klimat suchy - jesion termowany do 13,36% klimat mokry- merbau. W klimacie "suchym" próbki po 365 dniach osiągnęły wilgotność od 3,16% do 8,36%, a najniższe wartości dotyczyły jesionu termowanego, a najwyższe próbek merbau. W wyniku klimatyzowania w tzw. klimacie umiarkowanym zakres był od 4,07% jesion termowany do 10,83% merbau, a w klimacie "mokrym" od 5,61% jesion termowany do 13,36% merbau. Nie uwzględniając modyfikowanego drewna jesionu, drewno chlorofory uzyskało najniższą wartość wilgotności równoważnej (klimat umiarkowany i mokry), a drewno merbau najwyższą w całym zakresie. Jak wynika z danych zawartych w tabeli 15 modyfikacja jesionu termowaniem prawie dwukrotnie obniżyła jego wartość wilgotności równoważnej. Pod względem stosunkowo niskiej wilgotności równoważnej wyróżnia się paduk od 6,29% do 10,72% oraz teak od 6,67% do 10,63%.

Gęstość badanych próbek kształtowała się następująco: dąb niemodyfikowany w zależności od przekroju styczny/promieniowy $692\text{kg/m}^3/695\text{kg/m}^3$, dąb zagęszczony $946\text{kg/m}^3/919\text{kg/m}^3$, jesion termowany $594\text{kg/m}^3/612\text{kg/m}^3$, merbau $894\text{kg/m}^3/918\text{kg/m}^3$. Szczegółowe wyniki przedstawiono w tabeli 16, gęstość była typowa dla konkretnego gatunku drewna, a współczynniki zmienności gęstości kształtowały się od 5,97% do 8,56%, bez uwzględnienia jesionu termowanego, który charakteryzuje się najniższą zmiennością wymiarową, skurcz w kierunku stycznym 3%, a w promieniowym 1,8%. Generalnie modyfikacja termiczna powoduje obniżenie kurczliwości drewna i uwarunkowane jest to zmianami w strukturalnych składnikach drewna. Stosunkowo stabilne wymiarowo okazały się gatunki egzotyczne chlorofora, teak i paduk, a najmniejszą stabilnością charakteryzował się dąb, jesion i dąb amoniakowany.

Najwyższą twardością określoną metodą Brinnella zgodnie z PN - EN 1534:2011 stwierdzono badając dąb zagęszczony 68MPa, a najniższą drewno teak (przekrój styczny) 39MPa. Nie stwierdzono wpływu modyfikacji termicznej na wzrost twardości drewna jesionu termowanego 40MPa, a 41MPa jesion bez modyfikacji. Właściwości cieplne w realizacji tego problemu są bardzo ważne, Doktorant przewodność cieplną określił przy wykorzystaniu miernika Isomet 2114 z użyciem sondy powierzchniowej IPS 1105 dla 11 gatunków i rodzajów drewna w kierunku promieniowym i stycznym przy trzech poziomach wilgotności (suchy, umiarkowany, mokry).

Szczegółowe wyniki Autor przedstawił w tabelach 19, 20 i na rycinach 31 i 32. Należy uznać, że gatunki o dużej gęstości wykazały najwyższe wartości przewodzenia ciepła zarówno w kierunku stycznym, jak i promieniowym np. dąb zagęszczony (gęstość 919kg/m^3), średnia przewodność cieplna $0,2522\text{W/m}\cdot\text{K}$, dąb amoniakowany (gęstość 762kg/m^3) średnia

przewodność cieplna $0,2439\text{W/m}\cdot\text{K}$, merbau ($9,18\text{kg/m}^3$) średnia przewodność cieplna $0,2433\text{W/m}\cdot\text{K}$. Natomiast drewno jesionu modyfikowanego termicznie (gęstość 549kg/m^3) uzyskało średnią przewodność cieplną na najniższym poziomie ($0,1591\text{W/m}\cdot\text{K}$). Autor poprawnie analizuje i opisuje uzyskane wyniki i potwierdza znane fakty jak że wzrostem gęstości rośnie przewodnictwo cieplne, jak również ze wzrostem wilgotności drewna wzrasta przewodność cieplna. Równocześnie akcentuje pewne odstępstwa od tych reguł np. dąb modyfikowany amoniakiem (gęstość 762kg/m^3 , przewodność cieplna $0,2439\text{-}0,2204\text{W/m}\cdot\text{K}$), merbau (gęstość 918kg/m^3 , przewodność cieplna $0,2433\text{-}0,2370\text{W/m}\cdot\text{K}$). Interesującą analizę przedstawił Doktorant na rycinach 34 i 35 odnosząc przewodność cieplną do gęstości drewna jako iloraz tych cech porównując dąb modyfikowany amoniakiem $3,20\lambda/\text{G}$ i dąb zagęszczony $2,74\lambda/\text{G}$. Podobne wyniki dotyczą gatunków egzotycznych np. zakrwini i paduk, podobne gęstości (kierunek promieniowy) 727kg/m^3 i 743kg/m^3 , a współczynnik przewodności cieplnej odniesiony do gęstości to zakrwini $3,01\lambda/\text{G}$, a paduk $2,63\lambda/\text{G}$. Doktorant słusznie, zdaniem recenzenta, stwierdza, że te odstępstwa od ogólnej reguły są związane ze zróżnicowaną budową anatomiczną analizowanych gatunków.

Analiza wszystkich badanych spoin klejowych wykazała, że istnieje ścisła zależność pomiędzy wytrzymałością na ścinanie a modułem odkształcenia postaci. Istotność zależności potwierdził Autor analizą regresji (ryc.36). Dokonał również podziału klejów według stopnia podatności na odkształcenia na 3 grupy: kleje elastyczne, średnio elastyczne i mało elastyczne, a do dalszych badań, w celu określenia parametrów spoin na wielkość zmian wymiarowych elementów przyklejonych do podkładu, wytypował po jednym kleju z każdej grupy tj. Wakol MS 228, Recoll niebieski i Recoll zielony. Najniższym spęcznieniem charakteryzowały się próbki przyklejone z zastosowaniem kleju Recoll zielony. Współczynnik spęcznienia wyniósł $0,11\text{-}0,12$ tzn. ta spoina ogranicza zmiany wymiarowe ok. 55%, a próbki przyklejone klejem Wakol MS 228 uzyskały współczynnik spęcznienia $0,19$, czyli ograniczenie wymiarów o około 25%. Jedynie spoina z klejem Recoll niebieski przy przejściu z wilgotności 30% do wilgotności 75% w temperaturze 25°C uległa uszkodzeniu.

Doktorant w końcowym etapie badań przeanalizował 4-ry posadzki testowe, tradycyjną "L", deski dwuwarstwowe (warstwa licowa dąb 6mm, stabilizująca 9mm) - symbol "2W", deski pięciowarstwowe (lico dąb, 4 spodnie warstwy sosna) - symbol "5W", autorska warstwa licowa dąb 6,5mm grubości - symbol "1W". Po 30-to dniowym teście polegającym na ich wygrzewaniu i studzeniu ustalono średnie wartości temperatur powierzchni badanych podłóg. Najwyższe wartości temperaturowe $26,9^\circ\text{C}$ zarejestrowano na posadzce o symbolu

"1W" tzw. autorskiej (pomysł doktorant - promotor), 26°C to posadzki warstwowe "5W" i "2W".

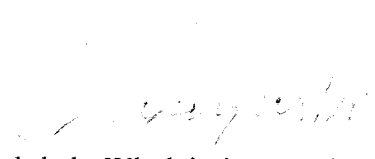
W ramach końcowego etapu testu zadano temperaturę dla podłogi. Podłogi o symbolu "1W" było to 37,6°C, a dla "5W" 34,2°C, przy czym wilgotność bezwzględna powietrza obniżyła się do około 20%, ale nie spowodowało to uszkodzeń połączeń klejowych w posadzkach. W projektowanym autorskim systemie "1W" zarejestrowano najwyższą temperaturę ze wszystkich etapów testów 27,8°C, a różnica pomiędzy podkładem a posadzką była najniższa 1,46°C. Następnie oznaczono wielkość zmian wymiarowych w kierunku promieniowym w testowych posadzkach. Największą stabilnością wymiarową charakteryzowała się posadzka "5W" - współczynnik skurczu pęcznienia 0,04-0,02. Najszybszą reakcją na zmieniający się mikroklimat stwierdzono w posadzce "1W", spęcznienie 0,05, a skurcz w pierwszym okresie 0,07, a po osiągnięciu 0,08 wartości został ograniczony. Najwyższe wartości skurczu wyznaczono dla posadzki symbol "L" - 0,12 i "2W" - 0,13. Generalnie posadzka "1W" posiada bardzo korzystne parametry, aby została wdrożona w system ogrzewania podłogowego. Doktorant udowodnił to wykonując posadzkę i opisując precyzyjnie proces technologiczny i prawidłowe wykonanie posadzki z dębu naturalnego ok. 100m², z dębu po modyfikacji (dąb zagęszczony) 17m². Po 24 miesiącach użytkowania oznaczył płaskość elementów i udowodnił, że odchylenie od płaskości jest 3-4 krotnie mniejsze od wartości dopuszczalnych, a także udokumentował parametry mikroklimatu na powierzchni posadzki oraz, że temperatura posadzki z dębu zagęszczonego jest wyższa od posadzki z dębu bez modyfikacji o 1,2°C. Wnioski generalnie odpowiadają na sprecyzowany cel pracy, szczególnie z badań wynikają wnioski nr 3, 5, 6, 7 i 8. Wnioski 1, 2, 4 - wyrażam przekonanie, że były znane Doktorantowi przed przystąpieniem do realizacji rozprawy doktorskiej.

Po zapoznaniu się z całym maszynopisem mam następujące uwagi:

- należy dokonać korekty tekstu np. str.38, tabela 6 - nie informuje o przewodności cieplnej, tylko tabela 19 i 20;
- str.63, 66 - 75 - styl można udoskonalić;
- str. 53 - tabela 12 to wilgotność;
- str.67 - tabela 12, 19, 20 - powinna być tabela 19, 20;
- str. 45, ryc.3 - powinno być ryc. 16;
- str. 81, ryc.47 - powinno być ryc. 44.

Podsumowanie

Wyrażam opinię, że oceniana praca doktorska to twórcze opracowanie o ważnej i aktualnej tematyce efektywnego wykorzystania drewna poprzez zastosowanie podkładu mineralnego do stabilizacji podłóg drewnianych z ogrzewaniem. Proponowana technologia umożliwia wyeliminowanie warstwy stabilizującej jak w badanych podłogach o symbolach "5W" i "2W" przy równoczesnym zwiększeniu sprawności ogrzewania podłogowego. Autor przedstawił własny, wszechstronnie dopracowany program badawczy, wykazał bardzo dobre przygotowanie do realizacji merytorycznej, a także techniczno - technologicznej tej pracy. Uzyskane wyniki uzupełniają współczesną wiedzę i wpisują Autora do grona specjalistów z zakresu drzewnictwa szczególnie w konstrukcjach podłóg drewnianych z systemami ogrzewania. W konkluzji stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Valerjana Romanovskiego pt. "Stabilizacja wymiarowa podłóg drewnianych na podkładzie mineralnym z ogrzewaniem", spełnia wymagania stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017, poz. 1789 ze zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.



Prof. dr hab. Włodzimierz Prądyński