PODPIS ZAUFANY
RAFAŁ
JENDRZEJEWSKI
07.10.2026 20:20:25 GMT+0200
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

Gdańsk, 07/10/2026

dr hab. Rafał Jendrzejewski, prof. IMP PAN
Zakład Fotofizyki
Instytut Maszyn Przepływowych PAN
ul. Fiszera 14, 80-231 Gdańsk
tel. 58 5225193
e-mail: rafj@imp.gda.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr **Anny Faron**

„*Możliwości wykorzystania innowacyjnego lasera o bardzo dużej częstotliwości powtarzania pulsów z rotacją wiązki w konserwacji polichromowanych i werniksowanych obiektów dziedzictwa kulturowego*"

promotor: dr hab. Magdalena Iwanicka, prof. UMK

Podstawa wykonania recenzji

Recenzję sporządzono na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Sztuki Plastyczne i Konserwacja Dzieł Sztuki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, dr hab. Grzegorza Maślewskiego, prof. UMK, z dnia 23 czerwca 2026 r.

Zakres rozprawy i aktualność tematu

Recenzowana rozprawa swoim zakresem obejmuje interdyscyplinarne zagadnienia dotyczące zastosowań techniki laserowej w konserwacji obiektów dziedzictwa kulturowego, zatem można ją umiejscowić w dziedzinie sztuki, w dyscyplinie *sztuki plastyczne i konserwacja dzieł sztuki*.

Podkreślić należy, że w związku z ciągłym postępem technologicznym w dziedzinie konstrukcji źródeł laserowych oraz z uwagi na fakt, że proces ablacji promieniowaniem laserowym jest niezwykle skomplikowany i wciąż nie do końca poznany, w temacie zastosowań laserów w konserwacji obiektów zabytkowych jest w dalszym ciągu bardzo dużo do zbadania. I tę lukę Doktorantka stara się wypełnić, skupiając się na wykorzystaniu stosunkowo nowego lasera o bardzo dużej częstotliwości impulsów w konserwacji polichromowanych i werniksowanych obiektów dziedzictwa kulturowego, a więc zabytków wymagających podczas oczyszczania szczególnej uwagi i ostrożności.

Struktura i zawartość rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa została napisana w języku polskim i liczy 451 stron. Układ pracy nie budzi większych zastrzeżeń. Składa się ze wstępu, obszernych części teoretycznej i doświadczalnej z licznymi rozdziałami i podrozdziałami, podsumowania z wnioskami końcowymi, bibliografii liczącej 123 pozycje i 4 źródła internetowe, oraz z załączników w postaci spisów ilustracji i tabel.

We wstępie, wśród streszczenia pracy, można znaleźć sformułowany cel rozprawy, a było nim „*przeprowadzenie systematycznych badań skuteczności i bezpieczeństwa stosowania ablacji laserowej z użyciem lasera światłowodowego (włóknowego) w konserwacji polichromowanych i werniksowanych obiektów dziedzictwa kulturowego, trudnych lub niemożliwych do oczyszczenia innymi metodami oraz rozwijanie metodologii monitorowania zabiegu za pomocą technik instrumentalnych*".

Kilkudziesięciostronicowa część teoretyczna zawiera m.in. opis laserów najczęściej stosowanych w konserwacji zabytków, krótką historię rozwoju laserów i techniki laserowej, opis mechanizmu ablacji laserowej oraz szczegółowy przegląd literatury dotyczącej zastosowań laserów w oczyszczaniu obiektów zabytkowych, a w szczególności w konserwacji obiektów polichromowanych i werniksowanych. W tej części Autorka zawarła również poparte kwerendą bibliograficzną stosunkowo krótkie porównanie efektywności i bezpieczeństwa oczyszczania laserowego z metodami konwencjonalnymi oraz wnikliwą analizę zagrożeń związanych z użyciem laserów w konserwacji.

Najważniejsza i najobszerniejsza w rozprawie jest część doświadczalna, którą rozpoczyna omówienie budowy oraz parametrów użytego przez Autorkę lasera światłowodowego RedEnergy EP-Z G4 o dużej częstości powtarzania impulsów promieniowania o długości fali 1064 nm, wyposażonego w systemem szybkiego skanowania oraz dodatkowe oprogramowanie symulujące to skanowanie i ułatwiające dobór parametrów. Następnie opisane są wstępne badania przeprowadzone na próbkach modelowych, konieczne z uwagi na prototypowość urządzenia i brak danych dotyczących wpływu jego obieralnych parametrów (m.in. predefiniowanego profilu, poziomu mocy, częstotliwości repetycji impulsów, prędkości skanowania, odstępu między kolejnymi liniami skanowania), a także pracy poza ogniskiem wiązki laserowej, na efekty laserowego oczyszczania. W kolejnych podrozdziałach Doktorantka przedstawia stabelaryzowane wyniki badań oddziaływania promieniowania używanego przez Nią lasera na 17 modelowych próbek pigmentów i barwników. Wnioski wyciągane są na podstawie zdjęć powierzchni próbek oraz analiz kolorymetrycznych wykonanych przed i po naświetlaniu laserem oraz po sztucznym starzeniu. Wyniki tych badań Autorka wykorzystuje w kolejnej części Rozprawy przy doborze parametrów laserowego oczyszczania powierzchni szeregu obiektów polichromowanych oraz werniksowanych. Były to kolejno: polichromowane obiekty drewniane z różnego rodzaju przemalowaniami, powierzchnie złocone na drewnie i metalach, obrazy na płótnie, malarstwo ścienne oraz papiery powlekane. W każdym z tych przypadków Doktorantka zaczyna od opisu badań na próbkach modelowych, przechodząc następnie do prób na konkretnych obiektach zabytkowych. Do charakterystyki uzyskanych efektów Doktorantka używa zdjęć makro- i mikroskopowych powierzchni i przekrojów, a także takich technik jak: kolorymetria, skaningowa mikroskopia elektronowa, koherencyjna tomografia optyczna, skaningowa makroskopowa fluorescencja rentgenowska czy spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera. W kilku przypadkach wyniki uzyskane z użyciem lasera światłowodowego porównywane są z efektami oczyszczania metodami mechanicznymi, chemicznymi oraz innymi laserami.

Właściwą część Rozprawy kończy rozdział podsumowujący, w którym Doktorantka jeszcze raz przedstawia wnioski na temat wpływu poszczególnych parametrów promieniowania użytego lasera światłowodowego na pigmenty oraz efekty oczyszczania obiektów zabytkowych i wskazuje, że laser ten może być skuteczną alternatywą dla innych metod konserwatorskich.

Istotne elementy rozprawy i oryginalny wkład Autorki

Do istotnych i oryginalnych elementów rozprawy zaliczyć należy:

1. Przeprowadzenie obszernych, systematycznych i czasochłonnych badań wpływu zmiany parametrów promieniowania lasera światłowodowego o dużej częstości powtarzania impulsów na efekty jego oddziaływania z wyselekcjonowaną, reprezentatywną grupą barwników i pigmentów.

2. Szczegółowe zbadanie usuwania różnego rodzaju nawarstwień z zabytkowych obiektów polichromowanych i werniksowanych (drewnianych, metalowych, malarstwa sztalugowego i ściennego, papierów powlekanych) wiązką lasera światłowodowego, dla którego takich badań w większości jeszcze nie przeprowadzono. Bez wątpienia stanowią one przyczynek do lepszego

poznania zjawisk zachodzących podczas oddziaływania krótkich i częstych impulsów z powierzchnią materiału, i wypełniają lukę pomiędzy teorią a praktycznym zastosowaniem laserów o takich impulsach w oczyszczaniu obiektów dziedzictwa kulturowego.

3. Wykazanie na podstawie przeprowadzonych analiz, że przy zachowaniu odpowiednich procedur możliwe jest selektywne usuwanie laserem światłowodowym zanieczyszczeń i/lub przemalowań z powierzchni większości obiektów polichromowanych bez uszkodzeń cennego materiału. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorantka zaproponowała dwuetapową, bezpieczniejszą metodę usuwania nawarstwień ze zmianą parametrów w trakcie zabiegu.

Stwierdzić należy, że Doktorantka na podstawie studiów literaturowych oraz własnych badań uzyskała rozległą wiedzę w zakresie wpływu oddziaływania promieniowania laserowego, a w szczególności lasera światłowodowego o dużej częstotliwości impulsów, na szeroką gamę pigmentów i barwników, oraz w temacie oczyszczania takim laserem wymagających szczególnej ostrożności zabytkowych obiektów polichromowanych, a także, że osiągnęła cel jaki postawiła sobie we wstępie do Rozprawy.

Uwagi krytyczne

Poniżej wymieniam główne uwagi krytyczne i pytania, które nasunęły mi się podczas lektury rozprawy:

1. W dziedzinie nauk technicznych jesteśmy przyzwyczajeni do obecności w rozprawie spisu oznaczeń i skrótów. W tym przypadku też taki spis by się przydał – zaoszczędziłby czytelnikowi szukania miejsca ich pierwszego użycia czy też poszukiwań w internecie.
2. Przydałoby się wyjaśnienie dlaczego tylko w tytule Rozprawy mowa jest o laserze „*z rotacją wiązki*”?
3. W rozdziale I.1 zaczynającym się na str. 15 ewidentnie brakuje zdania wprowadzającego. Cały ten rozdział jest nieco chaotyczny, z czasami niepotrzebnymi powtórzeniami i można w nim znaleźć błędy wynikające głównie z używania i/lub tłumaczenia z angielskiego pojęć fizycznych czy opisów zjawisk lub aparatury przez osobę, która nie jest specjalistą w dziedzinie nauk technicznych czy ścisłych np. „*laser ciała stałego*” zamiast „*laser na ciele stałym*” (str. 15 oraz 79), „*jony ziemi rzadkiej*” zamiast „*jony metali ziem rzadkich*” (str. 17).
4. W części opisującej parametry promieniowania laserowego na str. 18-19 znaleźć można kilka nieścisłości. Doktorantka stwierdza, że długość fali promieniowania laserowego podaje się w nanometrach, choć sama używa też mikrometrów (i to nawet trochę wyżej w Tab. I-1, gdzie z kolei wśród jednostek długości fali nie ma nanometrów) – brakuje więc innych używanych jednostek lub słowa „najczęściej”. Dalej, Doktorantka podaje dwa wzory na fluencję, ale pierwszy wzór jest tylko szczególnym przypadkiem wzoru drugiego (dla wiązki sferycznej). Uwaga do kolejnego punktu - skanowanie niekoniecznie musi być realizowane przez ruchy głowicy, bo możliwy jest też przesuw materiału przy nieruchomej głowicy lub kierowanie wiązką lasera za pomocą układów optycznych. Następnie, przy profilu wiązki podane są nazwy tylko dwóch skrajnych, idealnych przypadków, a większość realnych wiązek laserowych mieści się gdzieś pośrodku. Jako fizykowi brakuje mi w tej części Rozprawy wzorów/zależności między parametrami wiązki laserowej, np. między średnią mocą, a energią i częstotliwością impulsów.
5. Na stronie 38 błędnie podano jedną z długości fali promieniowania lasera Nd:YAG. 308 nm to długość fali promieniowania lasera ekscymerowego XeCl.
6. Na str. 48 Doktorantka napisała, że autorzy jednej z publikacji stwierdzili „*wzrost temperatury w przypadku czasu trwania impulsu poniżej 30 ns*”. Ten wniosek jest dosyć

nieintuicyjny, więc warto dodać, że taka zależność wynika z obliczeń teoretycznych przy założeniu stałej fluencji, co przy krótszych impulsach wiąże się ze wzrostem mocy szczytowej, przekładającym się na chwilowy większy wzrost temperatury.

7. Na str. 82 podano, że ogniskowa soczewki to 100 mm, a z tekstu na str. 93 i z danych w tabelach wynika, że wynosi ona 350 mm. Ta rozbieżność wymaga wyjaśnienia.
8. Rzeczywista liczba predefiniowanych przez producenta profili impulsu laserowego (nazywanych przez Autorkę waveformami) to 48, a nie ponad 60, gdyż te z numerami od 40 do 55 to duplikaty profilu nr 39.
9. W Rozprawie praktycznie brak jest informacji o rozkładzie przestrzennym wiązki laserowej. Podana jest jedynie przybliżona średnica (stąd też wniosek, że wiązka ma symetrię kołową, co Doktorantka stwierdziła dopiero na str. 327). A przecież nawet mały błąd w przyjętej do obliczeń średnicy wiązki laserowej skutkuje znacznie większym błędem wartości fluencji pojedynczego impulsu (bo we wzorze mamy kwadrat średnicy). W przypadku lekko poszerzonej wiązki gaussowskiej, z którą prawdopodobnie mamy tu do czynienia (wg danych znalezionych w internecie), przyjęcie do obliczeń prawidłowej wartości średnicy wiązki wcale nie jest trywialne. Najczęściej stosowanym standardem jest zdefiniowanie jej jako szerokość wiązki, w której energia (moc) promieniowania jest niemniejsza niż $1/e^2$ (czyli ok. 13,5%) wartości maksymalnej, ale czasami przyjmuje się, że to szerokość profilu w połowie maksymalnej mocy.
10. W Rozprawie nie znalazłem informacji w jaki sposób oprogramowanie „*Symulacja pracy lasera*" wylicza fluencję. Na podstawie danych z tabel i wykresów wnioskuję, że nie dotyczy pojedynczego impulsu, ale jest wartością skumulowaną dla wszystkich impulsów oddziałujących na daną powierzchnię przy jednokrotnym skanowaniu. Oszacowana w ten sposób fluencja jest przydatna, jeśli chcemy uwzględnić efekt kumulacji ciepła w przypadku bardzo szybko następujących po sobie impulsów, gdy materiał nie nadąża odprowadzać ciepła między impulsami. Nie zawsze jest to jednak wielkość miarodajna - Doktorantka sama to zauważa i np. na str. 113 pisze, że „*ta sama wartość fluencji [...] może odmiennie oddziaływać na materiał* ...", a na str. 300, że „*reakcja warstw malarskich [...] jest silnie uzależniona od [...] energii impulsu*". Dzieje się tak, gdyż ważny jest efekt działania pojedynczego impulsu laserowego w miejscu jego padania na powierzchnię, czyli fluencja impulsu. Np. w procesie oczyszczania, jeśli ta fluencja będzie poniżej progu ablacji, to możemy nie uzyskać żadnego efektu, nawet jeśli naświetlimy dane miejsce wieloma takimi impulsami, czyli gdy skumulowana fluencja będzie miała bardzo dużą wartość. Dlatego w przypadku laserów o dużej repetycji impulsów lepiej byłoby operować zarówno fluencją skumulowaną i liczbą powtórzeń skanowania, jak i fluencją pojedynczego impulsu oraz uśrednioną liczbą „trafień" wiązki laserowej w jedno miejsce. Taki zestaw parametrów ułatwiłby też wyciąganie wniosków. Żeby jeszcze bardziej skomplikować sprawę - pracując z wiązką o kształcie gaussowskim lub zbliżonym do tego kształtu koniecznie trzeba uwzględnić, że gęstość energii w centralnej części wiązki jest znacznie wyższa niż na jej brzegach, co może skutkować np. przekroczeniem progu uszkodzenia materiału w środku wiązki laserowej, przy jednoczesnym braku przekroczenia progu ablacji na jej obrzeżach. Albo innymi słowy, że fluencja maksymalna (w centrum przekroju wiązki) jest znacznie większa (dla wiązki gaussowskiej dokładnie dwukrotnie) od fluencji średniej dla impulsu (tej wynikającej z podanego przez Doktorantkę wzoru). Do wymienionego trochę wyżej zestawu należałoby więc dodać jeszcze fluencję maksymalną. I na koniec - w temacie fluencji przydałaby się jeszcze dyskusja na temat niepewności jej wyliczania.
11. W kontekście tego co napisano powyżej, brakuje mi w Rozprawie uwag na temat jakiego rzędu wielkości jest przerwa czasowa pomiędzy impulsami dla różnych częstotliwości

powtórzeń oraz jak ma się ten czas do czasu trwania impulsu i do typowych czasów relaksacji strumienia ciepła w materiale.

12. Czy były wykonywane pomiary temperatury powierzchni materiału w trakcie lub po zakończeniu jego skanowania wiązką laserową?
13. Energia impulsu dla danego predefiniowanego profilu impulsu laserowego (waveformu) i przytaczana wszędzie przez Doktorantkę, to w rzeczywistości wartość maksymalna, osiągana jedynie poniżej częstotliwości bazowej PRF_0 i dla maksymalnego ustawionego poziomu mocy średniej. Gdy częstotliwość jest zwiększana powyżej wartości PRF_0, energia impulsu ulega zmniejszeniu, podczas gdy moc średnia pozostaje niezmieniona. Natomiast obniżenie częstotliwości poniżej wartości PRF_0 powoduje w przybliżeniu liniowy spadek mocy średniej poniżej wartości wynikającej z ustawionego poziomu, przy stałej energii impulsu. Zastosowanie mniejszego poziomu mocy również proporcjonalnie zmniejsza energię impulsu. Tych zależności Doktorantka nie uwzględnia i dlatego podawane w Tabelach wartości energii impulsu nie są prawidłowe.
14. Trzeba zwrócić uwagę, że konkretne parametry wiązki laserowej (predefiniowany profil, poziom mocy oraz częstotliwość repetycji) odpowiadają konkretnej wartość energii w impulsie oraz konkretnemu czasowi trwania impulsu. Podawany przez Doktorantkę w tabelach przedział czasów trwania impulsu to tak naprawdę wartości odpowiadające czasowi trwania tego samego impulsu na dwóch różnych poziomach energii/mocy: w tzw. szerokości połówkowej (czyli na poziomie 50% energii/mocy) oraz na poziomie 10% wartości maksymalnej. Czas trwania impulsu zależy więc od tego jaki poziom energii nas interesuje, ale na tym poziomie ma konkretną, niezmienna wartość. Warto przeanalizować wykresy w dokumentacji dołączonej zapewne przez producenta. Mi udało mi się znaleźć specyfikację dla lasera z tej samej serii, ale o mocy średniej 70 W. Konkretne wartości zapewne się różnią, ale generalne zależności będą podobne. Przy niższych częstotliwościach impuls laserowy najpierw stromo narasta, a potem już coraz mniej stromo opada z długim „ogonem" urywającym się po czasie równym większej wartości z tabeli. Z kolei dla dużych wartości częstotliwości czas trwania impulsu mierzony na różnych poziomach mocy jest praktycznie identyczny i odpowiada większej wartości z tabeli. Doktorantka stosuje głównie mniejsze częstotliwości repetycji, nawet poniżej PRF_0, więc czas trwania stosowanych przez Nią impulsów odpowiada raczej niższej wartości z podawanych przedziałów, przy założeniu, że interesuje nas czas odpowiadający szerokości połówkowej impulsu. Jak widać, podanie prawidłowej wartości czasu trwania impulsu wcale nie jest sprawą trywialną.
15. Bardzo lakoniczne są komentarze dotyczące niedopasowania stosunku prędkości skanowania do częstotliwości impulsów. A to bardzo ważny aspekt, gdyż może przełożyć się na zbytnie nakładanie się kolejnych impulsów albo, z drugiej strony, na odstęp między nimi wolny od oddziaływania z wiązka laserową. Aby uzyskać prawidłowy efekt przy czyszczeniu, kolejne impulsy powinny przynajmniej lekko się na siebie nakładać, a nałożenie to powinno być zbliżone do tego wynikającego z przesuwu między kolejnymi liniami skanowania (dokładnie ze stosunku tego przesuwu do średnicy wiązki). Efekt braku tego dopasowania widać na wielu zdjęciach, np. w Tabelach II-8, II-17, II-19 i wielu innych, w postaci obszarów, w które nie trafił żaden impuls lasera.
16. 19 kolejnych tabel (od II-7 do II-25) ma identyczne tytuły – szczególnie źle wygląda to w spisie. Czy naprawdę nie dało się ich zróżnicować?
17. Czy podawane w tabelach rozdziałów II.2.2.5-21 zmiany barwy ΔE i $\Delta E2000$ po procesie starzenia zostały wyznaczone w odniesieniu do próbek po naświetlaniu laserem, czy do tych przed naświetlaniem? Nie zostało to jasno napisane, chociaż z danych można wnioskować, że chodzi o drugi przypadek.

18. Stosunkowo małe i czasami niewyraźne zdjęcia w tabelach nie ułatwiają interpretacji wyników – w większości przypadków musimy zdać się na ocenę Autorki, bo na podstawie zdjęć trudno wnioskować o wpływie wiązki laserowej czy starzenia. Na większości zdjęć brak też skali, a przy wielu brak jest jakiekolwiek informacji na temat powiększenia. Jednak nawet stwierdzenie, że powiększenie jest 10-, 20- czy 30-krotne, właściwie mówi niewiele, bo wtórne pomniejszenie cyfrowych zdjęć na pewno wpłynęło na ostateczną ich skalę. Najlepiej w takich przypadkach sprawdzają się podziałki liniowe. Te pojawiają się pod koniec Rozprawy, ale równocześnie niepotrzebnie podawane jest powiększenie, które z podanych wyżej przyczyn nie odpowiada rzeczywistej wartości wynikającej ze skali.
19. Częstotliwość impulsów laserowych w Tabeli II-28 dla pól nr 3 i 6 to 30 kHz, a w Tabelach II-30 i kolejnych z numeracją parzystą aż do II-62 wpisane jest 40 kHz. Która wartość jest prawdziwa? Częstotliwość impulsów w przypadku używanego tu lasera to bardzo ważny parametr, bo wpływa m.in. na energię w impulsie, czas jego trwania, a także na liczbę impulsów aplikowanych w jedno miejsce (odległość między kolejnymi plamkami lasera).
20. Czy na pewno w przypadku badań wpływu odporności pigmentów na promieniowanie laserowe przesunięcie wiązki w osi y (odstęp między liniami) wynosiło 0,06 mm? O ile dobrze interpretuję mało wyraźne zdjęcia pól 1-6, w których zaszły widoczne zmiany, to przesunięcie jest raczej porównywalne ze średnicą wiązki laserowej.
21. Autorka pisze o przypadkach zanikającego czasie pociemnienia bieli ołowiowej pod wpływem oddziaływania wiązką laserową, ale nie precyzuje jak szybko ono zanika i nie próbuje wyjaśnić co jest jego powodem. Ze zdjęć (np. pola nr 3 na str. 139) może wynikać, że te pociemnienia wystąpiły w obszarach, w które nie trafiła wiązka laserowa lub na obrzeżach impulsów laserowych, a w środku impulsów laserowych zmiany kolorystyczne nie następują. Tym bardziej ciekawa byłaby próba wyjaśnienia tego zjawiska, oczywiście o ile taka interpretacja niewyraźnych, jak już wspomniałem, zdjęć jest zgodna z rzeczywistością. Podobny efekt Autorka zauważyła w przypadku azurytu, malachitu czy żółcieni kadmowej, natomiast mniej lub bardziej zanikające pojaśnienie zauważyła w przypadku lapis lazuli, błękitu pruskiego, ochry burgundzkiej, bistru czy umbry naturalnej i palonej cypryjskiej, również bez próby interpretacji.
22. Niezrozumiałe jest dla mnie spostrzeżenie na str. 308: „*zmiany barwy [...] często nie układały się w "kształt pola skanowania*"".
23. Tytuły Tab. II-64 oraz Ryc. II-41 i II-42 są zbyt dużym skrótem myślowym.
24. W tekście brak jest odniesienia do Ryc. II-44, a także II-59, II-63, II-66, II-73, II-77, II-78, II-79, II-82, II-83, II-84, II-85, II-87, II-88, II-89, II-90, II-91 i II-92 oraz Tabel II-74, II-75, II-78, II-79 i II-80 (pomijając rozdział II.2.2).
25. Na str. 321 moc obniżono o 10 punktów procentowych (10 pp.) a nie o 10%.
26. Czy przy oczyszczaniu złoconej ramy w rozdziale II.3.3.2 stosowano jakieś nadążanie ogniska wiązki laserowej za oczyszczanym kształtem? W rozdziale II.3.3.3 dotyczącym oczyszczania złoconej snycerki jest informacja na ten temat, ale kilka stron wcześniej tego brak. Swoją drogą, ręczne nadążanie z utrzymywaniem stałej odległości miejsca oczyszczania od głowicy przy skomplikowanych kształtach wydaje się wręcz niemożliwe przy wiązce laserowej poruszającą się z prędkością rzędu 10 m/s.
27. To prawda, że „*Niższa częstotliwość przy wysokiej prędkości skanowania wiązki zapobiegła zniszczeniom warstwy złota*" (ostatnie zdanie na str. 350), ale zastosowanie częstotliwości 50 kHz przy prędkości skanowania 13 m/s przekłada się na odstęp między środkami kolejnych plamek lasera wynoszący 0,26 mm, a więc więcej niż średnica tych plamek. Czyli wracamy do uwagi nr 15.

28. To nie zwiększenie częstotliwości, ale wspomniane dopiero na końcu następnego zdania użycie impulsu laserowego o bardzo niskiej energii spowodowało brak ablacji przy próbie nr V oczyszczania spękanej tempery opisanej na str. 354.
29. Na ryc. II-71 (str. 357) oraz II-76 (str. 362) wartości L*, C* i h* chyba nie są wyznaczone względem wzorca (jak widać w tytułach wykresów), tylko mamy je z tym wzorcem porównywać?
30. Doktorantka podaje wyniki pomiarów kolorymetrycznych z dokładnością do 0,01, ale jakie są błędy / niepewności tych pomiarów?
31. Z danych zgromadzonych w Tab. II-80 wynika, że po naświetlaniu laserem niezabrudzonego papieru powlekanego przy użyciu zestawu parametrów nr 4, 5, a także 6, mniejsze różnice kolorymetryczne Doktorantka uzyskała po większej liczbie powtórzeń skanowania. Brak jest jednak próby wyjaśnienia dlaczego tak się dzieje.

Przedstawione powyżej uwagi mają po części charakter polemiczny i, biorąc pod uwagę, że dotyczą głównie aspektów fizycznych czy technicznych, a Rozprawa jest w dyscyplinie Sztuki Plastyczne i Konserwacja Dzieł Sztuki, tylko w nieznacznym stopniu zakłócają jej ogólną, pozytywną ocenę. Prosiłbym jednak Doktorantkę o odniesienie się podczas publicznej obrony przynajmniej do uwag/pytań nr 10, 11, 12, 21 i 31.

Uwagi redakcyjne

Praca napisana jest starannie, niemniej co wrażliwsze oko razić mogą pojedyncze literki na końcu wersów, zbędne (str. 51) czy brakujące (str. 54, 61, 164, 184, 194, 204, 214, 236, 246, 256, 266, 299, 317, 399, 408) spacje, podwójne kropki (str. 72, 300, 366), niekonsekwencje w stosowaniu wcięcia pierwszego wersu akapitu (np. na str. 16, 17, 21) czy puste miejsca u dołu strony (np. str. 33, 34, 82, 88) wynikające z braku optymalizacji osadzania rysunków czy tabel. Poniżej wymieniam zauważone pozostałe usterki redakcyjne, błędy stylistyczne, interpunkcyjne oraz gramatyczne:

- Doktorantka w rozprawie konsekwentnie używa frazy „*skanowanie* (*czego*?) *wiązki*". W technice laserowej termin ten (czyli z „wiązką" w dopełniaczu) oznacza jednak pomiar lub sterowanie parametrami samej wiązki laserowej. Z kolei wyraz „skanowanie" wraz z „wiązką" w narzędniku (czyli „*skanowanie* (*czym*?) *wiązką*") odpowiada omiataniu obiektu wyemitowaną wiązką laserową, a chyba właśnie ten przypadek Autorka ma na myśli.
- Zdarzają się błędy fleksyjne, np. w 3 linijce od dołu na str. 15 jest: „*takich*", a powinno być: „*takimi*", w 3. wersie na str. 63 jest: „*opisującej*", a powinno być: „*opisujących*", a w 6. wersie na tej samej stronie jest: „*usuwanie*", a powinno być: „*usuwaniem*".
- Na str. 16 dziwnie brzmi fraza „*specyficzną cechą* [...] *jest szczególnie*", a na str. 80 „*historia powstania techniki laserowej*" oraz „*pierwsze zagadnienie porusza problem*". Trochę niezręcznie brzmi też zdanie zaczynające się od "*Dzięki pierwszej części tego doświadczenia, jaką był eksperyment nr 1 […]*" na str. 360.
- Na str. 19 lepiej by brzmiało, gdyby wiązka laserowa była przesuwana „*względem materiału*" zamiast „*po materiale*".
- W pracy występują też błędy stylistyczne polegające na powtarzaniu tych samych słów w jednym lub dwóch kolejnych zdaniach. Np. na str. 22 w ostatnim zdaniu pierwszego akapitu rozdziału I.2.1 występuje powtórzenie słowa „*dziś*", a podobne błędy można znaleźć w ostatnim akapicie na str. 26, gdzie w dwóch kolejnych zdaniach użyto słowa „*również*", na górze str. 37, gdzie nadużywane jest słowo „*kluczowy/a*", na str. 322 (powtórzona fraza „*promieniowanie laserowe*"), czy na str. 364 (2 x „ *wybrano*").
- Na str. 33 opis Ryc. I-6 jest przed opisem Ryc. I-5.

- Przykłady błędów interpunkcyjnych: na str. 33 i 360 przecinki powinny być postawione przed całymi wyrażeniami przyimkowymi zawierającymi odpowiednio słowo „*które*" i "*których*", brak jest przecinka kończącego wtrącenie w ostatniej linijce na str. 38, rozpoczynającego wtrącenie w przedostatniej linijce na str. 61, za frazą „*Co więcej*" na str. 80 i 318, zamykającego wtrącenie „*Jak wspomniano wyżej*" na str. 324, przed słowem „*mają*" w 2. wersie na str. 350, czy przed wyrażeniem przyimkowym „*na podstawie których*" na str. 360. Z kolei niepoprawne jest stawianie przecinka w środku frazy „*mimo iż*" (str. 53, 81, 317), niepotrzebny jest też na str. 225 w 6. wersie od dołu, w środku wyrażenia „*co prawda*" na str. 246, na str. 302 w 4. wersie od dołu, po słowie farby na str. 352 oraz przed słowem „*niż*" na str. 363.
- W kilku miejscach można natknąć się na błędy logiczno-językowe zwane pleonazmami, np. fraza „*pozostałe resztki*" w 3 wersie na str. 43, czy „*najbardziej optymalnymi*" w pierwszym wersie na str. 337.
- Producentem lasera używanego przez IMP PAN jest firma Quantel a nie Novatel (str. 52).
- Ostatnie zdanie pierwszego akapitu na str. 60 ma niepoprawną konstrukcję gramatyczną m.in. z uwagi na niewłaściwe użycie imiesłowu współczesnego („*stosując*", „*wspomagając*") w odniesieniu do podmiotu („*laser*").
- Nazwa włoskiej firmy „El.En. S.p.A." w tekście występuje także jako „El.-En. Spa", „El. En. Spa" czy „El.En. SpA".
- Na wykresach II-33, II-34 i II-35 (str. 89-90) brakuje punktów pomiarowych dla poziomów mocy średniej wynoszących 40, 60 i 80%.
- Niepotrzebnie powtarzane są całe fragmenty tekstu np. w opisach metodologii badań efektów oczyszczania na str. 94 i 109. Również opisy metodologii badań barwometrycznych na str. 117 i 351-352 są prawie identyczne i z podobnym przypisem.
- Szerokie tabele, które nie zmieściłyby się na kartce w orientacji pionowej, są obrócone o 90° w prawo (tak jest w wersji drukowanej), co w przypadku tabel na dwóch lub więcej stronach lekko utrudnia ich analizę (przynajmniej mojej osobie). Bardziej naturalny byłby chyba obrót takich tabel o 90° w lewo (tak jak w wersji pdf) - wtedy nagłówek tabeli byłby po lewej stronie kartki, a kolumny tabeli „ciągnęłyby się" w bardziej naturalny sposób przez kolejne strony. Dodatkowo, wysokości wierszy w niektórych z tych tabel (np. Tab. II-29, II-31, II-33, II-35 itd.) mogłyby zostać zmniejszone - wtedy wszystkie dane dotyczące danego pomiaru mogłyby znaleźć się na jednej stronie. Również inne tabele zajmowałyby o wiele mniej miejsca gdyby zoptymalizować ich formatowanie (np. tabela II-28 po zwiększeniu szerokości ostatniej kolumny kosztem poprzednich). Staranniejsze formatowanie tabel pozwoliłoby też z pewnością poprawić ich czytelność (np. w Tab. II-63 symbole ✓ czy ✗ powinny występować w tej samej linii co wartości fluencji lub dotyczący ich komentarz), a także uniknąć przechodzenia jednej lub kilku literek z danego wyrazu do następnej linii. Natomiast po lekkim zmniejszeniu zdjęcia w Tab. II-64 na str. 312 podpis pod nim byłby na tej samej stronie, a nie na następnej. Czytelność danych poprawiłoby też wyłączenie opcji dzielenia wierszy między strony, zwłaszcza w przypadku tabel obróconych w prawo (por. wiersz w tabeli II-28 na str. 121-122).
- Mało naukowo brzmią frazy typu „*fluencja [...] doprowadziła*" (m.in. na str. 154), „*fluencja [...]może dawać nadzieję*" (str. 337), czy „*został oczyszczony trzema zestawami parametrów*" (str. 349).
- W języku oficjalnym (a taki powinien być używany w rozprawie doktorskiej) stosowanie angielskich słów z polskimi końcówkami fleksyjnymi jest z reguły klasyfikowane jako błąd stylistyczny. Występujące w pracy wielokrotnie, a zrozumiałe tylko dla wąskiej grupy specjalistów słowo „*waveform*" to predefiniowany przez producenta profil impulsu albo tryb pracy lasera, a upraszczając, zamiast np. „*waveform 0*" możnaby chyba pisać „*profil nr 0*" albo „*tryb nr 0*".

- Cyfry 999 za nawiasem na str. 154 to chyba efekt przypadkowego kilkukrotnego wciśnięcia klawisza z cyfrą 9?
- Na str. 236 występuje błąd ortograficzny wynikający z podobnego brzmienia końcówek -ą i -om: zamiast „*zmianą*" powinno być „*zmianom*".
- Przykłady literówek: zamiast „*fluencją*" powinno być „*fluencja*" (str. 321), zamiast „*ciągłąść*" powinno być „*ciągłość*" (str. 339), zamiast „*możiwości*" powinno być „*możliwości*" (str. 354), zamiast „*wzorku*" powinno być „*wzroku*" (str. 357), a zamiast „*ora*" powinno być „*oraz*" (str. 400).
- Informacje dotyczące sposobu i liczby powtórzeń skanowania w Tabelach II-64 i II-66 są bardzo niejasne.
- Białe kwadraciki na Ryc. II-52 (str. 335) ewidentnie się rozjechały, więc co najwyżej jeden z nich odpowiada obszarowi oczyszczonemu.
- Zdanie na str. 342: „*Ze względu na to, że pod warstwą pociemniałych lakierów znajdowała się jedna warstwa, której prawdopodobnym procent zachowania był większy i warty odsłonięcia [...]*" zawiera błąd składniowy, bo to przecież nie *procent* jest warty odsłonięcia, lecz *warstwa*. Zbędna jest też literka m przed tym procentem, no i samo słowo *procent* chyba lepiej zastąpić *stanem* lub *stopniem*.
- Występujący w 3 miejscach na str. 347 zapis „*z przed*" to błąd ortograficzny. Poprawna forma to „*sprzed*".
- Żółte przerywane ramki w Tab. II-76 w lewej i prawej kolumnie powinny obejmować ten sam obszar, ale tak się niestety nie dzieje praktycznie w każdym przypadku. Zdarza się też, że zdjęcia, które teoretycznie mamy ze sobą porównywać, wydrukowane są w różnej skali. Wszystko to utrudnia analizę wyników. Podobne „rozjechanie się" ramek i skal występuje w Tab. II-77 i II-78.
- W tytule Tab. II-78 powinna być chyba wymieniona ściana północna, a nie wschodnia.
- Albo coś wycięto, albo nie usunięto w trzecim zdaniu rozdziału II.3.5.

Powyższe błędy i niedociągnięcia nie uniemożliwiają zrozumienia czy analizy tekstu, choć czasami nieco to utrudniają - nie mają jednak znaczenia dla końcowej oceny rozprawy.

Ocena końcowa

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska „*Możliwości wykorzystania innowacyjnego lasera o bardzo dużej częstotliwości powtarzania pulsów z rotacją wiązki w konserwacji polichromowanych i werniksowanych obiektów dziedzictwa kulturowego*" obejmuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Autorka wykazała w niej ogólną wiedzę teoretyczną dotyczącą dyscypliny naukowej Sztuki Plastyczne i Konserwacja Dzieł Sztuki oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Uznaję więc rozprawę za spełniającą wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024 poz. 1571 z późniejszymi zmianami). Na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Sztuki Plastyczne i Konserwacja Dzieł Sztuki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o dopuszczenie mgr Anny Faron do dalszych etapów postępowania, w tym publicznej obrony rozprawy.

Jendrzejewski

.....

Rafał Jendrzejewski