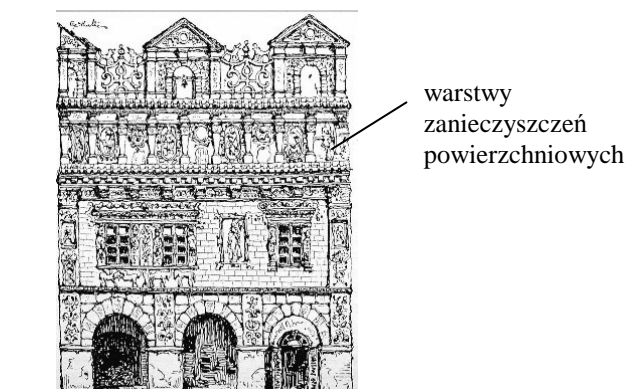


Rozdział X KONSERWACJA POWIERZCHNI ZABYTKÓW

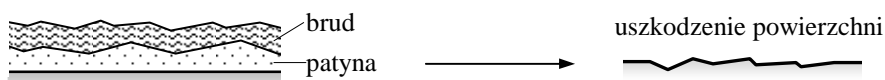
Działanie wilgoci, a głównie rozpuszczonych w niej zanieczyszczeń stanowi główną przyczynę zniszczeń powierzchni. Unoszone w powietrzu sadze, pyły osadzają się najpierw na powierzchni zabytku powodując ich zaciemnienie a dalej wywołują destrukcję warstw powierzchniowych. Destrukcje te wywołuje migrujący w sieci kapilar tzw. kwaśny deszcz reagujący łatwo z materiałem powierzchni kapilar. Proces ten przebiega według schematu przedstawionego w rozdziałach V i VI.



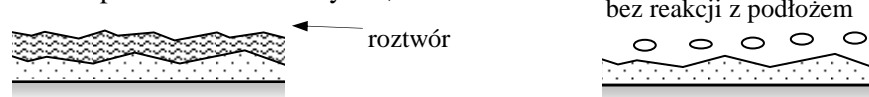
Rys. 1. Kazimierz Dolny - podcieniony dom rynkowy.

Pierwszym zabiegiem konserwatorskim jest czyszczenie powierzchni tj. odślanianie jej spod zaskorupiałych często warstw zanieczyszczeń. Stosuje się tu następujące techniki:

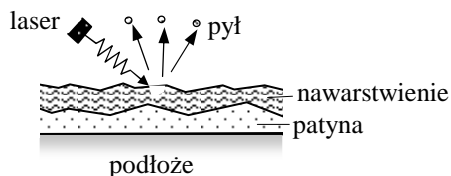
1. mechaniczne usunięcie np. piaskowanie,



2. środki powierzchniowo czynne,



- . wykorzystanie energii optycznej (lasera) do czyszczenia powierzchni.



Pierwsza z tych technik jest powszechnie stosowana, niestety często z niekorzystnym efektem dla powierzchni zabytku. Przyczyną są tu zniszczenia wraz z warstwą zaskorupiających zanieczyszczeń również patyny powierzchni.

Natomiast dobrze dobrane środki powierzchniowo-czynne rozpuszczające tylko zewnętrzną warstwę zanieczyszczeń są najkorzystniejszym rozwiązaniem. Niestety środek powierzchniowo-czynny najczęściej wnika przez patynę w głąb materiału. Po wnikięciu zaś oddziałuje z materiałem i uszkadza strukturę podłoża.

Przytoczonych wad nie posiada trzeci ze sposobów czyszczenia wykorzystujący najczystsza formę przekazu energii jaką jest skupiona wiązka światła laserowego. Koncentracja energii świetlnej lasera i precyzja przekazu ze źródła światła do konserwowanej powierzchni preferują tą technikę do czyszczenia powierzchni zabytków. Mankamentem zaś jest wysoka cena zabiegów konserwatorskich wykonanych tą metodą. Warto jednak mieć świadomość, że rozwój optoelektroniki może spowodować potanie zabiegów z udziałem urządzeń laserowych i szersze zastosowanie tego zabiegu do ratowania zabytków.

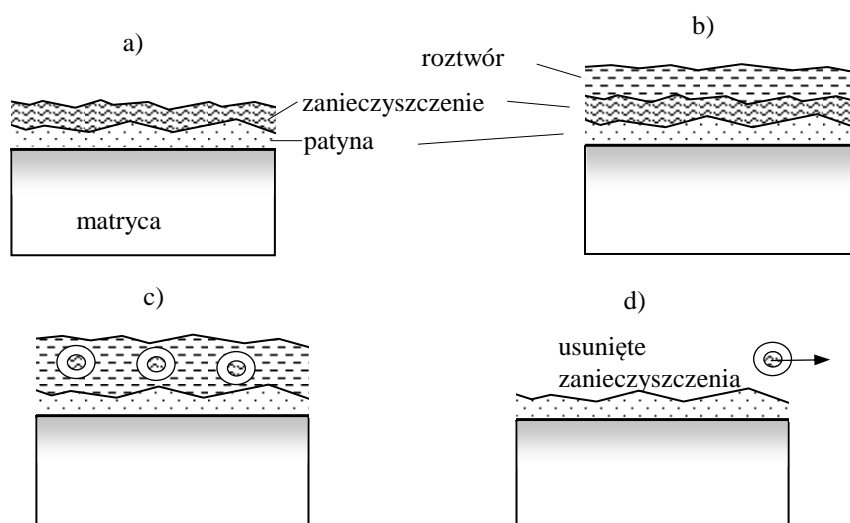
1. Klasyczne metody czyszczenia powierzchni

Dotychczas stosowane metody czyszczenia powierzchni polegały na zdrapywaniu, szlifowaniu i skuwaniu zanieczyszczeń. Z biegiem czasu wykorzystywano też piaskowanie. Wtedy w roztworze cieczy znajdowały się ziarna piasku tzw. ścierniwa. Regulacja ciśnienia i prędkości wypływu roztworu pozwalały tą metodą coraz lepiej czyścić powierzchnie zabytku. Używało się tu ścierniwa z łusek ryżowych, mielonej gumy, plastyku, pyłu marmurowego, a głównie piasku szlifierskiego.

Lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie obojętnego dla matrycy roztworu powierzchniowo-czynnego. Takie rozwiązanie pozwala najpierw rozdzielić cząstki zanieczyszczeń od patyny, a następnie usunąć je z czyszczonej powierzchni.

Niestety najczęściej roztwór z środkiem powierzchniowoczynnym nie jest obojętny dla patyny, a często niszczy podłoże wyprawy.

Kolejne etapy czyszczenia polegają na rozdzieleniu i otoczeniu cząstek zanieczyszczenia roztworem. Następnie roztwór jest usuwany z patyny stanowiącej zewnętrzną warstwę zabytkowej wyprawy.



Rys. 2. Kolejne etapy czyszczenia roztworem powierzchniowo czynnym

2. Zastosowanie lasera do konserwacji powierzchni

W ciągu ostatniego półwiecza laser zrobił jedną z najbardziej spektakularnych karier nie tylko w nauce, ale głównie w różnych technologiach wytwarzania, biologii czy medycynie. Wystarczy tu wspomnieć jego powszechne stosowanie w okulistyce. Czemu zawdzięcza on swoje sukcesy? Otóż główną zaletą lasera jest precyzyjny przekaz skondensowanej porcji energii ze źródła do miejsca jej wykorzystania. Jedną z możliwości zastosowań to precyzyjna ingerencja w siatkówkę oka. Inna to wywołanie przemian fazowych w określonym precyzyjnie obszarze. Takie działanie wykorzystuje się zarówno przy przygotowaniu powierzchni w mikroelektronice jak i w konserwacji zabytków.

W tym ostatnim przypadku też „przygotowujemy” powierzchnię zabytku do konserwacji usuwając precyzyjnie warstwę naleciałości i zanieczyszczeń. Jednak w odróżnieniu od klasycznych metod warstwę naleciałości usuwamy precyzyjnie nie naruszając patyny pokrywającej powierzchnię zabytku.

W stosunku do klasycznych rozwiązań laserem usuwamy precyzyjnie każdą z warstw zanieczyszczeń. Jeszcze ważniejsze jest zastosowanie światła lasera do odsłaniania kolejnych warstw kryjących. Najczęściej są to np. późniejsze retusze uzupełnienia. Tu zastosowanie technik laserowych nie jest do końca wykorzystane.

Własności lasera

Pomysł wykorzystania promieniowania laserowego, czyli kwantów światła do czyszczenia z powierzchni optycznie absorbującej pochodzi od Artura Schawłowa, jednego z twórców lasera. W naturalny sposób metoda ta znalazła również zastosowanie w precyzyjnym czyszczeniu powierzchni zabytku.

Laser jest źródłem światła, uzyskanym z emisji wymuszonej. Otrzymana z lasera wiązka światła jest prawie idealnie równoległa, monochromatyczna i spójna. Zaś światło otrzymane z tej wiązki ma bardzo dużą jasność, moc i gęstość energii. Te własności decydują o niezwykłych zastosowaniach lasera.

W zastosowaniach spotykamy lasery półprzewodnikowe, cieczowe i gazowe. W laserze półprzewodnikowym akcja odbywa się w ciele stałym np. w kryształach rubinu domieszkowanym jonami chromu. Ten typ lasera używany jest do obróbki powierzchni, a w tym prac konserwatorskich. W laserze cieczowym substancją w której wzbudzana jest akcja lasera są cząstki organiczne rozpuszczone w cieczy. Natomiast w laserze gazowym medium roboczym jest mieszanina gazów szlachetnych, których wzbudzenie odbywa się w wyniku zderzeń między atomami gazów, które są wymuszone przepływem prądu przez zjonizowany gaz.

W trakcie korzystania z lasera do obróbki powierzchni istotnym jest sposób i ilość promieniowania, które się zaadsorbuje w nawarstwieniach powierzchni. Wielkość ta jest głównie zależna od długości fali świetlnej wygenerowanej przez laser. Ponadto istotna jest porcja energii wysłanej promieniem lasera na czyszczoną powierzchnię.

W wyniku zaadsorbowania przez nawarstwienie światła, a dalej energii nastąpi lokalny wzrost temperatury materiału i dalsze wnikanie fali cieplnej do jej wnętrza. Następuje teraz nierównomierne ogrzewanie wywołujące dystorsyjne stany naprężeń i odkształceń. W szczególności może lokalnie dojść do zniszczenia struktury nawarstwień zabytku. Z drugiej strony lokalny wzrost temperatury może doprowadzić do stopienia się warstwy, przemian fazowych a nawet reakcji chemicznych. Zespół tych zjawisk decyduje o złożoności procesów wywołanych światłem lasera na powierzchni zabytku.

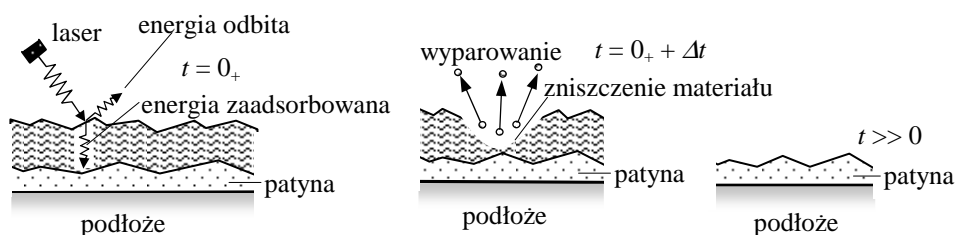
Okazało się jednak, iż laser rubinowy pozwala dosyć łatwo impulsami świetlnymi zniszczyć ciemne, zaskorupiałe nawarstwienia na kamieniach (marmur, piaskowiec). Przyczyną jest tu ciemne nawarstwienie, które lokalnie adsorbuje światło lasera nawet do 90%. W przeciwieństwie od ciemnego nawarstwienia jasna powierzchnia kamienia absorbuje tylko do 20% przekazywanej światłem energii. W konsekwencji zostaje gwałtownie ogrzana lokalnie warstwa zanieczyszczeń, dochodzi do jej ekspansji w ciągu bardzo krótkiego czasu rzędu 10^{-8} s. i odspojenia od warstwy patyny.

Omówiony proces zniszczenia nawarstwień wymaga dostosowania długości fali świetlnej oraz gęstości energii niesionej przez światło w taki sposób, aby proces zachodził tylko lokalnie w nawarstwieciu, a nie niszczył patyny a tym bardziej podłoża.

Używane obecnie lasery rubinowe do obróbki powierzchni emitują pole elektromagnetyczne o różnych długościach fal od $100 \cdot 10^{-9}$ do $10 \cdot 10^{-6}$ m.

Ablacja nawarstwień powierzchni zabytku

Działanie promieniowania lasera na powierzchnię nawarstwień powoduje przemianę podobną do ablacji, czyli przejścia materiału z fazy stałej do gazowej.



Rys. 3. Ablacja nawarstwień powierzchni

Istotnie, w trakcie absorpcji promieniowania laserowego dochodzi do lokalnego przejścia dużych porcji energii. W szczególności energia elektromagnetyczna niesiona wiązką światła zamienia się głównie na energię cieplną i mechaniczną wywołującą dystorsje i zniszczenia materiału. Ponadto dochodzi też do przemiany w energię elektryczną i reakcji chemicznych. Proces zachodzi lokalnie w warstwie oraz w tak krótkim okresie czasu, iż materiał z fazy stałej zostaje odparowany do otoczenia w formie mieszaniny gazów, cząstek fazy stałej, jonów i in. Temperatura w jakiej proces ten zachodzi jest rzędu kilku tysięcy stopni Kelvina.

Widzimy więc, że główną zaletą stosowania lasera do czyszczenia powierzchni jest zlokalizowany obszar działania, co pozwala zniszczyć zanieczyszczenia bez naruszenia patyny zabytku.

Zastosowanie lasera do usuwania nawarstwień zabytku wymaga w pierwszej kolejności znalezienia stosownej długości fali promieniowania świetlnego emitowanego przez laser. Wybór powinien być taki, aby przy wybranej długości fali promieniowanie to było prawie wyłącznie absorbowane przez warstwę zanieczyszczeń, czyli było dokładnie zlokalizowane.

Kolejne decyzje wymagają określenia energii pojedynczego impulsu laserowego i czasu jego działania, następnie określamy średnicę wiązki światła

laserowego rzędu kilku milimetrów oraz częstotliwość wywoływania impulsów światła laserowego. Ustalanie wartości wyszczególnionych wielkości odbywa się doświadczalnie w laboratorium.

Perspektywy zastosowania techniki laserowej w konserwacji

Zaletą laserowego czyszczenia powierzchni jest głównie nieniszczący przekaz energii światłem lasera do powierzchni zanieczyszczenia. Natomiast największą zaletą jest precyzja wykonywania zabiegów konserwatorskich, niewyobrażalna przy stosowaniu metod tradycyjnych. Lokalność usuwania materiału preferuje tą metodę do usuwania nawarstwień z dzieł sztuki malarskiej, malowideł na ścianach zabytków i renowacji przedmiotów zabytkowych o delikatnej budowie i strukturze.

Warto też zwrócić uwagę, że emitowana monochromatyczna fala świetlna jest w stanie „odróżnić” zanieczyszczenia od patyny powierzchni zabytku. To „odróżnienie” wynika z różnicy absorpcji promieniowania świetlnego przez te dwa różne materiały. Na tej zasadzie zbudowana jest skuteczność i precyzja zabiegów światłem laserowym. Możliwe są w tej technice odspajania warstw o praktycznie dowolnej grubości, co w zabiegach konserwatorskich jest wymogiem podstawowym. Można też badać kolejne warstwy malowideł, nie ingerując w pozostałe. Takie własności i możliwości lasera są podstawowym argumentem za stosowaniem lasera w konserwacji powierzchni zabytków.

Należy sądzić, iż rozwój technologii laserowych doprowadzi przez obniżkę kosztów lasera i urządzeń towarzyszących do powszechności zastosowania tej techniki w pracach konserwatorskich wymagających dużej precyzji. Do takiego stwierdzenia upoważnia burzliwy rozwój optoelektroniki. Nie bez znaczenia jest też zakres prac konserwatorskich, przy renowacji cienkich powłok malarskich, które mogą być wykonywane tylko z użyciem tej metody ratowania zabytków.

Literatura

- [1] KOSS A., MARCZAK J.: Czyszczenie laserem wybranych powierzchni kamiennych Grobu Nieznanego Żołnierza w Warszawie, *Ochrona Zabytków*, 1 (204), 1999, s. 253-262
- [2] MARCZAK J.: Zagadnienia wykorzystania ablacji laserowej w usuwaniu wtórnych nawarstwień z powierzchni dzieł sztuki i obiektów zabytkowych w architekturze, *Ochrona Zabytków*, 3, 2001, s. 233-252
- [3] QUANG HO- KIM i in.: Zaproszenie do fizyki współczesnej, Wyd. Stowarzyszenia Symetria, Poznań 1995