

# Nowe technologie

## Możliwości wykorzystania laserów w konserwacji dzieł sztuki i zabytków

Specyficzne właściwości promieniowania laserowego, rosnące możliwości techniczne różnych systemów laserowych, przy równoczesnym zmniejszaniu ich kosztów i rozmiarów, doprowadziły w ostatnim dziesięcioleciu do wzrostu zainteresowań badaniami nad zastosowaniem laserów w dziedzinie konserwacji dzieł sztuki. Dziś wiele różnych systemów laserowych wykorzystuje się przede wszystkim do czyszczenia dzieł sztuki i zabytkowych obiektów architektonicznych (przeszło 90% zastosowań), a badania nad wykorzystaniem laserów do oddziaływania na różne materiały są prowadzone na całym świecie.



▲ Oczyszczony fragment gipsowej kopii antycznej gemmy.

### CZYSZCZENIE LASEREM

Stosuje się do usuwania:

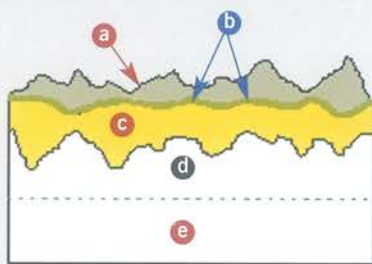
- ▶ cienkich i grubszych nawarstwień o charakterze naskorupień z marmuru, wapienia, piaskowca, terakoty, gipsu i alabastru,
- ▶ przemalowań z jednobarwnych tkanin dekoracyjnych i ciemnych warstw siarczków srebra ze srebrnych nici z pozłotą,
- ▶ pleśni i grzybów z tkanin, skór, pergaminu i papieru,
- ▶ nawarstwień w postaci zwapniałych osadów z wyrobów ołowianych i ceramicznych z gliny,
- ▶ produktów korozji z brązu, aluminium, żelaza i licznych stopów metalowych,
- ▶ warstw naskorupień z witraży,
- ▶ graffiti z powierzchni zabytkowych,
- ▶ warstw zanieczyszczeń pyłowych i produktów korozji, zwłaszcza materiałów kamiennych z powierzchni budowli historycznych,
- ▶ warstw werniksu, spoiw i przemalowań z warstw malarskich,
- ▶ warstw zanieczyszczających z kości i kości słoniowej, a nawet umożliwia usunięcie plam i nalotów z tak wrażliwych materiałów jak ptasie pióra.

**S**zczególne miejsce w konserwacji zajmują zabiegi czyszczenia oryginalnych powierzchni z wtórnych nawarstwień. Za pomocą impulsowego promieniowania laserowego można precyzyjnie i wybiórczo usuwać różne nawarstwienia, począwszy od czarnych siarczków i nalotów, ze srebrnych nici z pozłotą oraz korozyjnych nalotów z powierzchni obiektów z żelaza i aluminium, aż do obiektów wykonanych z brązu bądź też podłoża mineralnych jak kamień czy ceramika.

We wszystkich tych przypadkach wymogiem jest, aby usunięcie zanieczyszczającej warstwy następowało bez uszkodzenia odsłanianego podłoża. Brak uszkodzeń jest jednak tutaj pojęciem nieostrym i trudnym do zdefiniowania. Może obejmować delikatne, ledwie zauważalne zmiany barwy lub takie zmiany fotochemiczne, które z początku niewidoczne, dopiero w przyszłości mogą ujawnić swoje destrukcyjne działanie, zmieniając barwę lub zmniejszając trwałość konserwowanego obiektu. Stwierdzenie braku bądź wystąpienia uszkodzeń zależy tu zatem od oceny konserwatora; uwarunkowane jest jego doświadczeniem i wiedzą. Koniecznością staje się zrewidowanie dotychczasowego pojęcia braku uszkodzeń, ażeby obejmowało ono wszystkie aspekty ewentualnych zagrożeń, jakie mogą pojawić się w efekcie stosowania techniki laserowej.

Dobór odpowiedniej długości fali promieniowania najbardziej efektywnie absorbowanej przez dane nawarstwienie oraz wielkości napromienienia powierzchni obiektu zwiększa precyzję usuwania wybranych warstw zanieczyszczeń lub wtórnych nawarstwień, pozostawiając nienaruszone podłoża i patyny, bez względu na ich różnorodny charakter. Daje to konserwatorom wiele wspaniałych możliwości, jak zwiększoną kontrolę tempa usuwania nawarstwień wtórnych i zanieczyszczeń powierzchniowych. Możliwe jest także ogniskowanie wiązki lasera do pojedynczych mikrometrów, jak również jej równomierne rozproszenie dla utworzenia plamki oddziaływania użytecznej do operacji na większych fragmentach powierzchni, które powinny być jednolicie traktowane.

Konsekwencją jest konieczność precyzyjnego dopasowania lasera do obiektu, czyli podłoża i nawarstwienia (zanieczyszczenia wymagającego usunięcia). Najczęściej odbywa się to już na etapie budowy urządzenia. Oznacza to także, że ta jedyna w swoim rodzaju technologia może być adaptowana do bardzo skomplikowanych przypadków precyzyjnego usuwania nawarstwień z większych partii powierzchni, jak również pojedynczych cząsteczek o rozmiarach mniejszych od mikrometra.



- ▲ Ilustracja nawarstwień obcych na podłożu wapiennym:
- a) nawarstwienia zewnętrzne, patyna sztuczna;
  - b) pierwotna powierzchnia kamienia, patyna naturalna;
  - c) strefa nawarstwień wewnętrznych;
  - d) strefa dezintegracji;
  - e) zdrowy wapień.



- ▲ Ilustracja warstw malarskich na podłożu metalowym:
- a) olej lniany, szelak (żywica zwierzęca lub organiczna);
  - b) biel otowiana w spoiwie białkowym;
  - c) srebro, miedź, stop miedzi i srebra.



- ▲ Ilustracja tworzenia się rdzy na podłożach metalowych.



- ▲ Ilustracja nawarstwień obcych, werniksu i warstw malarskich – przekrój.

Usuwanie materiału z powierzchni w wyniku oddziaływania krótkich impulsów laserowych o odpowiedniej gęstości energii (napromienieniu) jest często nazywane impulsową ablacją laserową lub krócej – ablacją.

Usuwanie (oderwanie) z powierzchni dzieł sztuki obcych nawarstwień, werniksów czy produktów korozji przy użyciu lasera ograniczone jest do wybranego obszaru i, w odróżnieniu od niektórych metod chemicznych, pozostaje bez wpływu na sąsiadujące fragmenty substancji obiektu. Nie pozostawia również residuum żadnych substancji mogących w przyszłości stanowić zagrożenie przez fakt przedłużonego oddziaływania z obiektem.

Na rysunkach przedstawiono warstwy i nawarstwienia występujące na powierzchni wapienia, metalu i płótna pokryte warstwami malarskimi.

## CECHY TECHNIKI LASEROWEJ

● **Bezkontaktowa.** Energię dostarcza się w postaci światła. Energia ta uruchamia zjawiska ablacji, pozwalające na precyzyjne zabiegi usuwania nawarstwień zalegających na obiektach zabytkowych.

● **Bezpośrednio kontrolowana.** Przez dobór odpowiedniej gęstości energii wiązki laserowej oraz częstotliwość repetycji impulsu zapewnia się usuwanie nawarstwień w sposób precyzyjny, małymi porcjami.

● **Selektywna.** Warunkiem działania światła lasera na podłożu jest zaistnienie zjawiska absorpcji światła. W przypadku całkowitego odbicia bądź całkowitej transmisji impulsu efekt oddziaływania jest znikomy. Znaczne różnice współczynników pochłaniania promieniowania laserowego nawarstwienia i podłoża decydują o selektywnym oddziaływaniu na określony obszar nawarstwień. W praktyce wiązka światła laserowego jest w stanie dokonać rozróżnienia pomiędzy nawarstwieniem a podłożem. Pozwala to konserwatorowi wyselekcjonować dokładnie to, co usuwane jest z powierzchni obiektu. Usuwanie nawarstwień przebiega wielostopniowo, bez naruszania podłoża.

● **O natychmiastowym sprzężeniu zwrotnym.** Sprężenie zwrotne akcji lasera z sygnałem z powierzchni czyszczonego obiektu realizowane jest przez wysyłanie niedestrukcyjnego wstępnego impulsu małej mocy, który automatycznie analizuje widmo emisyjne powstającej plazmy. Na podstawie informacji o stanie czyszczonej powierzchni podejmowana jest decyzja o uruchomieniu właściwego oddziaływania. Automatyzuje to proces, wykluczając jakiegokolwiek ryzyko uszkodzenia obiektu. Ważnymi podstawowymi jest przebadanie podłoża pod względem jednorodności i znajomość charakterystyk widma wzorcowego.

● **Lokalna.** Laser usuwa nawarstwienia tylko w tym miejscu, na które skierowana jest wiązka. Istnieje możliwość regulacji średnicy wiązki od setnych części milimetra do kilkunastu milimetrów. Umożliwia



- ▲ U góry: chorągiew procesyjna (przed czyszczeniem) z przedstawieniem wniebowzięcia Matki Boskiej, własność Muzeum Narodowego w Warszawie, wykonana na terenie Polski (XVII). Poniżej: fragment pola środkowego chorągwi po oczyszczeniu promieniami lasera i zabieg czyszczenia splotu nici metalowych promieniami lasera prowadzony na fragmencie chorągwi, powiększenie wycinka szaty Madonny z Dzieciątkiem.

to dostosowanie się do indywidualnych potrzeb, w ramach wykonywanych zabiegów konserwatorskich.

● **Komplementarna.** W praktyce konserwatorskiej istnieje wiele skomplikowanych obiektów o szczególnie złożonej budowie technologicznej i zróżnicowanej odporności na wodę i odczynniki chemiczne. Uniemożliwia to zastosowanie tradycyjnych technik usuwania nawarstwień. Zastosowanie techniki laserowej uzupełnia możliwości metod konwencjonalnych o selektywne, precyzyjne działania na takich obiektach.

W warsztacie konserwatora zastosowanie laserów do usuwania nawarstwień ma już swoje miejsce. Gama możliwości wykorzystania tej techniki nie ogranicza się tylko do zabiegów czyszczenia i usuwania z powierzchni nawarstwień i warstw. Coraz częściej stosujemy właściwości światła laserowego w różnych badaniach nieniszczących. W tym też zakresie rozwój fizyki i adaptowania jej osiągnięć w konserwacji dzieł sztuki i zabytków należy do przyszłości. ❖