

OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SPECKLI LASEROWYCH DO OKREŚLENIA ZMIAN GŁÓWNYCH SKŁADNIKÓW NAWARSTWIENIA PIA- SKOWCA PO DZIAŁANIU WIĄZKI LASERA ND:YAG

Iwona SZER*

* Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź,
e-mail: iwona_s@p.lodz.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu procentowego udziału pierwiastków znajdujących się w nawarstwieniu piaskowca po działaniu różnej ilości impulsów lasera Nd:YAG na średnie natężenie światła obrazu speckli laserowych.

Słowa kluczowe: fizyka budowli, promieniowanie laserowe

1. WPROWADZENIE

Piaskowiec jest materiałem z którego zbudowanych jest wiele obiektów zabytkowych. Na powierzchni piaskowca wraz z upływem czasu w wyniku działania zewnętrznych czynników atmosferycznych mogą tworzyć się osady, naloty i nawarstwienia powstające w wyniku krystalizacji związków. Powierzchnię mogą porastać także glony i mchy [1]. Obniżają one wartość zabytkową obiektu jak również powodują destrukcję samego kamienia.

Z tego powodu często prowadzone są prace mające pomóc konserwatorom w przywróceniu powierzchni wyglądu najbardziej zbliżonego do pierwotnego poprzez min. usunięcie zabrudzeń. Stosowane metody nie powinny zmieniać powierzchniowych i głębszych warstw kamienia. Jedną z metod jest zastosowanie promieniowania laserowego [2], [3], co powoduje konieczność poznania jego wpływu na powierzchnię niekiedy bardzo cennych obiektów. W Polsce i na świecie prowadzone są badania oceny skutków działania wiązki emitowanej przez min. laser Nd:YAG z powierzchnią piaskowca. W tym celu stosowane są metody badań: makroskopowe i mikroskopowe z użyciem np. skaningowego mikroskopu elektronowego [4], [5], [6]. Stan powierzchni po działaniu promieniowania laserowego bada się również z wykorzystaniem spektroskopii LIPS (laser induced plasma emission) [4], mikroanalizy rentgenowskiej

[5] określając procentową zawartość pierwiastków i metody akustycznej polegającej na pomiarze amplitudy sygnału dźwiękowego przy pomocy oscyloskopu [4].

Prowadzone były również badania z wykorzystaniem lasera Helowo – Neonowego jako urządzenia do oceny stanu powierzchni. Wiązkę lasera Nd:YAG skierowano w celu modyfikacji chropowatości na powierzchnię monokryształu ZnCdTe [7].

Badanie powierzchni przy użyciu lasera Helowo – Neonowego nie powoduje jej zniszczenia, co ma znaczenie zwłaszcza przy zabytkowych obiektach o dużej wartości artystycznej.

Celem pracy było znalezienie szybkiej metody nieinwazyjnej pozwalającej zdiagnozować powierzchnię po działaniu wiązki lasera Nd:YAG poprzez określenie zmian pierwiastków nawarstwienia. Do tego celu wykorzystano laser Helowo – Neonowy.

2. MATERIAŁ BADANY

Piaskowiec wykorzystany w badaniach jest wieku triasowego i pochodzi z rejonów Opoczna. Piaskowiec jest drobnodziarnisty o spoiwie krzemionkowym z domieszką spoiwa ilastego i związkami żelaza.

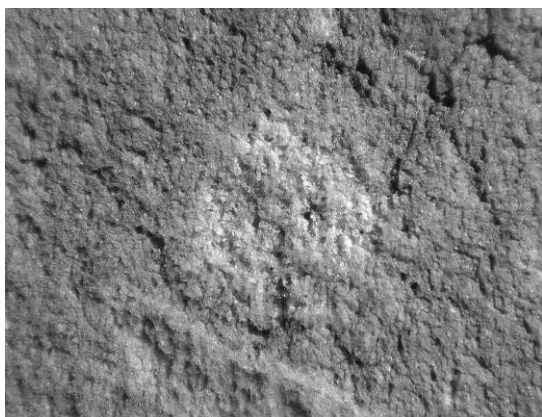
Spoiwo w piaskowcu może występować w ilościach mało znaczących lub może być go bardzo dużo całkowicie wypełniając przestrzeń pomiędzy ziarnami. Rodzaj spoiwa obecny w piaskowcu ma decydujący wpływ na barwę piaskowca jak również na barwę patyny - warstwy tworzącej się wraz z upływem czasu. Spoiwo wpływa również na trwałość i cechy fizyczno – mechaniczne piaskowca. Ilość spoiwa zawiera się w granicach od 4 % do 6 % [1]. Badany piaskowiec jest barwy żółtej. Ze względu na cechy wy-

trzymałościowe i fizyczne jest zaliczony do piaskowców średnio – twardych. Powierzchnia piaskowca pokryta była nawarstwieniami, które powstały w wyniku wieloletniego działania środowiska zewnętrznego.

3. PROCEDURA BADAŃ

3.1. Układ fotonowego naświetlania

Naświetlanie powierzchni piaskowca wykonano przy użyciu lasera neodymowego Nd:YAG, parametry wiązki: długości fali 1,06 μm , energia pojedynczego impulsu 500 mJ i czas trwania 10 ns. Wiązka laserowa skierowana była prostopadle na powierzchnię piaskowców. W badaniach powierzchnię poddano naświetlaniu od 1 do 12 impulsów wiązką zbieżną z płaszczyzną ogniskową położoną poniżej powierzchni próbki, rozogniskowanie równało się 20 mm. Na rysunku 1 przedstawiono przykładową powierzchnię poddaną działaniu 7 impulsów wiązki lasera Nd:YAG.



Rys. 1. Powierzchnia piaskowca po działaniu wiązki lasera Nd:YAG.

Fig. 1. The sandstone surface after Nd:YAG laser radiation.

3.2. Mikroanaliza rentgenowska – określenie składu chemicznego piaskowca

Skład chemiczny nawarstwień piaskowca określono za pomocą Mikroanalizatora Rentgenowskiego EDX z monokrystalicznym detektorem krzemowym aktywowanym litem, rozdzielność energetyczna wynosiła 133 eV, rozdzielczość przestrzenna 0,5 μm .

Działanie na powierzchni piaskowca zogniskowanej wiązki elektronów ze skaningowego mikroskopu elektronowego spowodowało emisję promieniowania X wzbudzonych pierwiastków wchodzących w skład badanej powierzchni. Detektor z analizatorem EDX umieszczony bezpośrednio nad powierzchnią rejestrował pełne spektrum promieniowania. Układy elektroniczne sortowały przychodzące promieniowanie względem jego energii - utworzono widmo energetyczne umożliwiające identyfikację pierwiastków.

Pomiar natężenia poszczególnych linii widma pozwolił określić w badanym obszarze powierzchni procentową zawartość znalezionych pierwiastków [8].

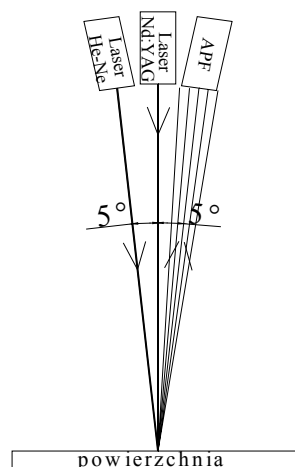
W pracy wykonano analizę jakościową i ilościową określając ilość udziału procentowego pierwiastków dla powierzchni po działaniu promieniowania emitowanego przez laser Nd:YAG.

3.3. Speckle laserowe - określenie parametrów obrazu

Speckle laserowe otrzymano przy użyciu wiązki emitowanej przez laser Helowo – Neonowy, długość fali 0,632 μm . Wiązka laserowa skierowana była pod kątem $\alpha = 5^\circ$ od płaszczyzny pionowej. Obrazy speckli powstały w wyniku odbicia spójnego światła lasera od chropowatej powierzchni piaskowca. W wyniku interferencji przesuniętych w fazie fal uzyskano prążki interferencyjne.

Obrazy speckli rejestrował cyfrowy aparat fotograficzny APF ustawiony w kierunku zwierciadlanego odbicia. W badaniach zastosowano czas naświetlania 1/10 s. Otrzymane obrazy zmian światła poddane zostały analizie. Przy pomocy programu komputerowego uzyskano następnie krzywe zależności natężenia światła w funkcji położenia punktu dla kolejnych linii obrazu speckli. Na ich podstawie wyznaczono średnie natężenia światła odbitego [9].

Analizę obrazów speckli laserowych prowadzono dla powierzchni przed i po działaniu różnej ilości impulsów wiązki lasera Nd:YAG. Schemat układu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat układu badawczego.

Fig. 2. Diagram of investigation system

4. WYNIKI

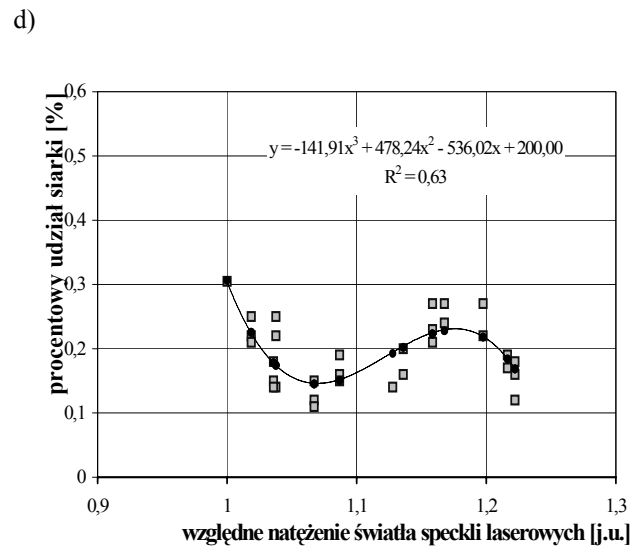
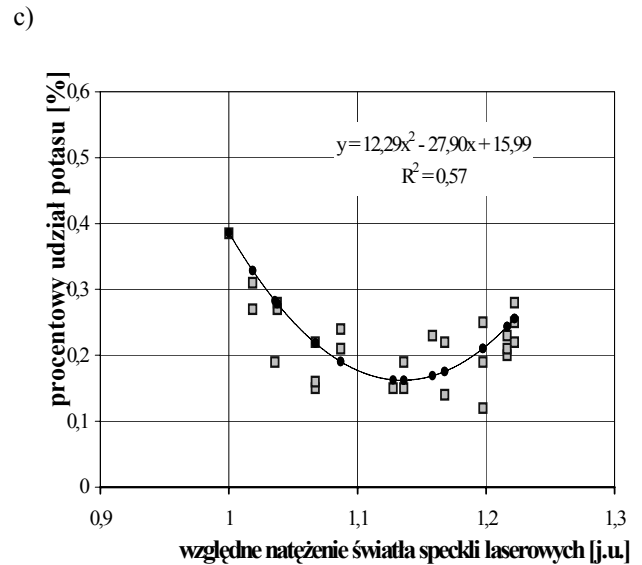
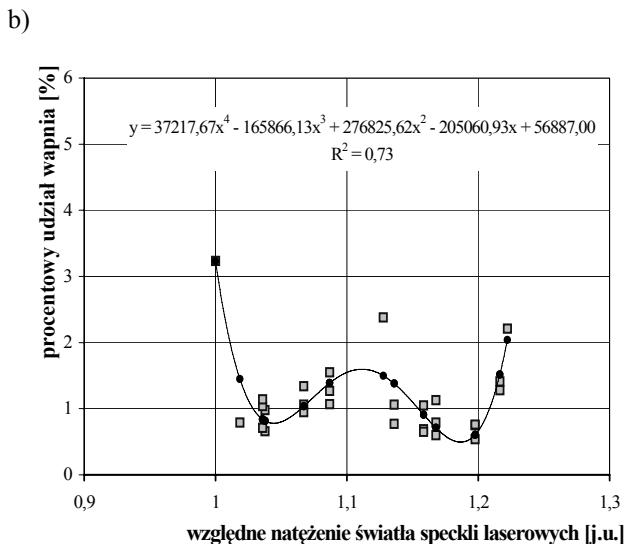
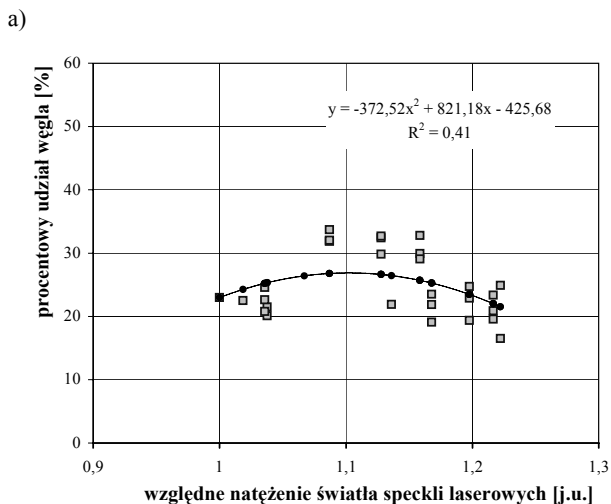
Metodą spektrometrii EDX określono skład nawarstwień: głównie zidentyfikowano węgiel, wapń, potas i siarkę. Promieniowanie lasera Nd:YAG spowodowało zmniejsze-

nie się pierwiastków nawarstwienia, a wielkość udziału procentowego wykazuje wahania zarówno pomiędzy poszczególnymi powierzchniami poddanymi od 1 do 12 impulsów lasera Nd:YAG jak również pomiędzy obszarami tej samej powierzchni [10].

Wiązka lasera Nd:YAG spowodowała również zmianę parametrów obrazów speckli laserowych a w szczególności średniego natężenia światła. Wartości po działaniu promieniowania są wyższe w stosunku do wartości jakich uzyskano przed działaniem promieniowania [11].

Wiązka lasera Nd:YAG wpływa zarówno na wielkość udziału procentowego pierwiastków nawarstwienia jak również na wartości średniego natężenia światła speckli laserowych, a jej wpływ jest zależny od ilości impulsów.

Na rysunku 3 przedstawiono zależności udziału procentowego składników nawarstwienia w funkcji względnego średniego natężenia światła speckli laserowych po działaniu różnej ilości impulsów wiązki lasera Nd:YAG.



Rys 3. Zależność procentowego udziału składników nawarstwienia a) węgla, b) wapnia, c) potasu, d) siarki po działaniu wiązki lasera od względnego średniego natężenia speckli laserowych.

Fig. 3. Dependence between the percentage of the components layers a) carbon, b) calcium, c) potassium, d) sulfur, after laser radiation and the relative mean light intensity laser speckles.

Analizując otrzymane zależności można zauważyć wpływ procentowego udziału pierwiastków: węgla, wapnia, potasu i siarki znajdujących się w nawarstwieniu piaskowca po działaniu od 1 do 12 impulsów wiązki emitowanej przez laser Nd:YAG na zmianę wielkości względnego średniego natężenia światła speckli laserowych. Zaproponowane zależności pomiędzy procentowym udziałem węgla (Rys. 3. a.), potasu (Rys. 3. c.), a względnym średnim natężeniem światła są funkcjami drugiego stopnia. Zależność otrzymana dla procentowego udziału siarki (Rys. 3. d.) jest opisa-

na funkcją trzeciego stopnia, natomiast dla wapnia (Rys. 3. b.) jest funkcją czwartego stopnia.

Korzystając w wyżej przedstawionych zależnościach można powiedzieć, że analiza względnego parametru rozkładu natężenia speckli laserowych - średniego natężenia światła może być pomocna do określenia zmian udziału procentowego ilości pierwiastków nawarstwienia przy różnym oddziaływaniu wiązki laserowej.

Otrzymane zależności mogą więc pomóc określić stan powierzchni po działaniu różnej ilości impulsów wiązki lasera Nd:YAG.

5. WNIOSKI

1. Przedstawione wyniki wskazują, że istnieje zależność pomiędzy procentowym udziałem głównych pierwiastków nawarstwienia po działaniu wiązki lasera Nd:YAG a względnym średnim natężeniem światła speckli laserowych.

2. Poprzez analizę średniego natężenia światła speckli laserowych istnieje możliwość diagnozowania zmian ilości węgla, wapnia, potasu i siarki znajdujących się w nawarstwieniu piaskowca po działaniu od 1 do 12 impulsów wiązki lasera Nd:YAG.

3. Metoda z wykorzystaniem wiązki lasera Helowo – Neonowego nie powoduje zniszczeń powierzchni piaskowca, może być więc stosowana w przypadku zabytkowych obiektów.

EVALUATION OF THE USE OF LASER SPECKLES FOR DETERMINING CHANGES OF MAIN COMPONENTS OF LAYERS AFTER ND:YAG LASER RADIATION

Summary: The paper presents the influence of percentage of the components layers after effect of laser radiation treated with different number of pulses Nd: YAG on the relative mean light intensity laser speckles.

Literatura

[1] Jarmontowicz A., Krzywobłocka – Laurów R., Lehman J. *Piaskowiec w zabytkowej architekturze i rzeźbie*. Towarzystwo Opieki nad Zabytkami, Warszawa 1994

[2] Klemm P., Klemm A. J., Roźniakowski K. *Laserowe czyszczenie warstwy wierzchniej wybranych materiałów*, Materiały Konferencyjne VIII Konferencji Naukowo-technicznej „Fizyka budowli w teorii i praktyce”, Łódź 2001

[3] Marczak J. *Odnawianie dzieł sztuki za pomocą promieniowania laserowego*, Przegląd Mechaniczny, Nr 15-16/1997

[4] Jankowska M., Śliwiński G. *Spectroscopic and surface analysis of the laser ablation of crust on historic sandstone elements radiation*, Physics and Chemistry 68, 2003

[5] Jasińska M., Śliwiński G. *Observation of the Laser Cleaning Effect on the Gotland Sandstone Elemental Composition*, Hindawi Publishing Corporation, Laser Chemistry, 2006

[6] Svobodová J., Slovák M., Příkryl R., Siegl P. *Effect of low and high fluence on experimentally laser-cleaned sandstone and matstone tablets in dry and wet conditions* Journal of Cultural Heritage 4, 2003

[7] Roźniakowski K. *Zastosowanie promieniowania laserowego w badaniach i modyfikacji właściwości materiałów budowlanych*, Drukarnia Wydawnictw Naukowych, Warszawa – Łódź 2001

[8] Szummer A (praca zbiorowa): „Podstawy ilościowej mikroanalizy rentgenowskiej”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976

[9] Klemm P. (praca zbiorowa), *Fizyka materiałów i konstrukcji budowlanych – Zastosowanie laserów w badaniach przemian fazowych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2001

[10] Szer I. Klemm P. *Wpływ działania wiązki światła laserowego na warstwę wierzchnią piaskowca*, Fizyka budowli w teorii i praktyce, tom II, Łódź 2007

[11] Szer I. Klemm P. *Wpływ działania wiązki lasera Nd:YAG na parametry obrazu speckli laserowych uzyskanych dla powierzchni piaskowca*, Fizyka budowli w teorii i praktyce, tom IV, Łódź 2009