

WPLYW DZIAŁANIA WIĄZKI LASERA Nd:YAG NA PARAMETRY OBRAZU SPECKLI LASEROWYCH OTRZYMANÝCH DLA POWIERZCHNI PIASKOWCA

Iwona SZER*, Piotr KLEMM**

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

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

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu działania wiązki lasera Nd:YAG o długości fali 1060 nm, energii pojedynczego impulsu 500 mJ i czasie trwania 10 ns na parametry rozkładu natężenia speckli laserowych uzyskanych w wyniku odbicia spóvnego światła wiązki lasera He – Ne od warstwy wierzchniej piaskowca.

Słowa kluczowe: fizyka budowli, promieniowanie laserowe.

1. WPROWADZENIE

Rosnące zanieczyszczenie środowiska wpływające destrukcyjnie na powierzchnię piaskowców powoduje, że prowadzone są liczne prace badawcze mające na celu pomóc konserwatorom w utrzymaniu najbardziej zbliżonego do pierwotnego wyglądu obiektów. W tym celu konserwatorzy zabytków coraz chętniej wykorzystują wiązkę światła lasera. Na samym początku stosowane były lasery rubinowe [1], obecnie najczęściej używane są lasery Nd:YAG emitujące wiązkę laserową o długościach fal 355 nm, 532 nm i 1064 nm [2,3,4]. Prowadzone są również prace badawcze mające na celu wykorzystanie laserów KrF o długości fali 248 nm, XeCl Excimer – 355 nm [3], oraz Er:YAG o dł. fali 2940 nm [4]. Oddziaływanie promieniowania laserowego z powierzchnią kamienną jest procesem bardzo złożonym, dodatkowo utrudnionym ze względu na skomplikowaną strukturę geometryczną powierzchni znacznie ograniczającą możliwości badawcze. Poznanie wpływu działania promieniowania lasera jest konieczne ze względu na prawidłowe przeprowadzenie czynności konserwatorskich, zwłaszcza jeżeli mamy do czynienia z bezcenną powierzchnią obiektów zabytkowych. Z tego powodu właściwe jest prowadzenie badań nie niszczących powierzchni służących poznaniu skutków działania promieniowania laserowego

o różnym stopniu oddziaływania. Podejmowane były próby wykorzystania min. lasera Helowo – Neonowego do badań skutków działania wiązki emitowanej przez laser rubinowy i Nd:YAG na powierzchnie stali krzemowej St3SX pokrytą warstwą elektroizolacyjną, cegły, żelaza Armco, srebra, stopu tytanu OT4-1 pokrytego skorodowaną warstwą [5,6,7,8]. W niniejszej pracy również w celach diagnostycznych wykorzystano wiązkę lasera Helowo – Neonowego, a następnie poddano analizie parametry obrazów powstałych w wyniku jej odbicia. Celem tej pracy była, więc ocena wpływu działania lasera Nd:YAG na parametry rozkładu natężenia speckli laserowych.

2. SPECKLE LASEROWE

Speckle laserowe powstają na skutek odbicia spóvnego światła lasera Helowo - Neonowego od chropowatej powierzchni. W wyniku interferencji przesuniętych względem siebie w fazie fal odbitych od różnych punktów powierzchni otrzymujemy prążki interferencyjne [9]. Powstałe w ten sposób obrazy zmian światła odbitego zostały następnie poddane analizie. Za pomocą programu komputerowego uzyskano krzywe zależności natężenia światła od położenia punktu dla kolejnych z linii obrazu speckli. Na ich podstawie analizowano parametry: średnie natężenia światła odbitego i kontrast optyczny. Średnie natężenie światła odbitego w jednostkach względnych obliczono dla wszystkich zarejestrowanych wykresów natężeń, wg wzoru [9]:

$$I_{sr} = \frac{1}{L} \sum_L \frac{1}{d} \int_o^d xI(x)dx \quad (1)$$

gdzie: L – liczba wszystkich linii obrazu,
 d – długość linii obrazu.

Kontrast optyczny mówiący o różnicy jasności kolorów poszczególnych elementów obrazu wyznaczono wg wzoru [9].

W przypadku speckli jest to znormalizowane odchylenie standardowe zmian natężenia speckli.

$$V = \frac{[\langle I^2(r') \rangle - \langle I(r') \rangle^2]^{1/2}}{\langle I(r') \rangle} \quad (2)$$

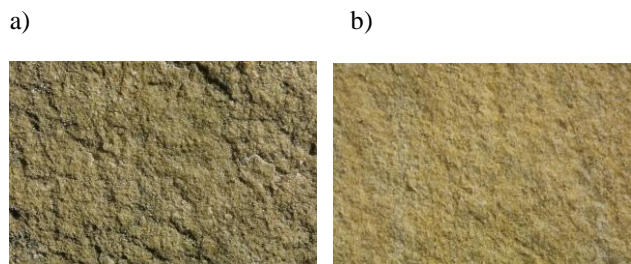
gdzie: $\langle I(r') \rangle$ – wartość średnia rozkładów natężenia speckli w płaszczyźnie obserwacji.

3.MATERIAŁ BADANY

W badaniach wykorzystano piaskowiec wieku triasowego pochodzący z rejonu Opoczna. Badany piaskowiec jest drobnoziarnisty o spoiwie krzemionkowym z domieszką spoiwa ilastego i związkami żelaza, ilość spoiwa waha się od 4 % do 6%. Piaskowiec został zaliczony do skał średnio - twardych, które charakteryzuje wytrzymałość na ściskanie $\geq 50\text{Mpa}$, ścieralność $\leq 1,0\text{ cm}$, gęstość objętościowa $2,1\text{ g/cm}^3 - 2,5\text{ g/cm}^3$, porowatość $\leq 20\%$, nasiąkliwość wagowa $\leq 10\%$ [10].

Powierzchnia piaskowca pokryta jest nawarstwieniami powstałymi w wyniku wieloletniego oddziaływania zewnętrznych czynników atmosferycznych.

Celem porównania powierzchni zanieczyszczonej i czystej przedstawiono poniżej fotografie badanych powierzchni wykonane metodą makrofotografii.



Rys. 1. Fotografia a) zanieczyszczonej i b) czystej powierzchni piaskowca.

Fig. 1. The photos a) of the polluted and b) clear sandstone surface.

4.PROCEDURA BADAŃ

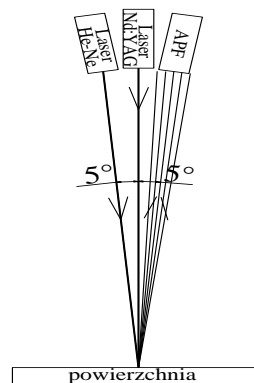
4.1.Układ fotonowego naświetlania.

W badaniach użyto lasera neodymowego Nd:YAG o następujących parametrach wiązki: długość fali $\lambda=1,06\text{ }\mu\text{m}$, energia pojedynczego impulsu 500 mJ . Wiązka laserowa skierowana była prostopadłe na powierzchnię badanych próbek, czas trwania impulsów $\tau=10\text{ ns}$. Powierzchnię naświetlano różną ilością impulsów wiązką zbieżną z płaszczyzną ogniskową położoną poniżej powierzchni próbki, rozogniskowanie równało się 20 mm .

4.2. Speckle laserowe - określenie parametrów obrazu

Analizę obrazów speckli laserowych prowadzono dla powierzchni przed i po działaniu różnej ilości impulsów wiązki lasera Nd:YAG. Wiązka lasera helowo – neonowego (He-Ne) o długości fali 632 nm skierowana była pod kątem $\alpha=5^\circ$ (od płaszczyzny pionowej). Obraz zmian światła odbitego rejestrował cyfrowy aparat fotograficzny APF ustawiony w kierunku zwierciadlanego odbicia. W badaniach zastosowano czas naświetlania $1/10\text{ s}$.

Celem badań było określenie parametrów obrazu uzyskanych dla powierzchni przed i po działaniu promieniowania laserowego. Schemat układu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat układu badawczego.

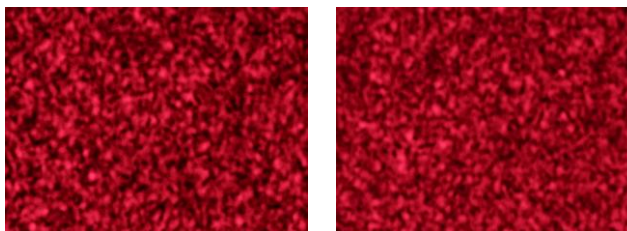
Fig. 2. Diagram of investigation system

5.WYNIKI

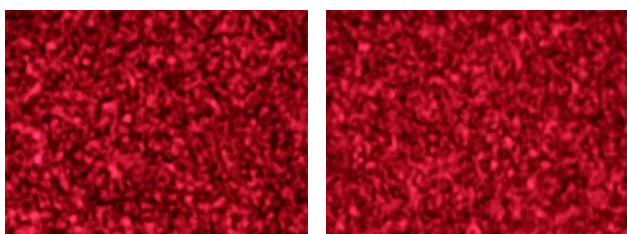
Na rysunku 3. przedstawiono przykładowe obrazy zmian światła odbitego - speckli laserowych otrzymane w wyniku rozpraszania światła lasera He - Ne od powierzchni piaskowca przed i po działaniu różnej ilości impulsów wiązki lasera Nd:YAG

Powierzchnie przed działaniem wiązki lasera Powierzchnie po działaniu wiązki lasera

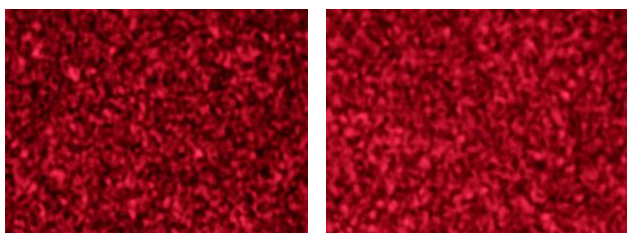
a)



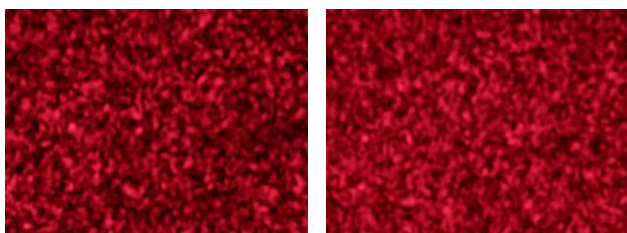
b)



c)



d)



Rys 3. Fotografie obrazu speckli laserowych dla powierzchni przed i po działaniu a) 2 impulsów, b) 5 impulsów, c) 8 impulsów, d) 11 impulsów wiązki lasera Nd:YAG.

Fig. 3. The photos of the radiation reflected (laser speckles) from the sandstone surface before and after laser radiation about a) 2 impulses, b) 5 impulses, c) 8 impulses, d) 11 impulses.

Na podstawie obrazów speckli z pomocą programu komputerowego wyznaczono podstawowe parametry speckli laserowych: średnie natężenie światła oraz kontrast speckli. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Z zaprezentowanych wartości można zauważyć wyraźny wpływ działania promieniowania lasera Nd:YAG na za-

chowanie się parametrów speckli laserowych, zależnie od ilości kierowanego promieniowania. Wartości średniego natężenia światła speckli ulegają zwiększeniu się po działaniu wiązki lasera, a kontrastowi zmniejszeniu, co może być związane ze zwiększeniem się gładkości powierzchni.

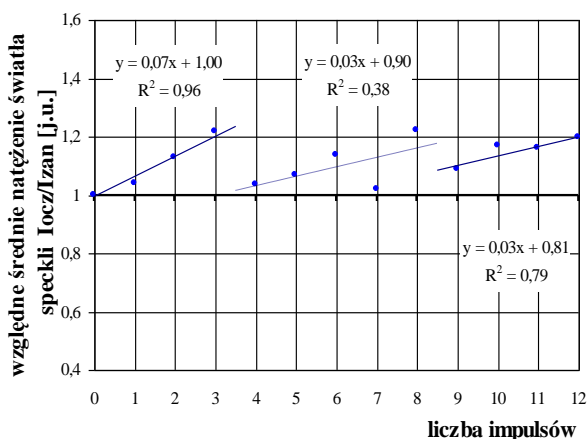
Tabela 1. Parametry speckli laserowych przed i po działaniu wiązki lasera Nd:YAG.

Table 1. Parameters of the radiation reflected (laser speckles) from the sandstone surface before and after laser radiation.

Po- wierzchnia (licz- ba im- pulsów wiązki lasera)	Parametr			
	Średnie natężenie spec- kli laserowych		Kontrast optyczny speckli laserowych	
	Przed dzia- łaniem wiązki lase- ra	Po działa- niu wiązki lasera	Przed dzia- łaniem wiązki lase- ra	Po działa- niu wiązki lasera
1	52,360	54,333	0,404	0,402
2	50,934	57,445	0,415	0,400
3	41,603	50,608	0,439	0,392
4	48,484	50,220	0,417	0,350
5	49,948	53,303	0,412	0,347
6	44,736	50,820	0,422	0,347
7	45,90	46,750	0,423	0,340
8	40,956	50,054	0,425	0,348
9	45,051	48,965	0,436	0,338
10	44,913	52,449	0,441	0,331
11	41,041	47,544	0,435	0,345
12	42,728	51,171	0,422	0,341

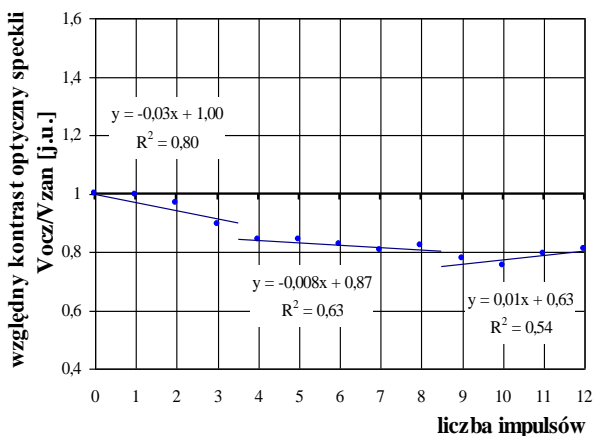
Celem wyznaczenia zależności względnych parametrów speckli laserowych od liczby impulsów na rysunku 4 i 5 przedstawiono względne średnie natężenie światła i kontrast optyczny speckli laserowych. Na osi pionowej w celu zminimalizowania wpływu skomplikowanej mikrostruktury powierzchni zamieszczono stosunek parametrów przed działaniem promieniowania laserowego do parametrów uzyskanych po jego działaniu.

W przedstawionych zależnościach można wyodrębnić trzy przedziały: pierwszy od 0 do 3 impulsów, drugi od 4 impulsów do 8 impulsów i trzeci od 9 do 12 impulsów. W tych przedziałach zależności średniego natężenia światła i kontrastu speckli laserowych w funkcji ilości impulsów można opisać funkcją liniową. Najbardziej widoczne zależności występują w pierwszym przedziale, natomiast w drugim i trzecim przedziale zależności obciążone są większym błędem.



Rys 4. Zależność względnego natężenia światła speckli laserowych w funkcji liczby impulsów.

Fig. 4. Dependence between relative mean light intensity laser speckles and impulse number.



Rys 5. Zależność względnego kontrastu optycznego speckli laserowych w funkcji liczby impulsów.

Fig. 5. Dependence between contrast laser speckles and impulse number.

Wyjaśnienia podziału zależności na przedziały można doszukiwać się bądź radykalnej zmiany mikrostruktury geometrycznej powierzchni lub zmianie składu chemicznego będącego następstwem działania wiązki lasera Nd:YAG

6. WNIOSKI

1. Parametry speckli laserowych, a w szczególności średnie natężenie światła i kontrast optyczny są zależne od stopnia oddziaływania wiązki lasera Nd:YAG o długości fali 1060 nm i energii pojedynczego impulsu 500 mJ.
2. Charakter zmian średniego natężenia światła i kontrastu speckli laserowych w funkcji ilości impulsów światła laserowego można uznać za liniowy w trzech przedziałach.
3. Promieniowanie wysyłane przez laser He-Ne może być, więc stosowane do diagnostyki skutków oddziaływania wiązki lasera Nd:YAG.
4. Wskazane są dalsze badania dla uzyskania w miarę dokładnej metody diagnostycznej oddziaływania światła laserowego z powierzchnią piaskowca.

THE EFFECT OF THE LASER RADIATION ON THE PICTURE OF RADIATION REFLECTED FROM THE SANDSTONE SURFACE (LASER SPECKLES)

Summary: The paper presents the results of the research of the effect of the laser radiation of $\lambda=1,06\mu\text{m}$, energy of 500mJ on the laser speckles. The analysis of laser speckle was carried out with the use of helium-neon laser, of wavelength was 630 nm.

Literatura

- [1] Klemm P., Agnieszka J. Klemm, Rożniakowski K., *Laserowe czyszczenie warstwy wierzchniej wybranych materiałów*, Materiały Konferencyjne VIII Konferencji Naukowo-technicznej „Fizyka budowli w teorii i praktyce”, Łódź 2001, s.269.
- [2] Jankowska M., Śliwiński G., *Spectroscopic and surface analysis of the laser ablation of crust on historic sandstone elements radiation*, Physics and Chemistry 68, 2003, pp 147 – 152.
- [3] Klein S., Stratoudaki T., Marakis Y., Zafiropoulos V., Dickmann K., *Comparative study of different wavelengths from IR to UV applied to clean sandstone*, Applied Surface Science 157, 2000, s 1 – 6.
- [4] Scheerer S., Abraham M., Madden O., *Study of the effects of laser radiation on epoxy resins and epoxy systems on stone, ceramic and glass surfaces*, Journal of Cultural Heritage 4, 2003, s 223 – 229.

- [5] Klemm P., Rożniakowski K., *Fotonowe czyszczenie powierzchni*, Drukarnia Wydawnictw Naukowych S.A., Łódź 1997, s.68.
- [6] Klemm P., Rożniakowski K., *Eksperymentalne badania fotonowego czyszczenia powierzchni niektórych materiałów*, Materiały Konferencyjne VI Konferencji Naukowo-technicznej „Fizyka budowli w teorii i praktyce”, Łódź 1997, s.208.
- [7] Klemm P. (praca zbiorowa), *Fizyka materiałów i konstrukcji budowlanych – Zastosowanie laserów w badaniach przemian fazowych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2001, s.220.
- [8] Rożniakowski K., Klemm P., *Laserowe czyszczenie i modyfikacja warstwy wierzchniej metali*, część 1 - Metodologia. Budownictwo Lądowe nr 58, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej 601. 52 Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB – Krynica 2006, tom II.
- [9] Wojtatowicz T. W. (praca zbiorowa), *Badania przemian fazowych zachodzących w warstwie wierzchniej ciała porowatego za pomocą promieniowania laserowego*, Drukarnia Wydawnictw Naukowych S.A., Łódź 2000, s. 112.
- [10] Jarmontowicz A., Krzywobłocka – Laurów R., Lehman J., *Piaskowiec w zabytkowej architekturze i rzeźbie*, Towarzystwo Opieki nad Zabytkami, Warszawa 1994 s. 63.

