

WPLYW DZIAŁANIA WIĄZKI ŚWIATŁA LASEROWEGO NA WARSTWĘ WIERZCHNIĄ PIASKOWCA

Iwona SZER*, Piotr KLEMM**

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

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

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu działania promieniowania laserowego o długości fali $1,06\mu\text{m}$ i całkowitej dostarczonej energii 3500mJ na skład chemiczny warstwy wierzchniej piaskowca.

Słowa kluczowe: fizyka budowli, promieniowanie laserowe.

1. WPROWADZENIE

Promieniowanie laserowe jest coraz chętniej wykorzystywane przez konserwatorów do usuwania nawarstwień z powierzchni obiektów zabytkowych. Wpływ wiązki laserowej na właściwości warstwy wierzchniej piaskowca, z którego wykonanych jest wiele obiektów zabytkowych, nie został do końca poznany, dlatego pożądane jest prowadzenie badań mających na celu ocenę skutków działania promieniowania laserowego o różnej dawce energii. Do badań wykorzystano spektrometrię EDX, ze względu na skomplikowaną mikrostrukturę geometryczną powierzchni chropowatych znacznie ograniczającą możliwości badawcze. Celem tej pracy była identyfikacja nawarstwień i zbadanie wpływu działania światła laserowego na skład chemiczny warstwy wierzchniej

Promieniowanie laserowe stosuje się zarówno do usuwania lekko zabarwionych, jak i czarnych zaskorupałych warstw. Średnia moc termiczna ok. 20W pozwala oczyścić powierzchnie odporne na działanie temperatury jak i mniej odporne np.: metal, drewno, szkło, tkaninę itd. Chwilowa wartość temperatury odrywanych cząstek i najbliższego otoczenia nie przekracza w tym procesie 600K . Grubość zdejmowanej warstwy zależy od gęstości energii padającej wiązki, współczynnika absorpcji dla danej długości fali promieniowania i wynosi od kilku do kilkudziesięciu mikronów (silnie pochłaniana przez warstwę o barwach ciemnych) [1].

Odpowiednio dobrane parametry wiązki: gęstość mocy, czas trwania impulsu, częstotliwość repetycji powodują zaistnienie zjawiska laserowej ablacji – kruszenie, a następnie niszczenie warstwy zanieczyszczenia[2]. Proces usuwania zanieczyszczeń zachodzi po przekroczeniu ściśle określonego dla danej warstwy dolnego progu gęstości mocy. Po przekroczeniu górnego progu gęstości mocy istnieje możliwość uszkodzenia właściwego podłoża. W przedziale pomiędzy górnym i dolnym progiem określonym dla danej warstwy zachodzi możliwość pełnej kontroli usuwanej warstwy i brak niszczącego wpływu na oryginalne podłoże [3]. Odpowiednio krótki impuls powoduje, że efekt działania wiązki laserowej ograniczamy na ściśle określoną, niewielką głębokość.

Metoda fotonowego czyszczenia powierzchni jest min. metodą bezkontaktową, nie powodującą uszkodzeń cennych, delikatnych powierzchni, charakteryzującą się dużą precyzją. Istnieje możliwość doboru wielkości średnicy plamki laserowej od setnych części do kilku milimetrów umożliwiającą czyszczenie z założoną szybkością i dokładnością.

2. PODSTAWY MIKROANALIZY RENTGENOWSKIEJ

Mikroanaliza rentgenowska polega na analizie promieniowania X wzbudzonych pierwiastków wchodzących w skład badanej próbki za pomocą spektrometru rentgenowskiego. Wzbudzenie pierwiastków następuje w wyniku działania na mikroobszarze przedmiotowej powierzchni silnie zogniskowanej wiązki elektronów o średnicy poniżej $1\mu\text{m}$, emitowanych przez skaningowy mikroskop elektronowy (SEM).

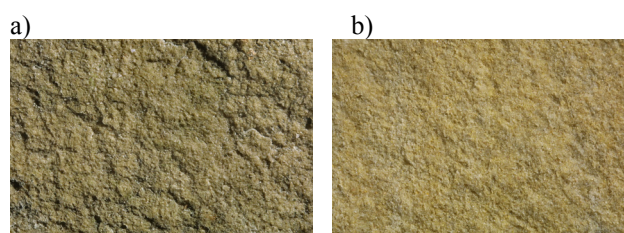
Detektor półprzewodnikowy spektrometru EDX umieszczony bezpośrednio nad powierzchnią próbki wykonuje

rejestrację pełnego spektrum promieniowania X emitowanego przez wszystkie pierwiastki wchodzące w skład badanego materiału. Układy elektroniczne sortują przychodzące promieniowanie względem jego energii, następuje odtworzenie jego widma energetycznego, pozwalające na zidentyfikowanie pierwiastków występujących w próbce (analiza jakościowa). Procentową zawartość znalezionych pierwiastków w badanym obszarze określa się za pomocą pomiaru natężenia poszczególnych linii tego widma (analiza ilościowa) [4].

3. MATERIAŁ BADANY

Badaniami poddano próbki piaskowca pochodzące z rejonu Opoczna, poddane wieloletniemu działaniu zewnętrznych czynników atmosferycznych. Wykorzystano do badań piaskowiec jest z wieku triasowego, drobnoziarnisty o spoiwie krzemionkowym z domieszką spoiwa ilastego i związkami żelaza.

Przedstawione poniżej zdjęcia obrazują zanieczyszczoną i czystą powierzchnię badanych próbek wykonane metodą makrofotografii.



Rys. 3.1. Fotografia a) zanieczyszczonej i b) czystej powierzchni piaskowca.

Fig. 3.1. The photos a) of the polluted and b) clear sandstone surface.

4. PROCEDURA BADAŃ

4.1. Układ fotonowego naświetlania.

Badania przeprowadzono przy użyciu lasera neodymowego Nd:YAG. Wiązka laserowa skierowana była prostopadle na powierzchnię badanych próbek, czas trwania impulsów $\tau=10\text{ns}$, energia wiązki 500mJ i długość fali $\lambda=1,06\mu\text{m}$. Próbkę naświetlano wiązką zbieżną z płaszczyzną ogniskową położoną poniżej powierzchni próbki, rozogniskowanie równało się 20mm.

4.2. Mikroanaliza rentgenowska – określenie składu chemicznego piaskowca

Badania składu chemicznego warstwy wierzchniej wykonano wykorzystując spektrometrię EDX (Energy Dispersive x-ray). Metoda cechuje się czułością rzędu 1% za-

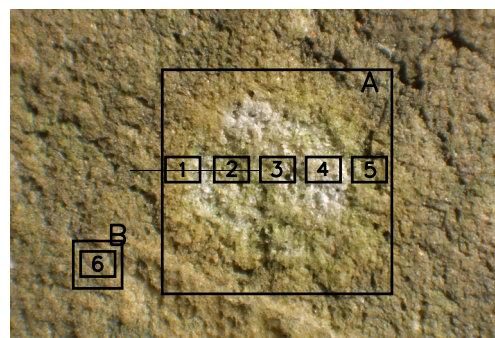
wartości analizowanego pierwiastka, rozdzielczość przestrzenna $0,5\mu\text{m}$ [5].

Celem badań było określenie składu chemicznego piaskowca i nawarstwień wtórnych. W pracy zawarto analizy dla powierzchni czystej, powierzchni z nawarstwieniami wtórnymi i po działaniu promieniowania laserowego o całkowitej dostarczonej energii 3500mJ.

5. WYNIKI

W każdej próbce analizowano skład chemiczny w obrębie działania wiązki lasera – obszar A o wymiarach 5 x 5mm, oraz w pięciu obszarach leżących na linii prostej o wielkości 800 x 650 μm . Analizowano również skład chemiczny poza działaniem wiązki – obszar B -1 x 1mm oraz obszar szósty o wielkości 800 x 650 μm . Dodatkowo w celu porównania zamieszczono średni skład chemiczny powierzchni czystej.

Na rysunku 5.1. przedstawiono powierzchnię poddaną działaniu wiązki laserowej o całkowitej dostarczonej energii 3500mJ z zaznaczeniem rozmieszczenia obszarów podlegających analizie.



Rys. 5.1. Powierzchnia próbki piaskowca z zaznaczeniem analizowanych punktów.

Fig. 5.1. The sandstone surface with marked analyzed regions.

Skład chemiczny określony metodą mikroanalizy rentgenowskiej wybranych obszarów przedstawiono w tabelicy 4.1.

Tabela 4.1. Skład chemiczny w (%) powierzchni czystej piaskowca i poddanej działaniu wiązki.

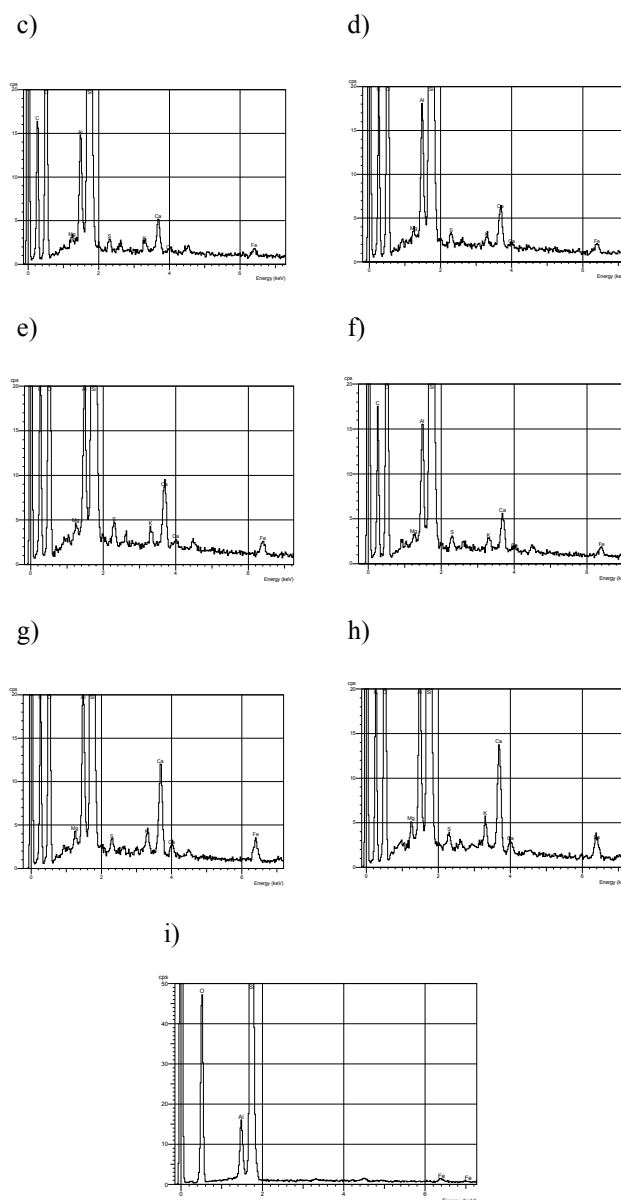
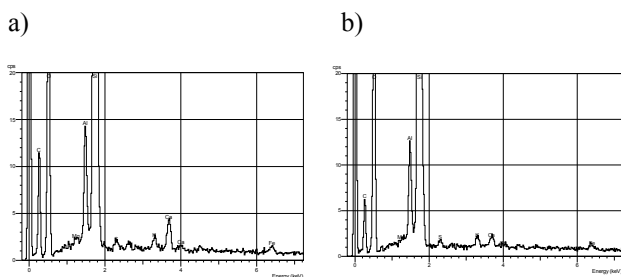
Table 4.1. The chemical analysis (%) of the clear sandstone surface and the laser radiation surface.

Pierwiastek	Nr obszaru pomiarowego				
	1	2	3	4	5
C	28,96	22,49	31,74	31,74	29,69
O	40,86	42,37	39,07	39,07	40,72

Mg	0,13	0,08	0,17	0,17	0,15
Al	1,80	1,73	1,38	1,38	1,42
Si	26,36	32,02	25,86	25,86	25,76
S	0,23	0,22	0,25	0,25	0,34
K	0,30	0,31	0,27	0,27	0,24
Ca	0,91	0,37	0,74	0,74	1,12
Fe	0,45	0,42	0,52	0,52	0,56

Pierwiastek	Nr obszaru pomiarowego			Pow. czysta
	A	6	B	
C	29,43	31,30	31,16	-
O	41,61	40,06	40,60	52,80
Mg	0,13	0,24	0,30	-
Al	1,42	2,20	2,17	3,62
Si	25,68	22,16	21,79	42,69
S	0,25	0,28	0,23	-
K	0,23	0,45	0,43	-
Ca	0,78	2,08	2,15	-
Fe	0,46	1,21	1,17	0,90

Poniższe rysunki przedstawiają wykresy widma rentgenowskiego - zależność natężenia promieniowania X od jego energii. Wykresy zamieszczono dla zaznaczonych na rys. 5.1 obszarów powierzchni piaskowca poza i w obrębie działania wiązki lasera Nd:YAG o energii 3500mJ, oraz dla powierzchni czystej.



Rys. 5.2. Wykres widma rentgenowskiego powierzchni piaskowca:

- poddanej działaniu promieniowania laserowego o całkowitej dostarczonej energii 3500mJ: a) obszar 1, b) obszar 2, c) obszar 3, d) obszar 4, e) obszar 5, f) obszar A;
 - poza działaniem promieniowania laserowego g) obszar 6, h) obszar B;
 - i) powierzchnia czysta.
- Fig. 5.2. Diagram of x-ray spectrum of sandstone surface:
- after laser radiation about the total energy of 3500mJ: a) region 1, b) region 2, c) region 3, d) region 4, e) region 5, f) region A;
 - beyond laser radiation g) region 6, h) region B;
 - i) clear surface.

6. WNIOSKI

1. Na powierzchni piaskowca poddanej działaniu atmosfery występuje w znacznej ilości węgiel i wapń. W śladowych ilościach występuje potas, siarka, i magnez.
2. Na powierzchni próbki, w obrębie działania wiązki lasera zaobserwowano znaczne zmniejszenie składników nawarstwienia, a zwłaszcza węgla, magnezu, potasu, wapnia. Najbardziej widoczne jest zmniejszenie węgla, magnezu i wapnia w 2 punkcie pomiarowym, natomiast siarki i potasu w 4 punkcie pomiarowym.
3. Wskazane są dalsze badania dla uzyskania w miarę dokładnej metody diagnostycznej oddziaływania światła laserowego z powierzchnią piaskowca.

THE EFFECT OF LASER RADIATION ON THE SUPERFICIAL LAYER OF SANDSTONE

Summary: The paper presents the results of the research on the effect of laser radiation of $\lambda=1,06\mu\text{m}$, total energy of 3500mJ on the chemical analysis of the superficial layer of sandstone.

Literatura

- [1] Klemm P.(praca zbiorowa), *Fizyka materiałów i konstrukcji budowlanych –Zastosowanie laserów w badaniach przemian fazowych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2001, s.220.
- [2] Klemm P., Roźniakowski K., *Fotonowe czyszczenie powierzchni*, Drukarnia Wydawnictw Naukowych S.A., Łódź 1997, s.68.
- [3] Marczak J, *Odnawianie dzieł sztuki za pomocą promieniowania laserowego*, Przegląd Mechaniczny, Nr 15-16/1997, str.37-40.
- [4] Szummer A (praca zbiorowa) „*Podstawy ilościowej mikroanalizy rentgenowskiej*”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1994.
- [5] Klemm P., Klemm A. J., Roźniakowski K., Wojtawicz T., *Współczesne metody badań właściwości materiałów budowlanych na przykładzie piaskowca*, IX Konferencja Naukowo-techniczna, Fizyka budowli w Teorii i Praktyce Łódź 2003, s.278-286.