

MONITOROWANIE ZJAWISKA FOTONOWEGO CZYSZCZENIA POWIERZCHNI ZABYTKOWEJ CEGŁY ZA POMOCĄ LASEROWYCH SPECKLI

Katarzyna KLEMM^{*}, Piotr KLEMM^{**}, Kazimierz ROŹNIAKOWSKI^{***}

^{}Politechnika Łódzka, Instytut Architektury i Urbanistyki*

Al. Politechniki 6,90-924 Łódź, e-mail: katarzyna.klemm@p.lodz.pl

*^{**}Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych,*

Al. Politechniki 6,90-924 Łódź, e-mail: piotr.klemm@p.lodz.pl

*^{***}Politechnika Łódzka, Instytut Fizyki, ul. Wólczańska 219, 90-924 Łódź, e-mail: rozniakz@lodd.p.lodz.pl*

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań fotonowego czyszczenia powierzchni cegły pochodzącej z obiektów zabytkowej Łodzi przemysłowej. Do monitorowania tego procesu zaproponowano zjawisko odbicia światła lasera He-Ne od powierzchni tego materiału. Zaobserwowano zależność między liczbą „strzałów” w to samo miejsce próbki, a natężeniem i parametrami laserowych speckli w kierunku zwierciadlanego odbicia. Ta zależność może być przydatna do oszacowania stopnia wyczyszczenia powierzchni próbki za pomocą nanosekundowych impulsów lasera Nd:YAG.

Słowa kluczowe: Lasery Nd:YAG i He-Ne, fotonowe czyszczenie powierzchni, zabytkowa cegła, laserowe speckle.

1. WPROWADZENIE

1.1. Fotonowe czyszczenie warstwy wierzchniej materiałów kapilarno-porowatych.

W tradycyjnych technikach usuwania zanieczyszczeń z warstwy wierzchniej tych materiałów używa się skalpela, proszków ściernych (twardych cząstek), strumieni cieczy i środków chemicznych, które często dają sukces w rekonstrukcji zewnętrznego wyglądu dzieła. Jednakże te techniki wymagają kontaktu środka czyszczącego z powierzchnią, polegają na częstym, subiektywnym zdaniu konserwatora, są nieprzyjemne dla otoczenia i powodują zniszczenie głębszych warstw czyszczonego obiektu.

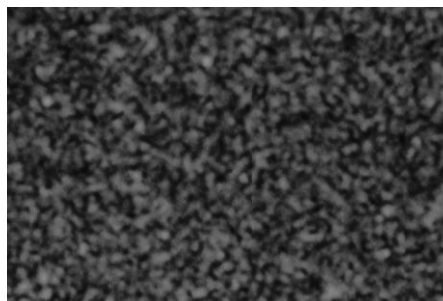
Oczekuje się, że użycie strumienia fotonów generowanych przez odpowiednie lasery, może być bardzo pożyteczne do usunięcia tego rodzaju zanieczyszczeń. Uważa się, że działające na warstwę wierzchnią fotony są w niej absorbowane głównie przez osad (zanieczyszczenie), który jest nagrzewany i następnie ulega odparowaniu lub ablacji. Głębiej

leżące warstwy odbijają dyfuzyjnie dalsze padające fotony. Istota procesu oparta jest zatem na różnicy monochromatycznej odbijalności zanieczyszczonej warstwy wierzchniej i podłoża fotonów emitowanych przez laser.

Z przeprowadzonych dotąd badań literaturowych tego problemu, wynikają następujące ważne kwestie techniczne: efektywność fotonowego czyszczenia zależy od energii stosowanych fotonów; grubości i barwy zanieczyszczeń (ich absorpcyjności); ważne są procesy fizyko-chemiczne zachodzące w materiale poddanym działaniu strumienia fotonów; należy znać optymalną gęstość strumienia fotonów, taką przy której w podłożu nie zachodzą przemiany fazowe; wskazane jest monitorowanie stopnia wyczyszczenia powierzchni materiału [1,2].

1.2. Laserowe speckle

Wiadomo, że spójne światło pochodzenia laserowego po odbiciu od chropowatej powierzchni materiału charakteryzuje się ziarnistą strukturą (rysunek 1), nazywaną w literaturze laserowymi specklami.



Rys. 1. Fotografia laserowych speckli.

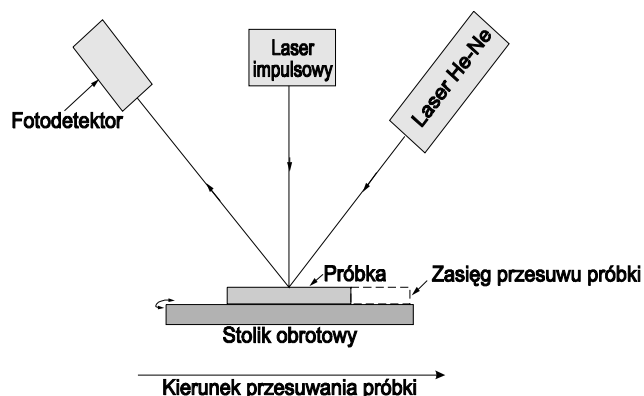
Fig. 1. The colour photograph of laser speckles

Jak widać na fotografii ta ziarnista struktura charakteryzuje się probabilistycznym rozkładem natężenia światła i wielkości speckli.

W badaniach doświadczalnych obraz laserowych speckli otrzymywany z kolorowej fotografii jest konwertowany do postaci mapy bitowej o 256 odcieniach szarości i zapisywany do odpowiedniego pliku. Tak otrzymane zbiory są poddawane analizie za pomocą specjalnie napisanych do tego celu programów. W tych badaniach rejestrowane jest średnie natężenie światła odbitego w kierunku zwierciadlanym, a także parametry otrzymywanych rozkładów natężenia światła, są to: kontrast (K_o), wariancja (W_a), odchylenie standardowe (O_d), skośność (S_k) i kurtoza (K_u) [3,4,5].

2. OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Obiektem badań w tej pracy były próbki cegły pochodzącej z zespołu zabytkowej zabudowy przemysłowej Łodzi. Przygotowano 12 próbek do badań. Poddano je naświetlaniu impulsowym strumieniem fotonów, emitowanym przez laser Nd:YAG. Energia impulsu emitowana przez ten laser wynosiła $E = 500 \text{ mJ}$, długość fali świetlnej odpowiadająca tym fotonom była $\lambda = 1,060 \text{ }\mu\text{m}$, a czas trwania impulsu $\tau = 10 \text{ ns}$. Płaszczyzna ogniskowa układu skupiającego laserową wiązkę była „umieszczona” wewnątrz próbki tak, że $\Delta f = 20 \text{ mm}$. Taka geometria naświetlania spowodowała, że średnica naświetlanego obszaru próbki była równa 20 mm. W kolejne próbki oddano liczbę „strzałów” równą odpowiednio 1,2,3...12. Przed działaniem lasera Nd:YAG, z tego samego miejsca próbki zarejestrowano natężenie światła lasera He-Ne w kierunku zwierciadlanego odbicia. Kąt padania wiązki światła lasera He-Ne był równy $\alpha = 5^\circ$. Zarejestrowano natężenie światła odbitego od powierzchni próbki przed i po działaniu nanosekundowego impulsu. Za pomocą specjalnie do tego celu opracowanego programu „speckle” [5] wyznaczono parametry speckli, w tym także natężenie światła w kierunku zwierciadlanym, w kącie bryłowym, widzianym przez matrycę cyfrowego aparatu fotograficznego (bez obiektywu). Schemat blokowy laserowego układu badawczo-pomiarowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy laserowego układu badawczo-pomiarowego.

Fig. 2. Eksperymental set-up.

3. WYNIKI BADAŃ

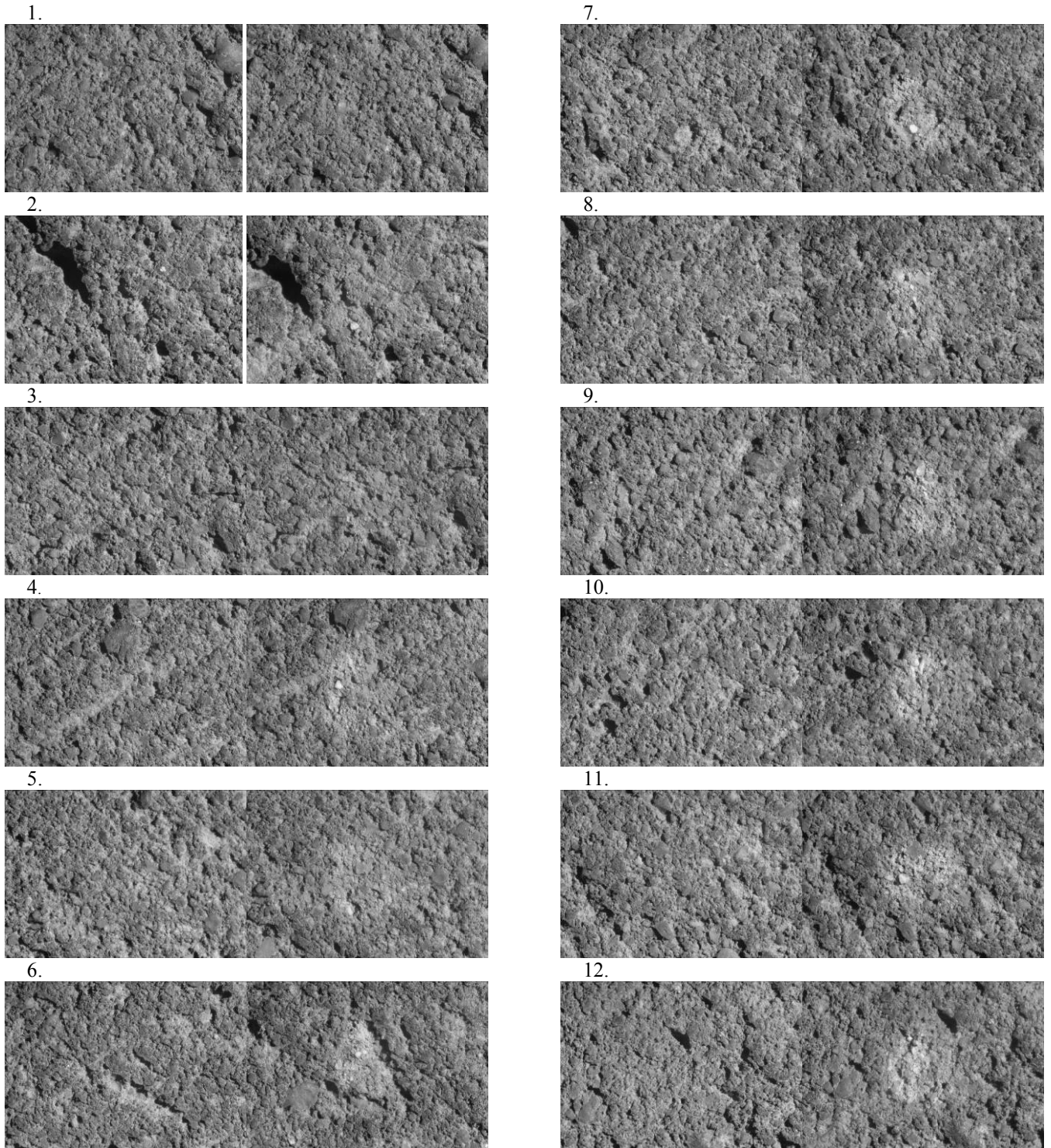
Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań fotonowego czyszczenia, zarejestrowane za pomocą cyfrowego aparatu fotograficznego, stosując pięciokrotne powiększenie. Na tym rysunku widoczne są fotografie tej samej powierzchni próbki, przed (lewa fotografia) i po laserowym oddziaływaniu (prawa fotografia). Numer kolejnej fotografii oznacza jednocześnie liczbę „strzałów” oddanych w to samo miejsce próbki.

Z wizualnej analizy tych fotografii wynika, że po 5 strzałach w obszarze naświetlonym pojawia się lokalna zmiana barwy cegły. Zatem, naświetlanie tego obszaru większą liczbą „strzałów” powoduje usunięcia zanieczyszczenia z powierzchni, ale także zniszczenie podłoża (odbarwienie).

W Tabeli 1, przedstawiono zależność natężenia światła lasera He-Ne odbitego od powierzchni badanych próbek w kierunku zwierciadlanym dla powierzchni zanieczyszczonej J_z oraz dla powierzchni poddawanej działaniu strumienia fotonów (umownie powierzchni „czystej”) J_c . Widać z tych pomiarów, że natężenie światła odbitego zmienia się wraz z liczbą „strzałów” skierowanych na powierzchnię próbki.

W Tabelach 2 i 3, przedstawiono analogiczne zależności dla parametrów laserowych speckli. Wyraźnie widać z tych pomiarów, że dla pierwszych 5 próbek zależności zmieniają się w przybliżeniu liniowo wraz z liczbą „strzałów”.

Natomiast dla liczby „strzałów” większych od pięciu, zależności te są także liniowe, ale praktycznie nie zależą od liczby strzałów.



Rys. 3. Fotografie powierzchni próbek przed (lewa) i po (prawa) działaniu laserowych fotonów.

Fig. 3. The photographs of surface samples before (left) and after (right) laser photons interactions.

Tabela 1. Natężenie światła laserowych speckli w kierunku zwierciadlanym dla powierzchni zanieczyszczonej J_z i po działaniu strumienia fotonów J_c .

Table 1. The intensity of laser speckles before (J_z) and after (J_c) laser photons interactions.

Nr próbki	J_z [r.u.]	J_c [r.u.]	J_c/J_z
1	305	311	1,02
2	255	321	1,26
3	274	336	1,23
4	269	379	1,41
5	272	376	1,38
6	273	363	1,33
7	289	388	1,34
8	273	384	1,41
9	265	380	1,43
10	300	389	1,30
11	254	381	1,50
12	281	366	1,30

Tabela 2. Parametry laserowych speckli dla powierzchni zanieczyszczonych (przed działaniem strumienia fotonów).

Table 2. The parameters of laser speckles before laser photons interactions

Nr próbki	Ko.	Wa.	Od.	Sk.	Ku.
1	0,44	504	22,5	0,71	3,15
2	0,48	410	20,2	0,91	3,77
3	0,46	445	21,1	0,80	3,37
4	0,48	462	21,5	0,90	3,61
5	0,47	447	21,1	0,82	3,40
6	0,46	442	21,0	0,84	3,52
7	0,45	480	21,9	0,84	3,46
8	0,47	448	21,2	0,88	3,58
9	0,47	440	21,0	0,86	3,57
10	0,45	493	22,2	0,75	3,27
11	0,47	393	19,8	0,93	3,84
12	0,46	465	21,6	0,83	3,47

Tabela 3. Parametry laserowych speckli dla powierzchni „wyczyszczonych” (po działaniu strumienia fotonów)

Table 3. The parameters of laser speckles after laser photons interactions

Nr próbki	Ko.	Wa.	Od.	Sk.	Ku.
1	0,42	474	21,8	0,68	3,22
2	0,42	495	22,3	0,57	2,43
3	0,41	517	22,7	0,53	2,87
4	0,38	582	24,1	0,35	2,52
5	0,39	585	24,2	0,36	2,58
6	0,39	568	23,8	0,37	2,55
7	0,38	606	24,6	0,36	2,59
8	0,38	603	24,6	0,34	2,52
9	0,39	606	24,6	0,40	2,62
10	0,38	610	24,7	0,35	2,55
11	0,39	605	24,6	0,41	2,64
12	0,39	590	24,3	0,42	2,66

4. WNIOSKI

W pracy przedstawiono wyniki eksperymentalnych badań dotyczące oddziaływania impulsowego (nanosekundowego) strumienia fotonów z warstwą wierzchnią zanieczyszczonej, zabytkowej cegły. W pracy zaproponowano innowacyjną metodę monitorowania stopnia zanieczyszczenia (usuwania zanieczyszczeń) za pomocą laserowych speckli. Z pomiaru i analizy parametrów laserowych speckli wynika, że mogą one być przydatne do oceny wyników procesu oddziaływania impulsowego strumienia fotonów z układem cienką warstwą – podłożem.

Obecnie istnieje techniczna możliwość zbudowania takiego układu techniczno badawczego w którym monitorowanie zjawiska fotonowego czyszczenia powierzchni (za pomocą laserowych speckli) może być realizowane w systemie online. Taka metoda monitorowania mogłaby znacznie przyspieszyć i poprawić jakość procesu fotonowego czyszczenia powierzchni.

LASER SPECKLE MONITORING METHOD OF THE LASER PHOTON CLEANING OF THE SURFACE OF ANCIENT BRICK

Summary: The work presents the results of experimental examinations of the laser photon cleaning of the surface of ancient brick. Lasers (He-Ne) speckles are proposed to monitoring these phenomenon. The parameters of lasers speckles were analysed. Large differences between number of laser “shots” and parameters of lasers speckles were observed.

Literatura

- [1] Klemm P., Roźniakowski K.: Fotonowe czyszczenie powierzchni, DWN S.A., Łódź 1997.
- [2] Klemm P., Klemm A.J., Roźniakowski K.: *Laserowe usuwanie zanieczyszczeń i modyfikacja warstwy wierzchniej*, w: Fizyka Materiałów I Konstrukcji Budowlanych: red. Klemm Piotr, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Monografie PŁ, Łódź 2001.
- [3] Roźniakowski K., Wojtatowicz T.W.: *Speckle laserowe*, w: Badania przemian fazowych zachodzących w warstwie wierzchniej ciała porowatego za pomocą promieniowania laserowego, red.: T.W.Wojtatowicz, sprawozdanie KBN 7T07E00214, Łódź 2000, s.21-32
- [4] Wojtatowicz T.W.: *Komputerowa analiza obrazu*, w : Badania przemian fazowych zachodzących w warstwie wierzchniej ciała porowatego za pomocą promieniowania laserowego, red.: T.W.Wojtatowicz, sprawozdanie KBN 7T07E00214, Łódź 2000, s.43-52.
- [5] Gerstenkorn T., Śródka T.: *Kombinatoryka i rachunek prawdopodobieństwa*, PWN, Warszawa 1978.

