

# Wykorzystanie skanera laserowego 3D do oceny wpływu śrutowania na morfologię powierzchni betonowej

*The use of 3D laser scanner to evaluate the influence of shot-blasting on the morphology of the concrete surface*

DOI: 10.15199/33.2015.10.04

(Oryginalny artykuł naukowy)

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wykorzystanie skanera laserowego 3D do oceny morfologii powierzchni betonowej oraz porównano uzyskane za pomocą tego skanera rezultaty badań powierzchni poddanej śrutowaniu i powierzchni porównawczej niepoddanej obróbce. Wyniki zaprezentowano w postaci przykładowych trójwymiarowych widoków izometrycznych i obliczonych na ich podstawie wartości średnich parametrów wysokości oraz funkcyjnych, opisujących morfologię badanych powierzchni. Wykazano, jak duży wpływ na wartości poszczególnych parametrów ma śrutowanie.

**Słowa kluczowe:** powierzchnie betonowe, śrutowanie, morfologia powierzchni, skanowanie laserowe 3D, parametry wysokości i funkcyjne.

**Abstract.** The use of the 3D laser scanner to evaluate the morphology of the concrete surfaces was presented in this article. The results of the shot-blasted surface and the results of the comparative surface without any preparation were shown and compared. The results were presented as three-dimensional isometric views and at the basis of these views were calculated the average values of the height and function parameters that describe the morphology of the investigated surfaces. It has been shown how highly shot-blasting influenced the average values of some parameters.

**Keywords:** concrete surfaces, shot blasting, surface morphology, 3D laser scanning, height and function parameters.

Wielowarstwowe podłogi betonowe stanowią wykończenie hal przemysłowych i magazynowych. Poddawane są dużym obciążeniom pionowym od nacisku regałów magazynowych lub poziomym wywołanym hamowaniem poruszających się pojazdów, np. silnie obciążonych wózków widłowych. Z uwagi na siły poziome warunkiem koniecznym zapewniającym właściwe zachowanie się podłogi podczas eksploatacji jest uzyskanie odpowiedniej przyczepności na odrywanie pomiędzy warstwą podkładową a wierzchnią. W przypadku podłóg nowych minimalna wartość międzywarstwowej przyczepności na odrywanie powinna wynosić 0,5 MPa, natomiast elementów naprawianych 1,5 MPa [1-2]. O ile w przypadku elementów nowych uzyskanie żądanej wartości przyczepności na odrywanie nie stanowi większego problemu, o tyle w konstrukcjach naprawianych jest to praktycznie niemożliwe

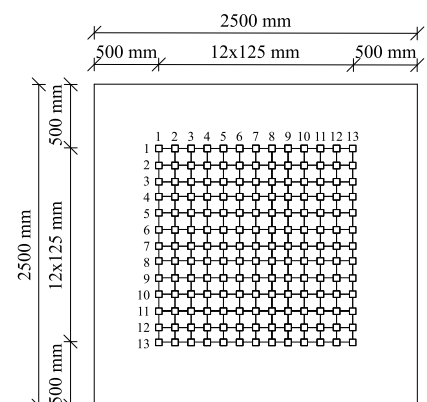
bez poprzedniej obróbki powierzchniowej warstwy podkładowej metodą szlifowania, frezowania, śrutowania, mycia wysokociśnieniowego [3], która wpływa na parametry charakteryzujące morfologię powierzchni podkładu betonowego [4-6].

W artykule oceniono wpływ śrutowania na morfologię powierzchni elementów z betonu klasy C30/37 na kruszywie łamanym 2 – 8 mm, mogących stanowić warstwę podkładową podłogi. Z wykorzystaniem skanera laserowego 3D [7] pozyskano trójwymiarowe widoki izometryczne badanych powierzchni. Na podstawie analizy tych widoków obliczono wartości parametrów wysokości oraz funkcyjnych, opisujących morfologię powierzchni śrutowanej. Porównano je z analogicznymi parametrami otrzymanymi w przypadku porównawczej powierzchni betonowej bez obróbki powierzchniowej, a jedynie zatartej, jak to często bywa w praktyce.

## Metodyka badań

Badano powierzchnie dwóch elementów betonowych o wymiarach 2500 x 2500 mm i grubości 200 mm

każdy (rysunek 1). Powierzchnię jednego elementu poddano śrutowaniu, a drugą pozostawiono bez obróbki. Śrutowanie pozwoliło na uszorstkowanie powierzchni betonowej, co ma znaczny wpływ na polepszenie współpracy między warstwami, przez zwiększenie przyczepności na odrywanie pomiędzy warstwą podkładową a wierzchnią, którą może sta-



**Rys. 1.** Rozmieszczenie pól pomiarowych na powierzchni elementu betonowego

*Fig. 1. Distribution of the measurement fields on the surface of the concrete element*

<sup>1)</sup> Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:

e-mail: slawomir.czarnecki@pwr.edu.pl

nowić np. materiał naprawczy. Do śrutowania wykorzystano stalowy śrut kulisty o maksymalnej średnicy do 6 mm (fotografia). Pozwoliło to uzyskać wyraźną zmianę morfologii powierzchni śrutowanej, w stosunku do powierzchni porównawczej. 169 pól pomiarowe o wymiarach 50 x 50 mm każde, usytuowane na siatce kwadratowej o wymiarze oczka 125 mm, przebadano skanerem laserowym 3D [7].



**Aparatura użyta do śrutowania powierzchni**  
Device used for shot-blasting the surface

W celu określenia wpływu śrutowania na morfologię powierzchni betonowej zbadano i przeanalizowano parametry wysokości oraz funkcyjne (tabela 1), które uzyskano, analizując widoki izometryczne 3D badanej powierzchni, pozyskane skanerem. Przykładowe widoki izometryczne 3D badanych powierzchni, poddanej śrutowaniu oraz pozostawionej bez przygotowania, przedstawiono na rysunku 2.

## Wyniki badań i ich analiza

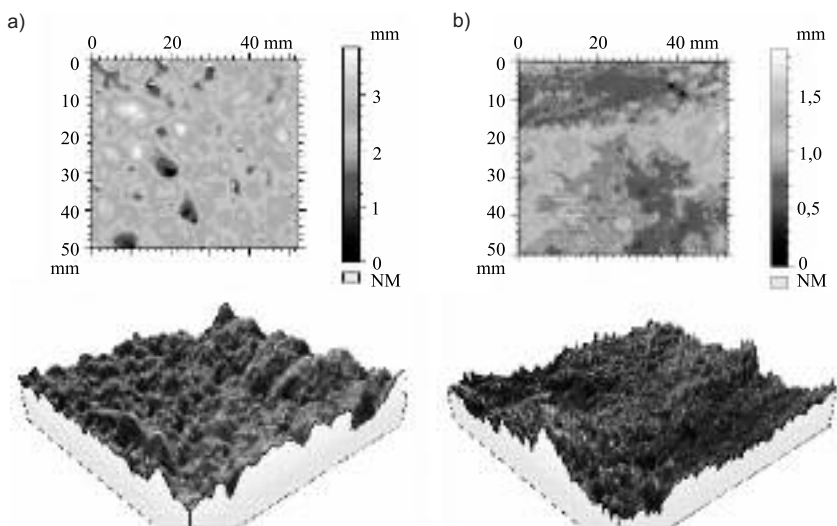
W tabeli 2 zamieszczono wyniki średnich, maksymalnych i minimalnych wartości parametrów chropowatości powierzchni śrutowanej oraz powierzchni porównawczej, obliczone dla każdej z powierzchni, ze 169 pól pomiarowych. Symbole badanych parametrów podane w tabelach 1 i 2 są zgodne z normą [7].

Z analizy wyników badań przedstawionych w tabeli 2 wynika, że śrutowanie powierzchni betonowej zdecydowanie zwiększa średnie wartości parametrów  $S_{ku}$ ,  $S_v$ ,  $S_z$  i  $S_{xp}$ , oraz zmniejsza średnią wartość  $S_p$ , w stosunku do średnich wartości analogicznych parametrów opisujących powierzchnię

**Tabela 1. Analizowane parametry wysokości oraz funkcyjne opisujące morfologię badanych powierzchni betonowych – śrutowanej oraz bez obróbki powierzchniowej**

Table 1. The analyzed height and function parameters describing the morphology of the investigated concrete surfaces, shot-blasted and left without any surface preparation

| Nazwa parametru                                  | Postać zależności                                    |   |
|--|--|---|
| <b>Parametry wysokości</b>                       |  |   |
| Wysokość średniokwadratowa powierzchni           | $S_q = \sqrt{1/A \iint_A (Z(x, y))^2 dx dy}$         | S <sub>q</sub> i S <sub>a</sub> – parametry opisujące charakterystyczne odstępstwa elementów powierzchni: dolin i wzniesień (odchylenie standardowe wysokości, wartość średnia) |
| Średnia arytmetyczna wysokości powierzchni       | $S_a = 1/A \iint_A  Z(x, y)  dx dy$                  |   |
| Kurtoza powierzchni                              | $S_{ku} = 1/S_q^4 \cdot 1/A \iint_A z^4(x, y) dx dy$ | S <sub>ku</sub> opisuje rozkład rozrzutu wysokości, odnosząc się do rozkładu Gaussa   |
| Maksymalna wysokość pików powierzchni            | $S_p = \sup\{Z(x_p, y_p)\}$                          |   |
| Maksymalna głębokość wgłębienia powierzchni      | $S_v =  \inf\{Z(x_p, y_p)\} $                        |   |
| Maksymalna wysokość powierzchni                  | $S_z = S_p + S_v$                                    |   |
| <b>Parametry funkcyjne</b>                       |  |   |
| Odwrotny połowy stosunek materiałowy powierzchni | $S_{mc}(p)$  | S <sub>mc</sub> (p) opisuje wysokość powierzchni odniesienia c odpowiadającej danej wartości procentowej stosunku materiałowego p   |
| Skrajna wysokość szczytu                         | $S_{xp} = S_{mc}(p) - S_{mc}(q)$                     |   |



**Rys. 2. Przykładowe trójwymiarowe widoki izometryczne oraz wirtualne modele 3D badanych powierzchni: a) śrutowanej; b) pozostawionej bez obróbki powierzchniowej**

Fig. 2. Examples of 3D isometric views and virtual 3D models of the investigated surfaces: a) shot-blasted; b) left without any surface preparation

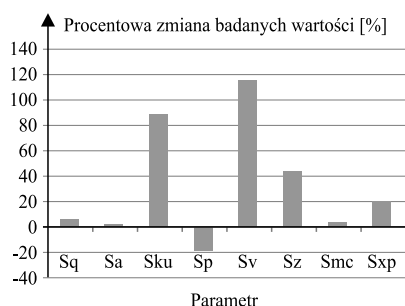
Tabela 2. Średnie oraz maksymalne i minimalne wartości parametrów chropowatości opisujących badane powierzchnie

Table 2. Average and maximum and minimum values of the roughness parameters describing the investigated surfaces

| Sposób przygotowania powierzchni | Wartość parametru | Symbol parametru |         |         |         |         |         |          |          |
|----------------------------------|-------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
|                                  |                   | Sq [mm]          | Sa [mm] | Sku [-] | Sp [mm] | Sv [mm] | Sz [mm] | Smc [mm] | Sxp [mm] |
| Śrutowanie                       | średnia           | 0,31             | 0,23    | 7,6     | 1,1     | 2,52    | 3,6     | 0,38     | 0,65     |
|                                  | maksymalna        | 0,55             | 0,39    | 37,6    | 1,86    | 5       | 6,18    | 3,64     | 1,15     |
|                                  | minimalna         | 0,19             | 0,15    | 2,56    | 0,66    | 1,2     | 0,30    | 0,23     | 0,39     |
| Bez przygotowania                | średnia           | 0,29             | 0,23    | 4,03    | 1,34    | 1,17    | 2,51    | 0,37     | 0,54     |
|                                  | maksymalna        | 0,54             | 0,42    | 9,61    | 2,42    | 3,26    | 4,70    | 0,69     | 1,47     |
|                                  | minimalna         | 0,15             | 0,11    | 2,77    | 0,75    | 0,57    | 1,50    | 0,19     | 0,24     |

niepoddaną obróbce. Natomiast wartości parametrów Sq i Sa określone dla obydwu badanych powierzchni są bardzo podobne.

Na rysunku 3, sporządzonym na podstawie tabeli 2, przedstawiono procentową zmianę średnich wartości badanych parametrów chropowatości powierzchni śrutowanej, w stosunku do powierzchni niepoddanej obróbce. Z jego analizy wynika, że śrutowanie powoduje wzrost wartości średniej Sv o ponad 100%, w stosunku do wartości średniej uzyskanej w przypadku powierzchni pozbawionej obróbki. Świadczy to o dużej agresywności tego rodzaju obróbki powierzchniowej. Wzrost ten można uzasadnić tym, że śrutowanie powoduje pogłębienie dolin oraz wgłębień w powierzchni betonu. Wartość Sku



Rys. 3. Procentowa zmiana średnich wartości badanych parametrów chropowatości powierzchni śrutowanej, w stosunku do wartości parametrów określonych w przypadku powierzchni niepoddanej obróbce

Fig. 3. Percentage change of the average values of the investigated roughness parameters of shot-blasted surface in comparison with these parameters calculated for the surface without any preparation

dla powierzchni poddanej śrutowaniu wzrasta o ponad 80% względem powierzchni porównawczej. Jest to zapewne wynikiem usunięcia niezwiązanych szczytów i pozostawienia tych wystających elementów kruszywa. Wrosła o 40% wartość średnia Sz, co świadczy o tym, że wysokość pomiędzy dnem maksymalnego wgłębienia a szczytem największego wzniesienia została powiększona wskutek śrutowania. Zauważalny jest też wzrost średniej wartości Sxp, co może być efektem pogłębienia dolin przy jednoczesnym zachowaniu średniej wysokości powierzchni. Natomiast o ok. 20% zmniejszyła się średnia wartość Sp. Jest to prawdopodobnie efekt usunięcia cząstek nietrwale związanych z badaną powierzchnią, co ma wpływ na zmniejszenie wysokości szczytów. Świadczy to o tym, że śrutowanie ma zdecydowanie większy wpływ na pogłębienie dolin i wgłębień niż na zmniejszenie wyżyn oraz szczytów.

Porównując otrzymane wyniki z rezultatami przedstawionymi w [8], dotyczącymi badań powierzchni elementów wykonanych z betonu niższej klasy (C12/15), na kruszywie otoczkowym, zauważono znacznie większe zmiany średnich wartości parametrów opisujących morfologię powierzchni śrutowanej, w stosunku do wartości średnich parametrów opisujących powierzchnię bez obróbki. Stwierdzono, że w przypadku betonu niskiej klasy Sv maleje, a w przypadku betonu klasy C30/37 na kruszywie łamanym zwiększa dwukrotnie swoją wartość średnią.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono wykorzystanie skanera laserowego 3D do oceny morfologii powierzchni betonu poddanej śrutowaniu. Analizowano wyniki badań powierzchni śrutowanej i powierzchni bez obróbki. Przedmiotem porównania były wartości średnie parametrów wysokości i funkcyjne, opisujące morfologię badanych powierzchni. Stwierdzono, że śrutowanie powoduje znaczny wzrost wartości średnich Sv (o ponad 100%), Sku (o ponad 80%) i Sz (o ponad 40%) oraz zmniejszenie o 20% średniej wartości Sp, w stosunku do wartości parametrów opisujących powierzchnię porównawczą niepoddaną obróbce. Natomiast wartości średnie pozostałych parametrów, tj. Sq, Sa i Smc, pozostają na podobnym poziomie bez względu na sposób przygotowania badanej powierzchni.

Fotografia i rysunki – Autorzy

## Literatura

- [1] PN-EN 12504-3:2005, Badania betonu w konstrukcjach. Część 3. Oznaczanie siły wyrwywającej.
- [2] ASTM D7234 – 05, 2005, Standard Test Method for Pull-Off Adhesion Strength of Coatings on Concrete Using Portable Pull-Off Adhesion Testers.
- [3] Garbacz A., Courard L. and Bissonnette B., „A surface engineering approach applicable to concrete repair engineering”, Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, 61.1, 2013, s. 73 – 84.
- [4] Mathia T., Pawlus P. and Wieczorowski M., „Recent trends in surface metrology”, Wear, 271, 2011, s. 494 – 508.
- [5] Santos P. and Júlio E., „Comparison of methods for texture assessment of concrete surfaces.”, ACI Materials Journal, 107 (5), 2010, s. 433 – 440.
- [6] Santos P., Julio E., „A state-of-the-art review on roughness quantification methods for concrete surfaces.”, Construction and Building Materials, 38, 2013, s. 912 – 923.
- [7] Czarnecki S., Hoła J. and Sadowski Ł., „A non-destructive method of investigating the morphology of concrete surfaces by means of newly designed 3D scanner.”, 11th European Conference on Non-destructive Testing, 6-10 October 2014, Prague, Czech Republic.
- [8] Czarnecki S., Hoła J. and Sadowski Ł., „Ocena morfologii powierzchni elementów betonowych za pomocą parametrów chropowatości 3D”, Materiały Budowlane, 5, 2015, s. 78 – 79.

Przyjęto do druku: 25.08.2015 r.