

Mariusz Kosiń

**ANALIZA PORÓWNAWCZA SKUTECZNOŚCI  
ODDZIAŁYWANIA NA OBRABIANĄ POWIERZCHNIĘ  
NOWEGO ROZWIĄZANIA NARZĘDZIA ROBOCZEGO  
Z DOTYCHCZAS ZNANYMI**

**Wstęp**

Istotne znaczenie dla problematyki optymalizacji procesów obróbki mechanicznej powierzchni materiałów mineralnych za pomocą tarczowych narzędzi roboczych ma ustalenie struktury tarczowego narzędzia roboczego. Analiza tych zależności przeprowadzona została na modelu oddziaływania z wykorzystaniem programu komputerowego modelowania struktury tarczowych narzędzi roboczych z uwzględnieniem prędkości i tras ich ruchu po obrabianej powierzchni, opracowanego w Zakładzie Technologii i Organizacji Procesów Budowlanych Wydziału Budownictwa Politechniki Częstochowskiej [1].

W celu przeprowadzenia efektywnej obróbki powierzchni tarczowym narzędziem roboczym obracającym się z prędkością obrotową  $\omega_o$  wprowadza się je najczęściej w ruch postępowy z prędkością  $V_p$ . Program komputerowy modelowania pozwala na uwzględnienie wszystkich rodzajów ruchu, gdyż jest w nim sformułowana trasa przemieszczeń tarczy, składająca się ze sformułowań poszczególnych torów ruchu. Charakterystyka toru ruchu tarczy zawiera określenie położenia środka tarczy oraz jej parametrów kinematycznych (prędkości ruchu postępowego i ruchu obrotowego) na początku i końcu kolejnych etapów ruchu.

Konstrukcja programu komputerowego uwzględnia oddziaływanie na obrabiane pole elementarne (punkt obrabianej powierzchni) tylko punktów elementów roboczych tarczy, co pozwala na dobór pożądanej sumarycznej długości linii oddziaływania narzędzia roboczego na dany punkt obrabianej powierzchni.

Zaproponowany program komputerowy pozwala na optymalizację skuteczności oddziaływania tarczowych narzędzi roboczych na płaską powierzchnię drogą doboru zarówno struktury geometrycznej tarczowego narzędzia roboczego, jak i trasy ruchu środka tarczy.

Wynikiem obliczeń są wykresy skuteczności oddziaływania narzędzia roboczego  $S_g = \sum_{i=1}^n L_i$  [m], obejmujące linie oddziaływania wszystkich punktów powierzchni roboczej tarczy, a także wartości liczbowe średniej, maksymalnej i minimalnej skuteczności oddziaływania oraz wskaźniki odchylenia standardowego i odchylenia względnego [2, 3].

Średnia skuteczność  $\bar{S}_g$  oddziaływania narzędzia roboczego wynosi

$$\bar{S}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{gi}$$

gdzie  $S_{gi}$  - wartość skuteczności oddziaływania według sensorów programu komputerowego [m].

Wskaźnik odchylenia standardowego  $\sigma$  w procesie optymalizacji struktury powierzchni i parametrów kinematycznych tarczowego narzędzia roboczego stanowi funkcję celu. Wskaźnik odchylenia standardowego wyznaczany jest ze stosunku odchylenia standardowego i średniej skuteczności oddziaływania narzędzia roboczego

$$\sigma = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_{gi} - \bar{S}_g)^2}}{\bar{S}_g}$$

Wartość wskaźnika odchylenia standardowego stanowi na równi ze skutecznością uzasadnione kryterium porównań charakterystyk jakościowych poszczególnych struktur powierzchni roboczej tarczowych narzędzi roboczych do obróbki powierzchni, a przede wszystkim kryterium optymalizacji w procesie modelowania struktury powierzchni tarczy, doboru parametrów kinematycznych narzędzia roboczego, określenia wielkości nakrycia kolejnych przejść, a także doboru dodatkowych ruchów zarówno samej osi obrotu tarczy, jak i jej elementów roboczych.

Oprócz wartości średniej skuteczności oddziaływania  $\bar{S}_g$  i wskaźnika odchylenia standardowego skuteczności maksymalnej i minimalnej ( $S_{g \max}$  i  $S_{g \min}$ ) wyniki obliczeń zawierają wartość wskaźnika odchylenia względnego, wyznaczanego ze wzoru

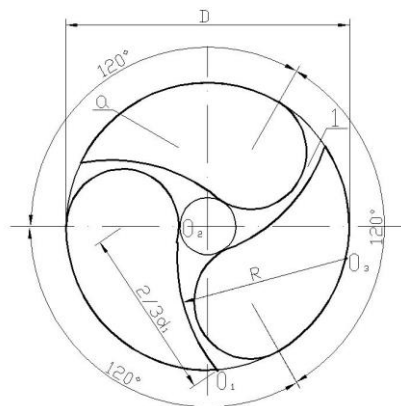
$$\varepsilon = \frac{S_{g \max} - S_{g \min}}{\bar{S}_g}$$

Wskaźnik odchylenia względnego  $\varepsilon$  daje informację o równomierności rozkładu  $S_{gi}$  tylko na podstawie dwóch sensorów, niemniej jednak może on stanowić kryterium oceny oddziaływania narzędzi roboczych na obrabianą powierzchnię [2].

## 1. Nowa konstrukcja geometryczna segmentów ściernych do obróbki powierzchni mineralnych

Przedmiotem analizy porównawczej ze znanymi rozwiązaniami struktur tarczowych narzędzi roboczych jest tarcza przedstawiona w przykładzie wykonania na rysunku 1.

Tarcza ścierna według wynalazku ma trzy jednakowe elementy ściernie rozmieszczone względem siebie co  $120^\circ$ . Kształt każdego z elementów ściernych oparty jest na okręgu o średnicy  $d_1$  wynoszącej  $\frac{2}{5}$  średnicy  $D$  tarczy, stycznym do obrzeża tarczy i połączonym krzywymi o wypukłościach zwróconych w kierunku obrzeża tarczy, wychodzących z punktu leżącego na obrzeżu tarczy umieszczonym w odległości  $\frac{3}{2}$  średnicy  $d_1$  okręgu od środka tego okręgu.



Rys. 1. Nowa konstrukcja geometryczna segmentów ściernych do obróbki powierzchni mineralnych

## 2. Analiza porównawcza skuteczności oddziaływania na obrabianą powierzchnię nowego rozwiązania tarczowego narzędzia roboczego o zadanych torach ruchu tarczy z istniejącymi rozwiązaniami

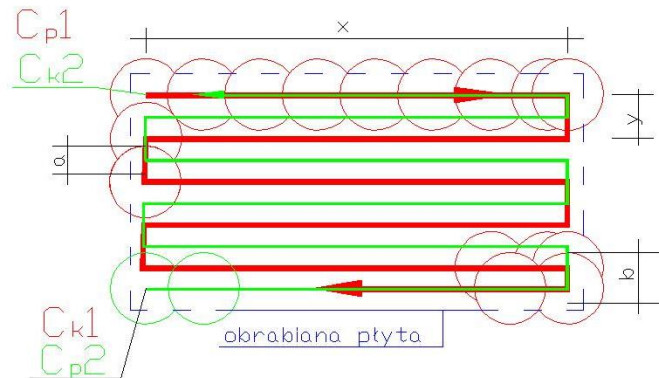
Spośród zagadnień rozwiązywanych za pomocą programu komputerowego pozycję wyjściową stanowi analiza skuteczności oddziaływania stosowanych narzędzi roboczych na obrabianą powierzchnię.

W przeprowadzonej analizie wzięte pod uwagę zostały dwa warianty tras składających się z prostoliniowych torów ruchu:

- ruch naprzemienny (wzdłużny, poprzeczny; rys. 2),
- ruch okrężny po obrysie.

W ruchu wzdłużnym tarcza najpierw wykonuje ruch prostokątny prostopadły do osi Y. Cykl jednego przejścia głowicy obróbczej dla ruchu wzdłużnego uwarunkowany jest wymiarami płyty oraz wysunięciem głowicy obróbczej poza obrys

obrabananej płyty. Ruch głowicy wzdłuż i w poprzek brzegów płyty w osiach X i Y odbywa się z założonym wysunięciem procentowej wartości średnicy głowicy obróbczej poza obrys obrabianej płyty. Głowica obróbcza rozpoczyna pierwszy cykl w narożu obrabianej płyty Cp1 (rys. 2), wykonując ruch do końca drogi względem osi X. Następnie wykonuje skok względem osi Y, zmieniając tym samym kierunek ruchu. Cykl ruchu głowicy obróbczej po obrabianej płycie kończy się w przeciwległym narożu płyty Ck1. Skok głowicy obróbczej względem osi Y powoduje nakrycie przejścia głowicy obróbczej a. Przy wymiarach płyty nie pozwalających na zachowanie jednakowej szerokości nakrycia głowica obróbcza zwiększa bądź zmniejsza nakrycie b w miejscu, gdzie nie może być zachowana stałość nakryć, zachowując wcześniej założone wysunięcie poza obrys płyty. Zmiana toru i kierunku ruchu głowicy obróbczej odbywa się bez wyłączenia ruchu obrotowego głowicy. Kolejne cykle Cp2 ruchu głowicy obróbczej rozpoczynają się w miejscu zakończenia poprzedniego cyklu [4-7].



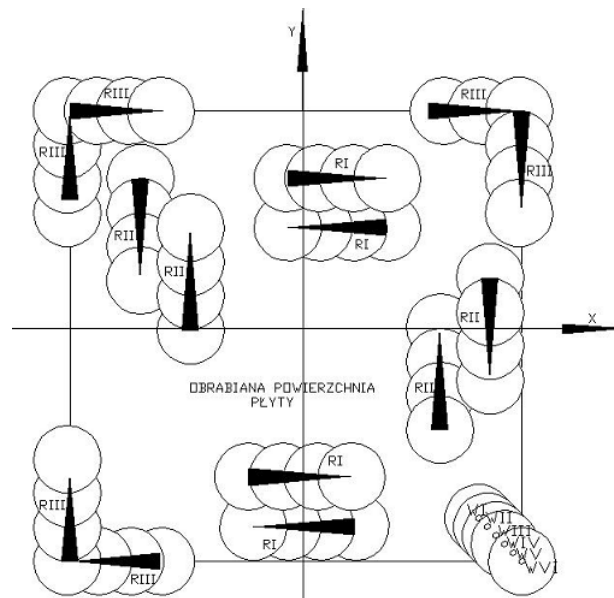
Rys. 2. Tor ruchu wzdłużnego tarczy po obrabianej powierzchni płyty

Ruch okrężny po obrysie płyty również odbywa się z założonym wysunięciem procentowej wartości średnicy głowicy obróbczej poza obrys obrabianej płyty. Głowica obróbcza rozpoczyna pierwszy cykl ruchu po okręgu w miejscu zakończenia ruchu poprzecznego.

Analizując wpływ wyłącznie struktury powierzchni tarczy na wskaźniki skuteczności oddziaływania na obrabianą powierzchnię o założonych wymiarach 2,6 m x 2,6 m, przyjęto: stałą średnicę tarczy  $D = 0,6$  m, niezmienną prędkość ruchu postępowego  $V_p = 0,1$  m/s oraz prędkość ruchu obrotowego  $\omega_0 = 420$  obr/min. Dla tych parametrów kinematycznych w ruchu naprzemiennym założono nakrycie tarczy równe 75% szerokości obróbki równej średnicy tarczy.

W przeprowadzanej analizie przyjęto, że ruch wzdłużny RI (rys. 3) prostopadły do osi Y wykonywany jest w jednym cyklu z zachowaniem nakrycia tarczy wynoszącej 75%, a skok tarczy względem osi Y wynosi 14,5 cm. Ruch poprzeczny RII prostopadły do osi X wykonywany jest w ten sam sposób, co ruch wzdłużny RI

(rys. 3). Dla ruchu wzdłużnego i poprzecznego przyjęto sześć wariantów WI÷WVI (rys. 3) początkowego ustawienia tarczy. Wariant pierwszy (WI) początkowego ustawienia tarczy rozpoczyna się w położeniu  $X = 1,05$ ,  $Y = -1,05$ . Dla pozostałych wariantów wartości  $X$  i  $Y$  wynoszą kolejno: WII (1,10;-1,10), WIII (1,15;-1,15), WIV (1,20;-1,20), WV (1,25;-1,25), WVI (1,30;-1,30). Natomiast ruch okrężny RIII wykonywany jest po zakończonych ruchach wzdłużnym i poprzecznym po obrysie obrabianej płyty w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara przy założeniu, że wysunięcie tarczy poza obrys obrabianej płyty wynosi 50% średnicy tarczy obróbczej.



Rys. 3. Trasy ruchu tarczy, składające się z prostoliniowych torów ruchu: ruch naprzemienny (wzdłużny RI, poprzeczny RII), ruch okrężny RIII po obrysie płyty oraz przyjęte warianty początkowego ustawienia tarczy dla ruchu naprzemiennego (WI÷WVI)

Wyniki tak przeprowadzonych obliczeń wskaźników skuteczności oddziaływania na obrabianą powierzchnię dla trzech różnych struktur powierzchni tarczowego narzędzia roboczego z uwzględnieniem wariantów początkowych ustawienia głowicy zamieszczone zostały w tabeli 1.

Oprócz danych obliczeń  $\bar{S}_g$ ,  $\sigma$  w tabeli 1 podano wyniki obliczeń dla danej tarczy w stosunku do wariantu I. Wzory obliczeniowe są następujące:

– kolumna 5 (tab. 1):




$$\frac{\bar{S}_g \text{ danego wariantu} - \bar{S}_g \text{ I wariantu}}{\bar{S}_g \text{ I wariantu}} \cdot 100\%$$

– kolumna 6 (tab. 1).

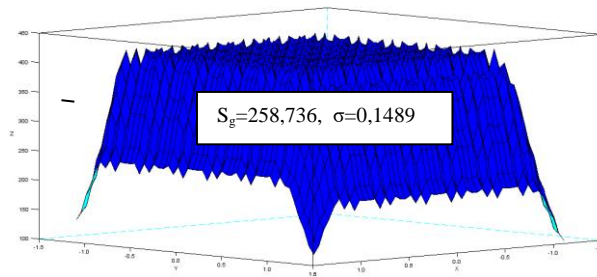
$$\frac{\sigma I \text{ wariantu} - \sigma \text{ danego wariantu}}{\sigma I \text{ wariantu}} \cdot 100\%$$

TABELA 1.

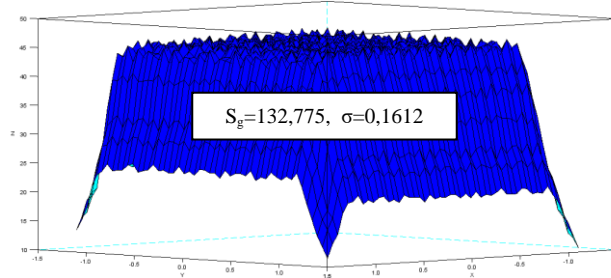
**Wskaźniki skuteczności oddziaływania na obrabianą powierzchnię dla trzech różnych struktur tarczowego narzędzia roboczego z uwzględnieniem wariantów zmian tras ruchu tarczy w zależności od początkowego ustawienia głowicy obróbczej. Średnica tarczy wszystkich narzędzi roboczych  $D = 0,6$  m, prędkość ruchu obrotowego tarczy  $\omega_0 = 420$  obr/min, prędkość ruchu postępowego tarczy  $V_p = 0,1$  m/s**

Struktura powierzchni tarczy	Warianty rozpoczęcia pracy głowicy ścierniej	Wskaźniki skuteczności oddziaływania		Względne zmiany wskaźników porównane do wariantu I, 100%	
		Skuteczność średnia $S_g$	Wskaźnik odchylenia względnego $\sigma$	$\Delta S_g/S_g I$	$\Delta \sigma/\sigma I$
1	2	3	4	5	6
 tarcza I	Wariant I	205,28	0,410889	-	-
	Wariant II	229,157	0,383193	11,63143024	-6,74050656
	Wariant III	246,361	0,283949	20,01217849	-30,8939884
	Wariant IV	251,798	0,227133	22,66075604	-44,72156714
	Wariant V	274,689	0,213717	33,81186672	-47,98668253
	Wariant VI	285,736	0,148967	39,19329696	-63,74519639
 tarcza II	Wariant I	97,463	0,404542	-	-
	Wariant II	107,736	0,387533	10,54041021	-4,204507814
	Wariant III	115,345	0,295838	18,34747545	-26,87088114
	Wariant IV	117,904	0,248189	20,97308722	-38,64938622
	Wariant V	127,123	0,251874	30,4320614	-37,73847956
	Wariant VI	132,775	0,192041	36,23118517	-52,52878564
 tarcza III	Wariant I	34,5032	0,414	-	-
	Wariant II	38,5908	0,384793	11,84701709	-7,054830918
	Wariant III	41,4341	0,286439	20,08770201	-30,81183575
	Wariant IV	42,2662	0,23026	22,49936238	-44,38164251
	Wariant V	46,1681	0,217066	33,80816852	-47,56859903
	Wariant VI	47,9414	0,161209	38,94769181	-61,06062802

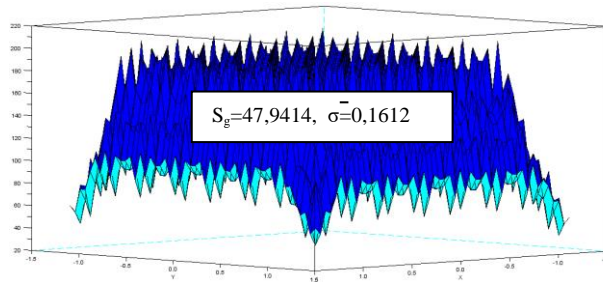
a) tarcza I



b) tarcza II



c) tarcza III



Rys. 4. Wykresy skuteczności oddziaływania tarczowego narzędzia roboczego na obrabianą powierzchnię: a) o nowej konstrukcji elementów roboczych (tarcza I); b), c) o znanej dotychczas konstrukcji elementów roboczych (tarcze II i III)

Z danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że optymalna, według minimum wskaźnika odchylenia standardowego, jest nowa forma narzędzia roboczego przy założeniu wariantu VI ustawienia początkowego elementu roboczego. Należy zaznaczyć, że tor ruchu tarczy według wariantu VI dał najlepsze wyniki dla wszystkich rozpatrywanych struktur narzędzi roboczych. Dla przyjętych w analizie parametrów kinematycznych oraz torów ruchu tarczy (wariant VI) przy jednym cyklu najkorzystniejszy wskaźnik odchylenia standardowego wynosi  $\sigma = 0,148967$ . Przy tych samych założeniach dwie pozostałe analizowane tarcze dały większą wartość wskaźnika odchylenia standardowego, tarcza II  $\sigma = 0,192041$ , a tarcza III  $\sigma = 0,161209$ .

Wykresy rozkładów skuteczności oddziaływania analizowanych tarczowych narzędzi roboczych (rys. 4) na obrabianą powierzchnię wskazują na zbliżoną równomierność czoła obróbki dla tarczy I i tarczy II, natomiast tarczę III cechuje znaczne pogorszenie i nierównomierność czoła obróbki.

Jak wskazuje tabela 1, różnica pomiędzy wariantem I a pozostałymi wariantami początkowego ustawienia elementu roboczego, niezależnie od analizowanej tarczy, obrazuje duże rozrzucenie wyników. Przykładowo dla nowego rozwiązania tarczy różnica pomiędzy wariantem I a wariantem VI według minimum wskaźnika odchylenia standardowego wynosi aż 63,74%. Podobne rozrzuty wyników otrzymujemy dla pozostałych analizowanych struktur tarczowych narzędzi roboczych przy wariantach I i VI. Tak więc zbyt duża rozbieżność pomiędzy wariantem I a pozostałymi wariantami wskazuje na to, aby odrzucić celowość jego stosowania.

Wyniki przeprowadzonej analizy wyraźnie wskazują na zasadność stosowania w procesie obróbki powierzchni mineralnych tarczy o nowej formie geometrycznej z wykorzystaniem wariantu VI ustawienia początkowego tarczy.

## Literatura

- [1] Rajczyk J., Kosiń M., Methodology of analyzing a new geometry design of a friction plate effect on the engineered surfaces, Proceedings of the 3rd International Conference on Contemporary Problems in Architecture and Construction, Beijing, China, November 20-24, 2011.
- [2] Rajczyk J., Podstawy naukowe doboru struktury i kinematyki tarczowych narzędzi roboczych maszyn do obróbki powierzchni betonu, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
- [3] Rajczyk J., Berezak S.R., Bolotnyj A.V., Ocena tarczowego elementu roboczego maszyny do zacierania powierzchni betonowych z dodatkowym ruchem obrotowym, ZN Politechniki Częstochowskiej nr 152, Budownictwo, z. 8, Częstochowa 2004.
- [4] Rajczyk J., Rajczyk M., Technologia robót kamieniarskich, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1997.
- [5] Rajczyk J., Kosiń M., Maszyny do obróbki powierzchni przez szlifowanie, [w:] Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, praca zbiorowa pod red. T. Bobki, J. Rajczyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
- [6] Rajczyk J., Kosiń M., Pomiar parametrów szorstkości nawierzchni betonowej, [w:] Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, praca zbiorowa pod red. T. Bobki, J. Rajczyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
- [7] Rajczyk J., Rajczyk Z., Kosiń M., Dobór parametrów w technologii szlifowania powierzchni płyty betonowej, [w:] Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, praca zbiorowa pod red. T. Bobki, J. Rajczyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.

## Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę porównawczą skuteczności oddziaływania na obrabianą powierzchnię nowego rozwiązania narzędzia roboczego z dotychczas znanymi rozwiązaniami. Opisano strukturę analizowanej tarczy oraz założone trasy ruchu tarczy po obrabianej powierzchni. Wyniki przeprowadzonej analizy zostały pokazane w formie tabeli i wykresów skuteczności oddziaływania.



**Comparative analysis of the effectiveness of the influence on the worked surface of the new solution of the working tool with the so far known****Abstract**

In the article a comparative analysis of the effectiveness of the influence on the worked surface of the new solution of the working tool was described with solutions so far known. A structure of the analysed shield and routes put on of the move of the shield were described by the worked area. Results of conducted analysis were shown in the form of a table and graphs of the effectiveness of the influence.