

# Hydrostrumieniowe odtwarzanie quasi-przestrzennego obiektu na podstawie jego obrazu

## Hydrojet rendering of quasi-spatial object based on the image

PRZEMYSŁAW BORKOWSKI  
JÓZEF BORKOWSKI  
MICHAŁ BIELECKI \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.342

W artykule przedstawiono fotometryczny model quasi-przestrzennego sposobu odwzorowywania obiektów erodowanych strugą wodno-ścierną (AWJ). Uzyskane zależności umożliwiły określenie zakresu i warunków badań, w których poszczególne przejścia strugi AWJ nakładają się na siebie w sposób „na zakładkę”. Zaprezentowane wyniki badań szerokości kąto-wego spektrum dobrego postrzegania wyerodowanego obiektu świadczą o przydatności takiego sposobu rzeźbienia.

**SŁOWA KLUCZOWE:** struga wodno-ścierna, rzeźbienie obiektów, model procesu

*Photometric model of quasi-spatial mapping of objects eroded with abrasive-water jet (AWJ) is presented in the paper. Obtained relations let to determine the scope and terms of research, in which respective AWJ jet paths overlap in the form of 'tab'. Research' results of the angular width of good perception of eroded object testify to the usefulness of such a process-sculpturing.*

**KEYWORDS:** abrasive-water jet, objects' sculpturing, model of process

Rozwój prac badawczych [5÷7, 9], a zwłaszcza osiągnięcia własne ostatniego dziesięciolecia [1, 2], umożliwiły zastosowanie strugi AWJ do odtwarzania quasi-przestrzennych obiektów na podstawie ich obrazu [1]. Opublikowanie szczegółów tej metody spowodowało gwałtowny rozwój jej zastosowań [3, 4, 10], niekiedy realizowanych [8] nawet z naruszeniem praw autorskich.

Dzięki własnym badaniom [1] i analizom [1, 2], opracowano zautomatyzowaną metodę przestrzennego kształtowania różnych materiałów [1]. Analiza teoretycznych podstaw [1, 2] tej metody umożliwia, na podstawie wirtualnych obrazów 2D, wykonywanie płaskorzeźb 3D. Opracowano kilka różnych sposobów technologicznych [1] obróbki realizowanej przy użyciu wysokociśnieniowej strugi wodno-ściernej.

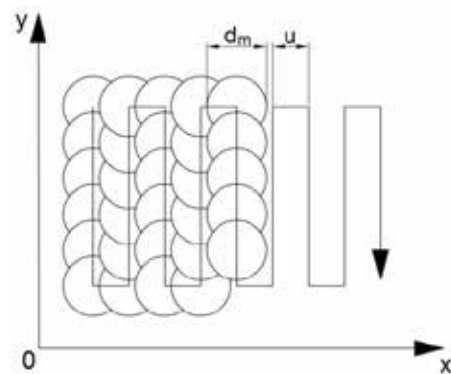
Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyników hydrostrumieniowego kształtowania płaskorzeźb, w którym kolejne przejścia strugi AWJ nakładają się na poprzednie.

### Istota sposobu rzeźbienia strugą AWJ „na zakładkę”

Istota każdego z opracowanych jednozabiegowych procesów [1, 2] quasi-przestrzennego erodowania materiału polega na selektywnym wyborze zmiennej głębokości wyerodowania przez strugę AWJ przemieszczającą się z prędkością posuwu zróżnicowaną w zależności od luminancji poszczególnych obszarów wirtualnego obrazu.

\* Prof. dr hab. inż. Przemysław Borkowski (pborkowski@cuprum.wroc.pl) – KGHM Cuprum CBR; prof. dr hab. inż. Józef Borkowski (jozef.borkowski@tu.koszalin.pl), dr inż. Michał Bielecki (michal.bielecki@tu.koszalin.pl) – Politechnika Koszalińska

Przypomina to zasadę dyskretnego skanowania, w którym kolejne obszary o zróżnicowanych zagłębieniach, ułożone jeden za drugim tworzą wiersze (rys. 1), te zaś umieszczone obok siebie stanowią płaskorzeźbę erodowanego obiektu.



Rys. 1. Schemat układu trajektorii ruchu strugi AWJ „na zakładkę” w procesie hydrostrumieniowego erodowania płaskorzeźby obiektu

W takim sposobie hydrostrumieniowego rzeźbienia materiału „na zakładkę”, realizowanego przy użyciu specjalnej obrabiarki [1], średnica  $d_m$  strugi AWJ na powierzchni erodowanego materiału zwykle jest większa od odległości ( $u$ ) pomiędzy sąsiednimi trajektoriami tej strugi. Dlatego liczba krotności przejść strugi AWJ, mająca wpływ na zagłębienie rozpatrywanego obszaru erodowanego materiału, wynosi:

$$n = \frac{d_m}{u} \quad (1)$$

Należy także uwzględnić to, że wartość tej liczby wpływa na jakość kształtowanej powierzchni. Gdy jej wartość pochodzi z przedziału  $1 < n < 2$ , to rozpatrywana powierzchnia jest kształtowana przez trzykrotne przejście strugi AWJ (przez strugę zasadniczą oraz częściowo przez poprzednią i następną), natomiast gdy ta wartość zawiera się w przedziale:  $2 < n < 4$ , to występuje pięciokrotne przejście strugi (oprócz strugi zasadniczej, częściowo także przez dwie poprzednie i dwie następne). W takich warunkach jednostkowy czas erodowania materiału w wybranym obszarze można określić z ogólnego wzoru:

$$\Delta t_i = \frac{d_m}{n v_i} \quad (2)$$

w którym  $v_i$  jest prędkością przemieszczania się strugi AWJ.

Uwzględniając powyższe relacje oraz wcześniejszą metodologię zastosowaną dla opracowania teoretycznego modelu jednozabiegowego rzeźbienia strugą AWJ [2], określono następujące wyrażenie opisujące model hydrostrumieniowego sposobu rzeźbienia materiału „na zakładkę”:

$$h_i = H L_i^{-a} \quad (3)$$

w którym:  $h_i$  jest głębokością wyerodowania rozpatrywanego obszaru materiału,  $L_i$  – luminancją rozpatrywanego elementu powierzchni świecącej w danym kierunku, zaś

$H = b \left( \frac{n \Delta W K_m}{\Delta \omega \Delta S d_m} \right)^a$  wartością stałą, uwzględniającą wykładnik potęgowy ( $a$ ) i czynnik wzoru empirycznego ( $b$ ) oraz takie istotne warunki fotometryczne jak: intensywność jednostkowego strumienia energii ( $\Delta W$ ), równoważnik promieniowania ( $K_m$ ), kąt bryłowy oświetlenia rozpatrywanego obszaru powierzchni erodowanego obiektu ( $\Delta \omega$ ) i obszar powierzchni wysyłającej promieniowanie ( $\Delta S$ ), a także wcześniej wyjaśnione wielkości charakteryzujące technologię rzeźbienia ( $n$ ) i głowicę roboczą ( $d_m$ ) zastosowane w tej obróbce.

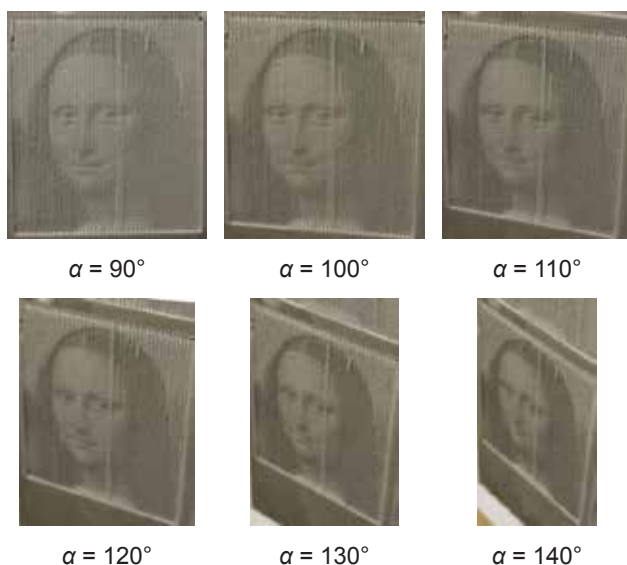
Analiza zależności występujących pomiędzy fotometrycznymi właściwościami obrazu 2D, w tym zwłaszcza fluktuacji luminancji, a warunkami hydrostrumieniowego erodowania „na zakładkę” quasi-przestrzennego obiektu 3D, umożliwiło opracowanie modelu takiego procesu. Wykorzystano w nim bezpośrednie sprzężenie głębokości erodowania materiału z luminancją obrazu i prędkością posuwu strugi AWJ, co uprościło metodę sterowania takim procesem.

### Jakość płaskorzeźb wyerodowanych „na zakładkę”

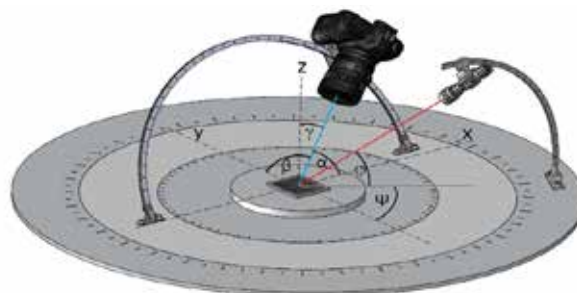
Do badania jakości kąтового postrzegania quasi-przestrzennych obiektów wyerodowanych strugą AWJ „na zakładkę”, skonstruowano specjalny przyrząd (rys. 2).

Przykładowe wyniki badań dla różnych kątów obserwacji obiektów quasi-przestrzennych erodowanych „na zakładkę” ilustrują obrazy zamieszczone na rys. 3.

Przykłady obrazów przedstawiających rzeźbę twarzy Mony Lisy obserwowaną pod różnymi kątami w jednej z ćwiartek obszaru przestrzeni pomiarowej zostały tu celowo ograniczone ze względu na objętość niniejszego artykułu. Dowodzą one niezbicie, iż względnie wyraźna jakość postrzegania wyerodowanych w ten sposób obiektów występuje praktycznie w całej przestrzeni obserwacji, o ile jest ona dostatecznie naświetlona przez odpowiednio usytuowane źródło światła.



Rys. 3. Wizualne efekty oddziaływania zmiany kąta obserwacji  $\alpha$  na jakość postrzegania obrazów płaskorzeźby obiektu wyerodowanego sposobem „na zakładkę” (dla  $n = 1$ ,  $\beta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\varphi = 55^\circ$ ,  $\psi = 45^\circ$ )



Rys. 2. Schemat przyrządu do przestrzennej obserwacji obiektów 3D wraz z układem kąтового określania usytuowania fotokamery

### Podsumowanie

Opracowany model hydrostrumieniowego procesu erodowania „na zakładkę” quasi-przestrzennego obiektu 3D, na podstawie jego obrazu 2D, umożliwi efektywne sterowanie i zwiększa dokładność takiej metody rzeźbienia. Dzięki temu w sposób bezpośredni i niejako automatyczny uzyskuje się zadaną głębokość erodowania, bez problematycznego dynamicznego nadzorowania procesu takiej obróbki.

Taki sposób wykonywania płaskorzeźb został pomyślnie sprawdzony w warunkach praktycznych. Wykonywane quasi-przestrzenne obiekty dobrze odwzorowują kopiowany obraz, o czym świadczy wyraźne jego postrzeganie w szerokim zakresie kątów przestrzennego ustawienia.

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów można uznać, że taki sposób hydrostrumieniowego erodowania „na zakładkę” quasi-przestrzennych obiektów jest technicznie skuteczny a ponadto rozwojowy.

### LITERATURA

1. Borkowski P. „Podstawy wysokociśnieniowych technologii hydrostrumieniowych”. Wydawn. Uczelniane PK (ISSN 0239-7129, ISBN 978-83-7365-207-1), Koszalin 2010.
2. Borkowski P., Borkowski J., Bielecki M. „Teoretyczny model quasi-przestrzennego kształtowania obiektów metodą hydrostrumieniową z wykorzystaniem luminancji ich obrazu”. *Mechanik*, Nr 8–9 (2014): s. 77–79.
3. Cutler V., Doolan S. “Controlled depth surface abrasion for parquetry in glass”. *20th Int. Conf. Water Jetting, BHR Group Graz* (2010): pp. 91–108.
4. Doolan S. “The development of strategies for working with three-dimensional glass forms using two-dimensional waterjet cutting”. *21th Int. Conference Water Jetting, BHR Group. Ottawa* (2012): pp. 143–157.
5. Groppetti R., Gutema T., di Lucchio A. “A contribution to the analysis of some kerf quality attributes for precision abrasive water jet cutting”. *14th Int. Conf. on Jetting Technology, BHR Group. Brugge* (1998): pp. 253–269.
6. Hashish M. “Optimization factors in abrasive-waterjet machining”. *Trans. ASME. Journal of Engineering for Industry*. Vol. 113/1 (1991): pp. 29–37.
7. Laurinat A., Louis H., Meier-Wiechert G. “A model for milling with abrasive water jets”. *7th American Water Jet Conference*. Seattle, Washington. Vol. 8 (1993): pp. 119–139.
8. Webers N., Olsen C., Miles P., Henning A. “Etching 3D patterns with abrasive waterjets”. *20th Int. Conference Water Jetting, BHR Group. Graz* (2010): pp. 51–64.
9. Zhang S., Summers D.A., Shepherd J.D. “Experimental investigation of rectangular pocket milling with abrasive water jet using specially designed tool”. *17th Int. Conference on Water Jetting, BHR Group. Mainz, Germany* (2004): pp. 435–447.
10. Zhao J., Galecki G., Summers D.A. “Texturing surfaces to generate artistic models”. *20th Int. Conference Water Jetting, BHR Group. Graz* (2010): pp. 65–76.