

## Wirtualne stanowisko laboratoryjne wysokociśnieniowej wycinarki strugą wodną

K. Musiał<sup>a</sup>, R. Honysz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
email: nagash40k@gmail.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Inżynierii Materiałów Biomedycznych  
email: rafal.honysz@polsl.pl

**Streszczenie:** Artykuł przedstawia wirtualne stanowisko laboratoryjne wysokociśnieniowej wycinarki strugą wodną. Wirtualną maszynę opracowano w technologii webowej, by możliwe było jej uruchomienie niezależnie od systemu operacyjnego użytkownika. Dokonano przeglądu literatury dotyczącej technologii waterjet, wybrano maszynę wzorcową po czym opracowano symulator wycinarki wodnej. Dodatkowo opracowano zestaw instrukcji szkoleniowych.

**Abstract:** This paper describes a virtual laboratory stand of high pressure water jet cutting machine. Virtual machine was developed in web technology to allow it to be run independently of the user's operating system. An overview of the literature on waterjet technology was done, the reference machine was selected and then a water cutting machine simulator was developed. In addition, a set of training instructions was developed.

**Słowa kluczowe:** cięcie strugą wodną, technologia waterjet, symulacja, wirtualna rzeczywistość.

### 1. WSTĘP

Woda jest żywiołem, który na przestrzeni czasu jest w stanie przebijać skały i przenosić ogromne ilości gleby podmywając brzegi rzeki, przyczyniając się do zmiany jej koryta. Odegrał on znaczą rolę w formowaniu skorupy ziemskiej. Dzięki obserwacji zdolności erozyjnych wody rozpoczęło się wykorzystywanie jej w szerokim zakresie zastosowań. Możliwości erozyjne przepływu wody były już wykorzystywane w starożytnym Egipcie, gdzie przekierowywano koryto rzeki, tak aby podmywało glebę na złożach wartościowych minerałów. Podczas gorączki złota, która zapanowała w Stanie Kalifornia w Stanach Zjednoczonych pierwszy raz zastosowano strumień wody pod ciśnieniem w celu wypłukania wyżynnych skał osadowych, zawierających złoto. Wraz z rozwojem technologii

wydobycia złóż z wykorzystaniem strugi wody cięto coraz twardsze skały. Początkowe eksperymenty wykonywane przez Związek Radziecki pozwalały uzyskać ciśnienie do 7 000 barów. W latach 70. XX w. w Stanach Zjednoczonych uzyskano ultra wysokie ciśnienie rzędu 40 000 barów. W latach 80. XX w. naukowcy z Flow Research zaadaptowali pomysł dodawania ścierniwa do strugi wody do technologii cięcia materiałów inżynierskich. Pozwoliło to na przecinanie twardych materiałów – metali i ceramiki – przy minimalnym uszkodzeniu materiału na krawędzi cięcia. Korzyści płynące z nowej technologii przyćmiewały koszty eksploatacyjne – ścierniwo przyczyniało się do szybkiego erodowania dyszy i przewodów transportujących je do dyszy. Nowa technologia cięcia twardych materiałów została określona jako zimne cięcie, ze względu na nie występowanie naprężeń termalnych – tak jest w przypadku konwencjonalnych metod separacji materiałów [1-17].

Podstawowym założeniem technologii Waterjet jest erozyjne działanie na materiał uformowanej cienkiej strugi wodnej o naddźwiękowej prędkości. Energia kinetyczna wody skoncentrowana na bardzo małym obszarze powoduje gwałtowne płnięcie materiału oraz inicjuje mikroszczeliny. Proces przecinania materiału przy wykorzystaniu wysokociśnieniowej strugi wodnej jest charakteryzowany parametrami hydraulicznymi strugi oraz parametrami technologicznymi [3, 6-9]:

1. Parametry hydrauliczne:
  - a. ciśnienie strugi,
  - b. kształt strugi – średnica i jej koherentność,
  - c. moc strugi,
2. parametry technologiczne procesu cięcia:
  - a. posuw (prędkość przecinania),
  - b. odległość dyszy od materiału.

## 2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było zaprojektowanie i wykonanie narzędzia dydaktycznego w postaci wirtualnego stanowiska komputerowego do szkolenia studentów w zakresie obsługi wycinarki Waterjet. Wraz z zaprogramowanym symulatorem maszyny wymagane było dostarczenie zestawu instrukcji, przy których wykorzystaniu możliwe będzie przeprowadzanie szkoleń w warunkach bezpiecznych dla studentów, przy jak najniższych kosztach.

## 3. PRACA WŁASNA

### 3.1. Symulowany sprzęt

W celu opracowania wirtualnego stanowiska pracy przy wycinarce waterjet jako wzór wybrano wycinarkę MultiCam WaterJet V-Series, przedstawioną na rysunku 1. Maszyna jest wyposażona w zintegrowany komputer klasy PC służący do zarządzania oraz w podręczny panel MultiCam EZ Control, który jest „sercem” każdej maszyny tnącej MultiCam. Wycinarkę wyposażono w 12 MB pamięci wewnętrznej na pliki zawierające kod programu, które można przesyłać przy wykorzystaniu standardów Ethernet oraz RS232. Dostęp do programów zapisanych w pamięci maszyny uzyskiwany jest poprzez podręczny

panel sterujący MultiCam EZ Control. Dodatkowo przy jego wykorzystaniu możliwe jest sterowanie dyszą waterjet [10].



Rysunek 1. Wycinarka wysokociśnieniową strugą wodną MultiCam WaterJet V-Series [10]  
*Figure 1. High-pressure water jet cutting machine MultiCam Water Jet V-Series*

### **3.2. Środowisko symulacyjne**

Do budowy symulatora wykorzystano Isometric HTML5 JavaScript Display Engine. Silnik izometryczny pozwala na tworzenie scen z wykorzystaniem płaskich arkuszy, które mogą być pozycjonowane i zorientowane względem siebie zależnie od woli programisty. Wykorzystanie HTML5 oraz JavaScript pozwala uzyskać kompatybilność z każdym systemem operacyjnym oraz każdą nowoczesną przeglądarką internetową [18-20].

### **3.3. Założenia projektowe**

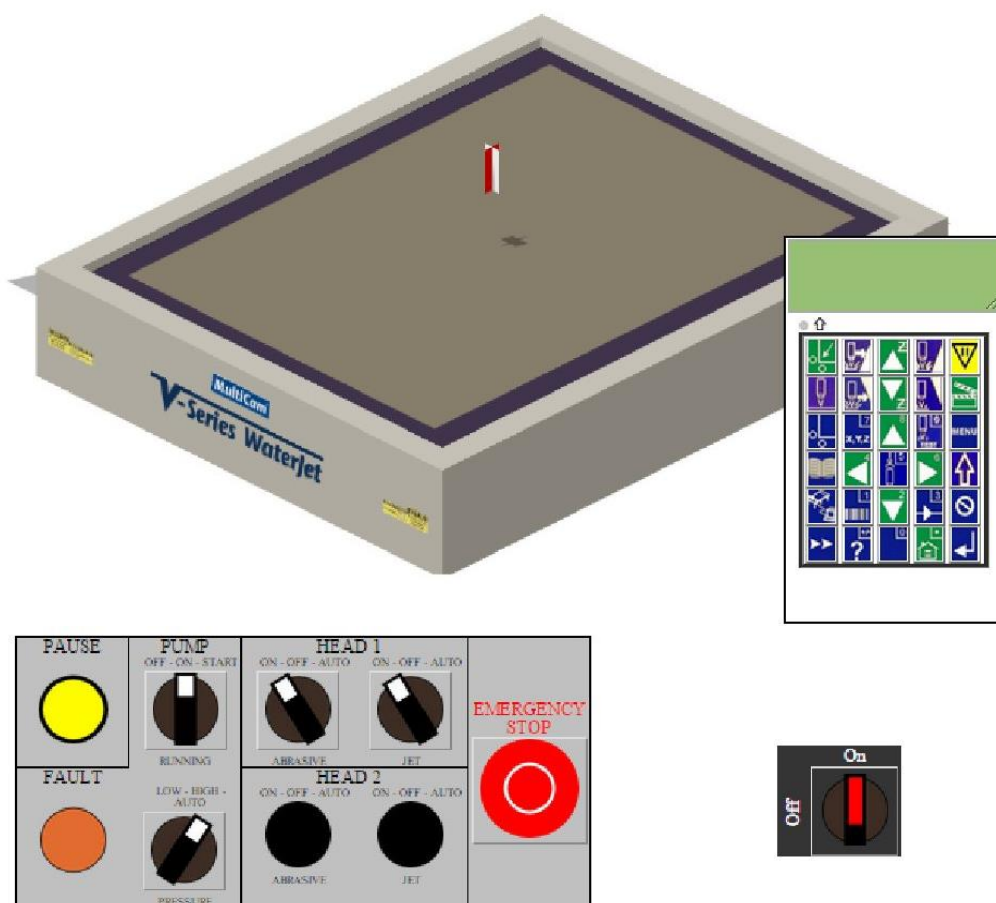
Przed przystąpieniem do prac nad budową wirtualnego stanowiska wycinarki waterjet w oparciu o maszynę MultiCam WaterJet V-Series, wyposażoną w podręczny panel sterowania MultiCam EZ Control założono główne zadania jakie ma spełniać symulator:

1. dostarczenie narzędzia edukacyjnego zapewniającego podstawowe szkolenie w zakresie obsługi wycinarki waterjet,
2. przedstawienie obszaru roboczego w rzucie izometrycznym pozwalającym na dokładne zobrazowanie sposobu poruszania się dyszy nad materiałem,

3. przeprowadzenie użytkownika przez procedurę uruchomienia maszyny,
4. pokazanie sposobów pozycjonowania dyszy nad materiałem przy wykorzystaniu wirtualnego podręcznego panelu sterowania,
5. zasymulowanie procesu cięcia blachy w sposób manualny oraz poprzez wybór predefiniowanego programu zapisanego na wirtualnym serwerze danych.

#### 4. OPIS WIRTUALNEGO STANOWISKA WYCINARKI STRUGĄ WODNĄ

Stosując języki programowania webowego: HTML5, CSS3 oraz JavaScript opracowano symulator wycinarki waterjet, który przedstawiono na rysunku 2. Dzięki zastosowanej technologii możliwe jest uruchomienie symulatora w przeglądarce internetowej niezależnie od systemu operacyjnego zainstalowanego na komputerze. Opracowywana symulacja komputerowa wirtualnego stanowiska pracy przy wycinarce waterjet nie jest w stanie oddać pełni funkcjonalności rzeczywistej maszyny. Jednakże możliwe jest zasymulowanie w uproszczony sposób podstawowych cech użytkowych wycinarki. Program tego typu niesie ze sobą wartość edukacyjną, ze względu na szansę zapoznania się z działaniem tak skomplikowanej maszyny bez groźby jej uszkodzenia poprzez nieumiejętną obsługę.



Rysunek 2. Okno symulatora wycinarki waterjet zawierające obszar roboczy, panel sterowania oraz zestaw przełączników służących do uruchomienia maszyny

Figure 2. Waterjet cutting machine simulator window containing the work area, a control panel and a set of switches used to start the machine

Stół roboczy wirtualnego stanowiska wycinarki waterjet zbudowano w oparciu o silnik Sheetengine – Isometric HTML5 JavaScript Display Engine, co pozwoliło na jego uproszczone przedstawienie rzucie izometrycznym. Ze względu na specyfikę silnika opartego na płaskich arkuszach niemożliwym było zaimplementowanie wyboru grubości blachy, przez co zdecydowano się na predefiniowane ustawienie szarego arkusza na środku stołu wycinarki. Wykorzystując specyfikacje oraz instrukcje obsługi maszyny zbudowano wirtualny panel sterowania wyposażony w 30 klawiszy funkcyjnych oraz w cztero-liniowy wyświetlacz LCD mieszczący 92 znaki. Dodatkowo symulator został wyposażony w wirtualny panel kontrolny – umiejscowiony poniżej zdjęcia maszyny – zawierający zestaw przełączników służących do uruchomienia lub wyłączenia maszyny. Faktyczny panel zasilania znajduje się na tylnej ścianie maszyny. Po zbudowaniu uproszczonego obszaru roboczego oraz wirtualnego panelu sterowania, zaprogramowano większość funkcji klawiszy wirtualnego panelu sterowania, które oceniono jako niezbędne w celu spełnienia zadań stawianych przed opracowywanym symulatorem.

Proces cięcia zasymulowano na dwa sposoby:

- manualny, pozwalający na ręczne sterowanie dyszą podczas cięcia blachy,
- automatyczny, poprzez wybór predefiniowanego programu cięcia zapisanego w pliku na wirtualnym serwerze podłączonym do maszyny.

## **5. ĆWICZENIA SZKOLENIOWE Z WYKORZYSTANIEM SYMULATORA CIĘCIA STRUJĄ WODNĄ**

### **5.1. Uruchomienie oraz wyłączanie wirtualnej maszyny**

W celu uruchomienia wirtualnej maszyny, należy:
























1. Aktywować pompę, przekręcając przełącznik PUMP do pozycji start.
2. Aktywować doprowadzanie strugi wody do dyszy – przełącznik HEAD 1 Jet.
3. Aktywować doprowadzanie ścierniwa do dyszy – przełącznik HEAD 1 Abbrasive.
4. Ustawić ciśnienie na pompie – przełącznik PRESSURE. Domyślnie ustawione jest na AUTO.
5. Uruchomić maszynę – przełącznik ON/OFF.

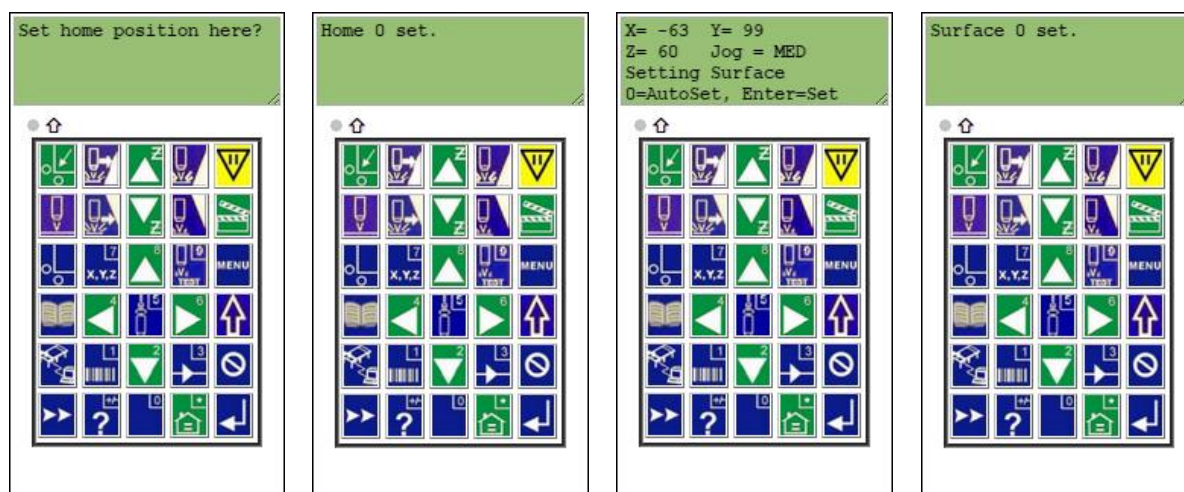
W przypadku gdy powyższe systemy zostały uruchomione poprawnie włączenie zasilania spowoduje odświeżenie okna w przeglądarce internetowej i załadowanie pliku z obszarem roboczym maszyny na którym należy wykonać pozostałe dwa ćwiczenia. Po skończonych ćwiczeniach należy wyłączyć wirtualną maszynę, w odwrotny sposób do włączania. Spowoduje to ponowne załadowanie okna głównego.

### **5.2. Symulacja cięcia materiału w trybie manualnym**

Sercem symulatora jest obszar roboczy, na którym przeprowadza się wszystkie czynności związane z pozycjonowaniem dyszy oraz cięciem materiału. Przed przystąpieniem do ćwiczenia zaleca się zapoznanie się z treścią instrukcji obsługi dołączonej do symulatora, w której wyjaśniono działanie zaprogramowanych klawiszy wirtualnego panelu sterowania.

Aby manualnie wyciąć kształt w arkuszu blachy należy:



1. Korzystając z kursorów poziomych     ustawić dyszę w dowolnej pozycji nad materiałem, z której zostanie rozpoczęte wycinanie kształtu.
2. Zdefiniować ten punkt jako punkt domowy klawiszem set home , a następnie zatwierdzić klawiszem enter  (rysunki 3a,b).
3. Wcisnąć klawisz set surface , wyświetli się komunikat przedstawiony na rysunku 3c, a następnie zatwierdzić klawiszem enter  (rysunek 3d).
4. Korzystając z kursorów pionowych   obniżyć dyszę do powierzchni materiału na wysokość  $\pm 3$  mm. jeśli dysza zmieni kolor na szary oznacza to, że uderzyła w powierzchnię materiału. W rzeczywistej maszynie może to doprowadzić do uszkodzenia dyszy.
5. Po poprawnym ustawieniu dyszy zatwierdzić klawiszem enter .
6. Wcisnąć klawisz Start , aby rozpocząć cięcie manualne, na ekranie wyświetli się komunikat „Manual cutting activated.”.
7. Korzystając z kursorów poziomych     ustawić wyciąć dowolny kształt w arkuszu blachy pamiętając, by zakończyć kontur przecinając się przez pierwszą wyciętą linię, tak jak przedstawiono to na rysunku 4.
8. Po przecięciu pierwszej linii należy wyłączyć strugę wody przyciskiem Start .
9. Korzystając z kursorów pionowych   unieść dyszę.
10. Korzystając z kursorów poziomych     odjechać dyszą na środek stołu. Odjechanie dyszy do pozycji początkowej oznacza pomyślne zakończenie ćwiczenia.

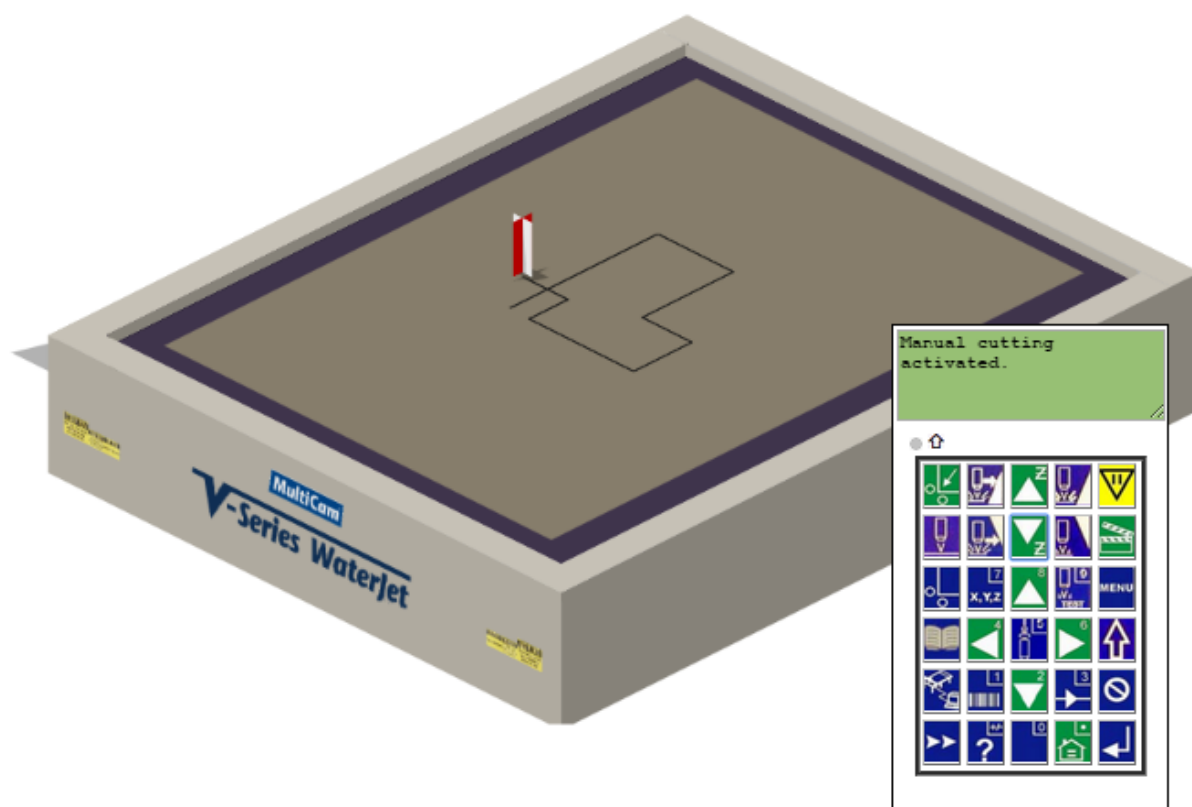


Rysunek 3. Komunikaty wyświetlane na ekranie kontrolera: a) po wciśnięciu klawisza set home; b) po zatwierdzeniu wyboru klawiszem enter. c) po wciśnięciu klawisza set surface; d) po zatwierdzeniu wyboru klawiszem enter














Figure 3. Messages displayed on the controller's screen: a) after pressing set home key; b) After confirming the selection with the enter key. c) after pressing set surface key; d) after confirming the selection by pressing the enter

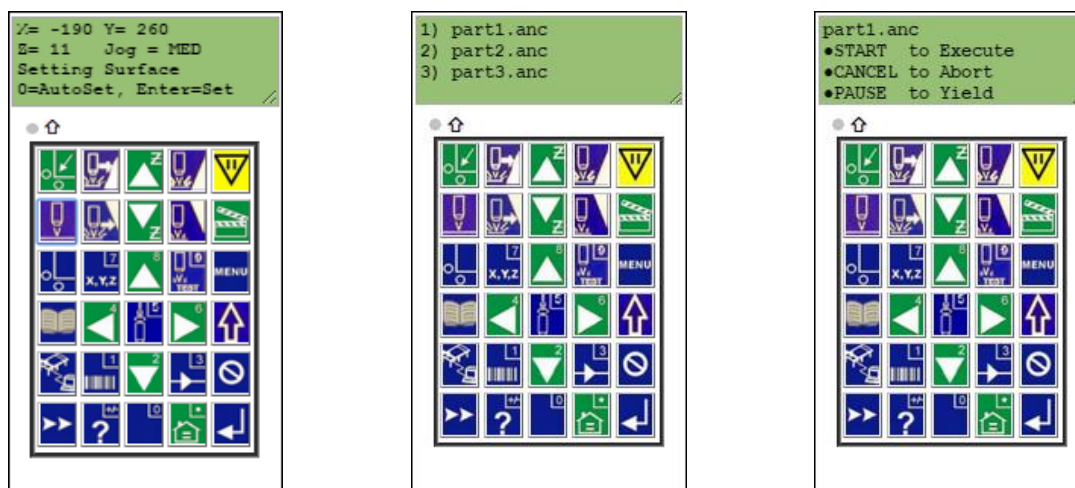
### 5.3. Symulacja cięcia materiału w trybie automatycznym

1. Wcisnąć klawisz move .
2. Klawiszami numerycznymi wprowadzić współrzędne lewego dolnego rogu arkusza blachy X:-190; Y: 260; Z: 9. Każdą współrzędną należy zatwierdzić klawiszem enter .



Rysunek 4. Gotowy element wycięty manualnie  
 Figure 4. The finished element cut in manual mode

3. Gdy na ekranie pojawi się znak zapytania, wciśnięcie klawisza enter  spowoduje przeniesienie dyszy w zadane współrzędne.
4. Możliwe jest anulowanie wprowadzania współrzędnych poprzez wciśnięcie klawisza cancel .
5. Zdefiniować ten punkt jako punkt domowy klawiszem set home , a następnie zatwierdzić klawiszem enter .
6. Wcisnąć klawisz set surface  i zatwierdzić klawiszem enter , co przedstawiono na rysunku 5a.
7. Wcisnąć klawisz dnc , na ekranie pojawi się komunikat o łączeniu z serwerem, po 2 sekundach pokaże się lista plików do wyboru jak na rysunku 5b.
8. Korzystając z klawiatury numerycznej wybrać z listy plik do wykonania – na przykład 1, na ekranie pokaże się komunikat przedstawiony na rysunku 5c.
9. Zatwierdzić klawiszem Start .
10. W razie pomyłki anulować klawiszem cancel  i powtórzyć krok 7.
11. Po zatwierdzeniu wyboru zostanie automatycznie wycięty element, co przedstawiono na rysunku 6.
12. Korzystając z kursorów pionowych   unieść dyszę.
13. Korzystając z kursorów poziomych   odjechać dyszą na środek stołu. Odjechanie dyszy do pozycji początkowej oznacza pomyślne zakończenie ćwiczenia.



Rysunek 5. Komunikaty wyświetlane na ekranie kontrolera: a) przy programowaniu współrzędnych; b) po załadowaniu plików z serwera; c) po wybraniu pliku z programem do wykonania

Figure 5. Messages displayed on the controller's screen: a) when programming the coordinate; b) after loading the file from the server; c) after selecting a file with a program to be executed



Rysunek 6. Gotowy element wycięty przy wykorzystaniu predefiniowanego programu zapisanego na wirtualnym serwerze plików

Figure 6. Finished element cut using a predefined program stored on the virtual file server



## 6. PODSUMOWANIE

W pracy dokonano przeglądu literatury dotyczącej rozwoju technologii wykorzystującej wysokociśnieniowy strumień wody. Jednym z szerokiego spektrum zastosowań, do których możliwe jest wykorzystanie strumienia wody pod wysokim ciśnieniem jest cięcie materiałów.

Przedmiotem zainteresowania w pracy magisterskiej była technologia abrazyjnego cięcia strumieniem wody. W celu zaprojektowania wirtualnego stanowiska pracy przy wysokociśnieniowej wycinarkie strugą wodną wybrano model MultiCam WaterJet 3000 Series wyprodukowany i dystrybuowany przez MultiCam Inc. Powyższy model został wybrany ze względu na przejrzysty podręczny panel sterowania MultiCam EZ Control, z poziomu którego możliwe jest sterowanie głównymi funkcjami maszyny.

Na podstawie maszyny wzorcowej, wykorzystując materiały pochodzące od producenta zaprojektowano i przy wykorzystaniu webowego środowiska programistycznego – języki HTML5, CSS, JavaScript, jQuery – opracowano symulator wycinarki waterjet w oparciu o silnik izometryczny Sheetengine - Isometric HTML5 JavaScript Display Engine. Dzięki czemu obsługa symulatora jest możliwa na każdym współczesnym stacjonarnym systemie operacyjnym wyposażonym w przeglądarkę internetową interpretującą skrypty JavaScript.

W oparciu o gotowy symulatory napisano zestaw instrukcji obsługi obejmujących uruchamianie wirtualnej maszyny, wykonanie cięcia manualnego oraz automatycznego na podstawie zapisanego na wirtualnym serwerze kodu programu cięcia. Instrukcje zostaną wykorzystane w procesie edukacji studentów w zakresie obsługi maszyny.

## LITERATURA

1. D. A. Summers, *Waterjetting Technology*, E & FN Spon an imprint of Chapman & Hall, Londyn 1995.
2. R. Rohe, *Hydraulic mining in the American West*, *Montana the Magazine of Western History* 35 (1985) 18-29.
3. N. C. Franz, *High velocity Liquid Jet*, Opis Patentowy, US3524367 A, Zgłoszony 31/05/1968, Opublikowany 18/08/1970.
4. L. A. Dobrzański, *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo: materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne WNT 2006.
5. M. A. Hashish, M. J. Kirby, Y-H. Pao, *Method and apparatus for forming a high velocity liquid abrasive jet*, Opis Patentowy, US4648215 A, Zgłoszony 7/10/1985, Opublikowany 10/03/1987.
6. M. A. Hashish, *Steel cutting with abrasive waterjets*, *Proceedings of 6th International Symposium on Jet Cutting Technology*, Surrey 1982, str. 465-487.
7. T. Trzepieciński, *Trendy rozwojowe maszyn i technik stosowanych w technologii cięcia blach*, *Inżynieria Maszyn* 17, (2012), str. 94-106.
8. J. Wang, W. C. K. Wong, *A study of abrasive waterjet cutting of metallic coated sheet steels*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* vol. 39(6) (1999), str. 885-870.
9. D. Krajcarz, *Comparison Metal Water Jet Cuttin with Laser and Plasma Cutting*, *Procedia Engineering* 69 (2014), str. 838-843.
10. <http://www.kmtwaterjet.com/>

11. <http://www.waterjet.org.pl/>
12. <http://www.flowwaterjet.com/>
13. <http://www.wardjet.com/>
14. <http://www.maxiemwaterjets.com/>
15. <http://www.waterjet-cutters.com/>
16. <http://www.omax.pl/>
17. <http://www.wardjet.com/>
18. M. MacDonald, HTML5 nieoficjalny podręcznik, HELION, Gliwice 2014.
19. T. Negrino, D. Smith, Po prostu JavaScript, HELION, Gliwice 2012.
20. <http://sheetengine.codeplex.com/>