

## Wirtualne stanowisko urządzenia do syntezy węglowych nanorurek metodą pirolizy katalitycznej

Ł. Kozubowski<sup>a</sup>, R. Honysz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
email: lukasz.kozubowski.polsl@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:** W artykule opisano wirtualne stanowisko urządzenia do syntezy nanorurek węglowych metodą pirolizy katalitycznej zwanej inaczej metodą CVD. Wybrany urządzeniem jest maszyna EasyTube 2000 amerykańskiej firmy First Nano. Symulację opracowano w zintegrowanym środowisku programistycznym Stencyl, za pomocą obiektowego języka programowania wysokiego poziomu HaXe oraz programowania wizualnego (VLP).

**Abstract:** This paper describes an virtual workstation of a device designated for synthesis of carbon nanotubes by catalytic pyrolysis ( also known as CVD). The selected device is EasyTube 2000, manufactured by an american company First Nano. Virtual workstation was created in an integrated development environment called Stencyl, using object-oriented, high level programming language called HaXe and visual programming (VLP).

**Słowa kluczowe:** wirtualne laboratorium, symulacja, piroliza katalitycznej, nanorurki, CVD.

### 1. WSTĘP

Nanotechnologia jest dość młodą interdyscyplinarną dziedziną nauki zajmującą się tworzeniem i badaniem struktur w skali nanometrycznej, czyli na poziomie atomów i cząstek elementarnych. Nanotechnologia ma szerokie spektrum potencjalnych możliwości zastosowania w wielu dziedzinach nauki i techniki- m. in. w elektronice, elektrotechnice, technologiach materiałowych czy medycynie. Najbardziej rozpoznawalnym wytworem nanotechnologii jest nanorurka węglowa, według wielu badaczy największe dotychczasowe odkrycie w dziedzinie nanotechnologii. Nanorurki węglowe to cylindrycznie zwinięte płaszczyzny grafenowe. Z powodu ich jednowymiarowej struktury mają ona ciekawe i wciąż nie do końca poznane właściwości, co czyni z nich interesujący obiekt badawczy [1-8].

Pomysł stworzenia symulacji narodził się podczas obsługi tego typu urządzeń w warunkach laboratoryjnych. Są to urządzenia drogie i dość skomplikowane w obsłudze, szczególnie te nowszego typu które są sterowane komputerowo. Wiedzę w jaki sposób działają i jak działają posiada tylko małe grono specjalistów i osób przez nie przeszkolonych. Osoby stykające się po raz pierwszy z dużą, drogą i skomplikowaną maszyną raczej nie palą się do ich natychmiastowej obsługi. Często nie są one dopuszczane jej do obsługi lub też sami nie chcą z obawy przed spowodowaniem uszkodzeń. Również koszty pracy niektórych nowoczesnych urządzeń są dla przeciętnej osoby bardzo wysokie [9-12].

Komputerowe aplikacje szkoleniowe idealnie wpisują się w schemat szkolenia takich osób. Na początku solidna wiedza teoretyczna, potem możliwość oglądania osoby obsługującej maszynę jako część szkolenia praktycznego, następnie wykorzystanie aplikacji szkoleniowej aby utrwalić wiadomości i móc „na sucho” uruchomić maszynę, sprawdzić czy wszystkie polecenia i kolejność wykonało się prawidłowo i dopiero z tak ugruntowaną wiedzą przystąpić do drugiej i ostatniej części szkolenia praktycznego czyli osobistej obsługi urządzenia ale jeszcze pod okiem specjalisty [13-16].

## **2. CEL I ZAKRES PRACY**

Celem pracy jest opracowanie wirtualnego stanowiska treningowego, które przybliży sposób działania maszyny do wytwarzania nanorurek węglowych metodą pirolizy katalitycznej EasyTube 2000 firmy FirstNano [17]. Wirtualne stanowisko ma docelowo służyć jako ostatni etap szkolenia teoretycznego operatora tej maszyny.

## **3. ETAPY BUDOWY WIRTUALNEGO STANOWISKA**

### **3.1. Wybór modelu rzeczywistego**

Wybór urządzenia padł na maszynę do syntezy nanorurek węglowych metodą pirolizy katalitycznej (metoda CVD) EasyTube 2000 firmy First Nano. Na ten właśnie wybór złożyło się kilka czynników: przede wszystkim możliwość dostępu do takiego urządzenia gdyż Politechnika Śląska posiada takowe w swoich laboratoriach, po drugie, nie jest zbyt skomplikowana w obsłudze. Dzięki opiekunowi pracowni uzyskano bezpośredni dostęp do maszyny i pozyskano zdjęcia i inne informacje niezbędne przy opracowywaniu symulacji.

### **3.2. Wybór oprogramowania**

Programem który wybrano jest Stencyl [18]. Jest to zintegrowane środowisko programistyczne służące do tworzenia dwuwymiarowych gier i aplikacji na komputery PC i urządzenia mobilne. Program działa w technologii Java. Wydawcą gry jest Stencyl LLC z USA. Aplikacje stworzoną w Stencylu można wyeksportować do formatu czytanego przez komputery PC (plik \*.swf lub \*.exe) lub do formatów używanych przez urządzenia mobilne z systemami Android i iOS. Ogólnie pojęta fizyka (ruch, kolizje przedmiotów, itp) jest kontrolowana przez dwuwymiarowy silnik fizyczny Box2D napisany w C++, który jest rozpowszechniany na licencji wolnego oprogramowania. Stencyl opiera się na frameworku OpenFL, który jest napisany w języku HAXE i także jest rozpowszechniany na licencji wolnego oprogramowania. Framework definiuje strukturę oraz sposób w jaki działa a także dostarcza niezbędnych bibliotek programistycznych.



Rysunek 1. Urządzenie do wytwarzania nanorurek węglowych metodą pirolizy katalitycznej EasyTube 2000 [17]

Figure 1. A device for manufacturing carbon nanotubes by the catalytic pyrolysis EasyTube 2000 [17]

### 3.3. Opracowanie aplikacji

W widoku głównego okna środowiska Stencil (Rysunek.1) możemy przeglądać wszystkie komponenty naszego programu. Nieco niżej mamy podmenu Logic - jest to serce naszej aplikacji. Wszelkie zdarzenia logiczne czy związki przyczynowo skutkowe są tam programowane. Na rysunku 2 pokazano szczegółowe menu danej sceny, jest to jednocześnie nasza przestrzeń robocza. Najważniejsze sekcje menu to Scene i Events. Po umieszczeniu zdjęcia na scenie należy dodać wcześniej stworzonych aktorów. Lista aktorów jest wyświetlana w prawym dolnym rogu. Każdemu z aktorów trzeba przypisać różnego typu atrybuty: gdzie ma się znajdować, jaką ma mieć wielkość, co ma robić, oraz można mu przypisać skrypt do wykonania. Skrypty od zdarzeń (Events) różni sposób przypisania do sceny czy aktora. Zdarzenia są limitowane tylko do danej sceny i tworzy się je za pomocą bloków- jest to tzw. programowanie wizualne VPL (z ang. visual programming language), przedstawiono je na rysunku 3. Strukturę logiczną tworzy się łącząc poszczególne bloczki ze sobą.






## 4. URUCHOMIENIE I PRACA Z WIRTUALNYM URZĄDZENIEM

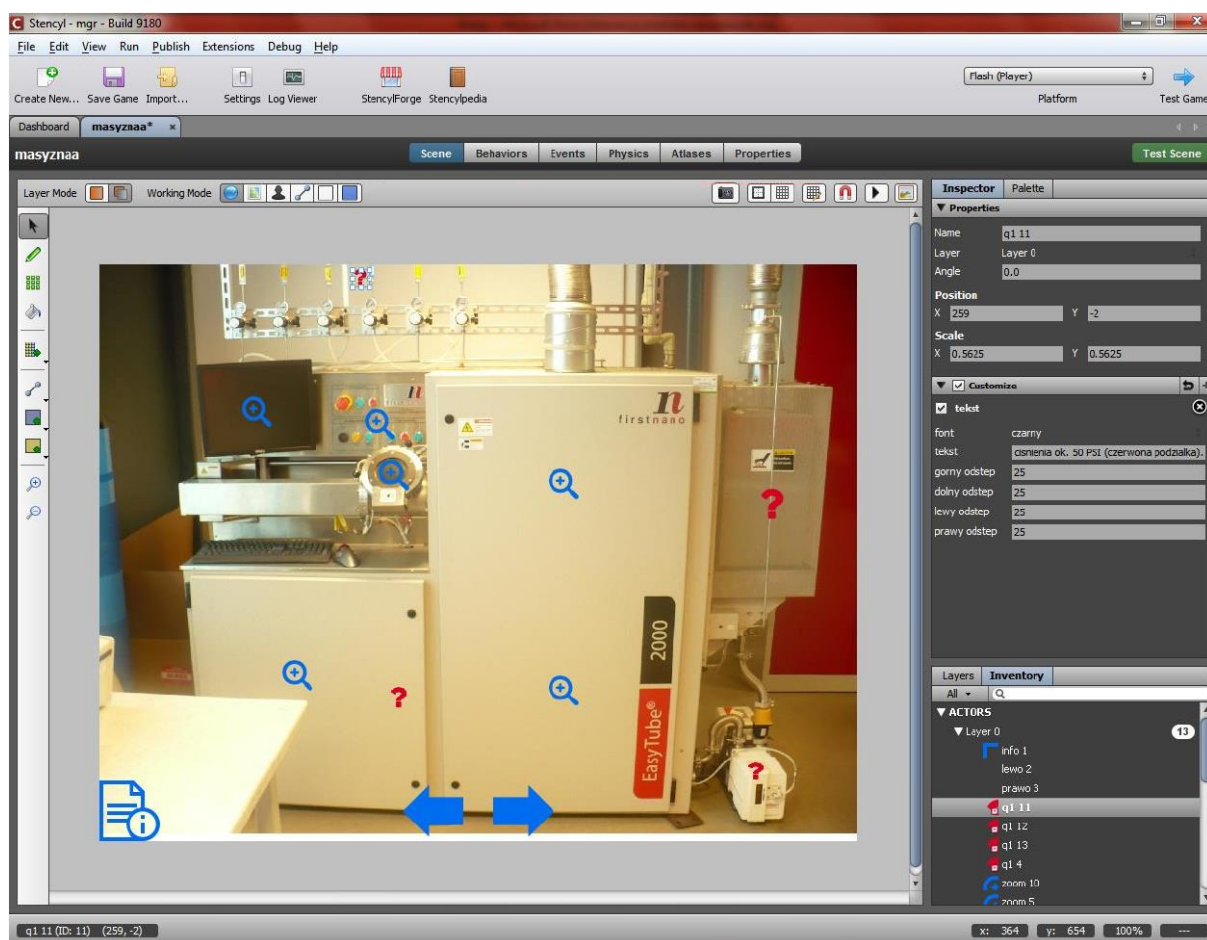
### 4.1. Struktura wirtualnego urządzenia

Każdy z ekranów przedstawia jedną scenę wirtualnego stanowiska szkoleniowego. Strzałki między nimi reprezentują relacje, inaczej mówiąc pokazują z której sceny możemy przejść do innej i jaka to będzie. Dostęp do sceny instrukcji do wykonania jest możliwy

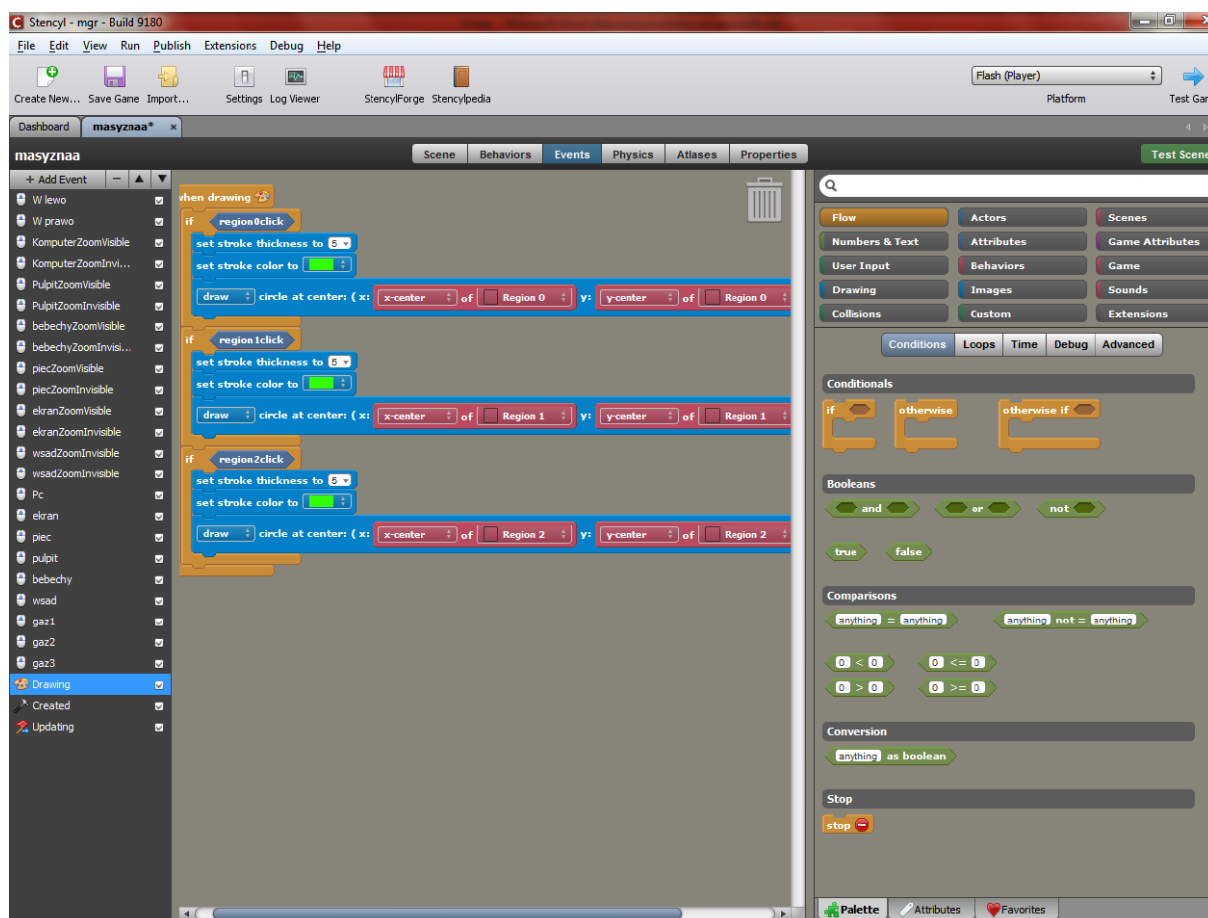
z poziomu każdej innej sceny poprzez kliknięcie odpowiedniej ikony znajdującej się w lewym dolnym rogu. Powrót do sceny pierwotnej możliwy jest poprzez kliknięcie ikony zaokrąglonej strzałki znajdującej się w lewym dolnym rogu, nad ikoną sceny z instrukcją.

W aplikacji występują tzw. ‘aktorzy’ czyli elementy na które trzeba zazwyczaj kliknąć lub na nie najechać aby wywołać odpowiednią akcję:

	znaczek taki pojawia się na scenie instrukcji do wykonania, przy odpowiedniej pozycji po wykonaniu jej.
	kliknięcie na strzałkę pozwala nam się poruszać między trzema głównymi scenami.
	najechanie kursorem myszy na czerwony znak zapytania wyświetla nam tekst- jest to albo podpowiedź albo wyjaśnienie jakiejś kwestii
	kliknięcie na ten znaczek odsyła nas do sceny z instrukcjami do wykonania.
	ta ikona pozwala nam cofnąć się do pierwotnej sceny przy jej kliknięciu.



Rysunek 2. Szczegółowy widok na wybraną scenę w środowisku Stencyl [18]  
 Figure 2. A detailed view of the selected scene in Stencyl environment [18]



Rysunek 3. Opracowywanie struktury logicznej wirtualnej aplikacji przy pomocy VPL w środowisku Stencyl [18]

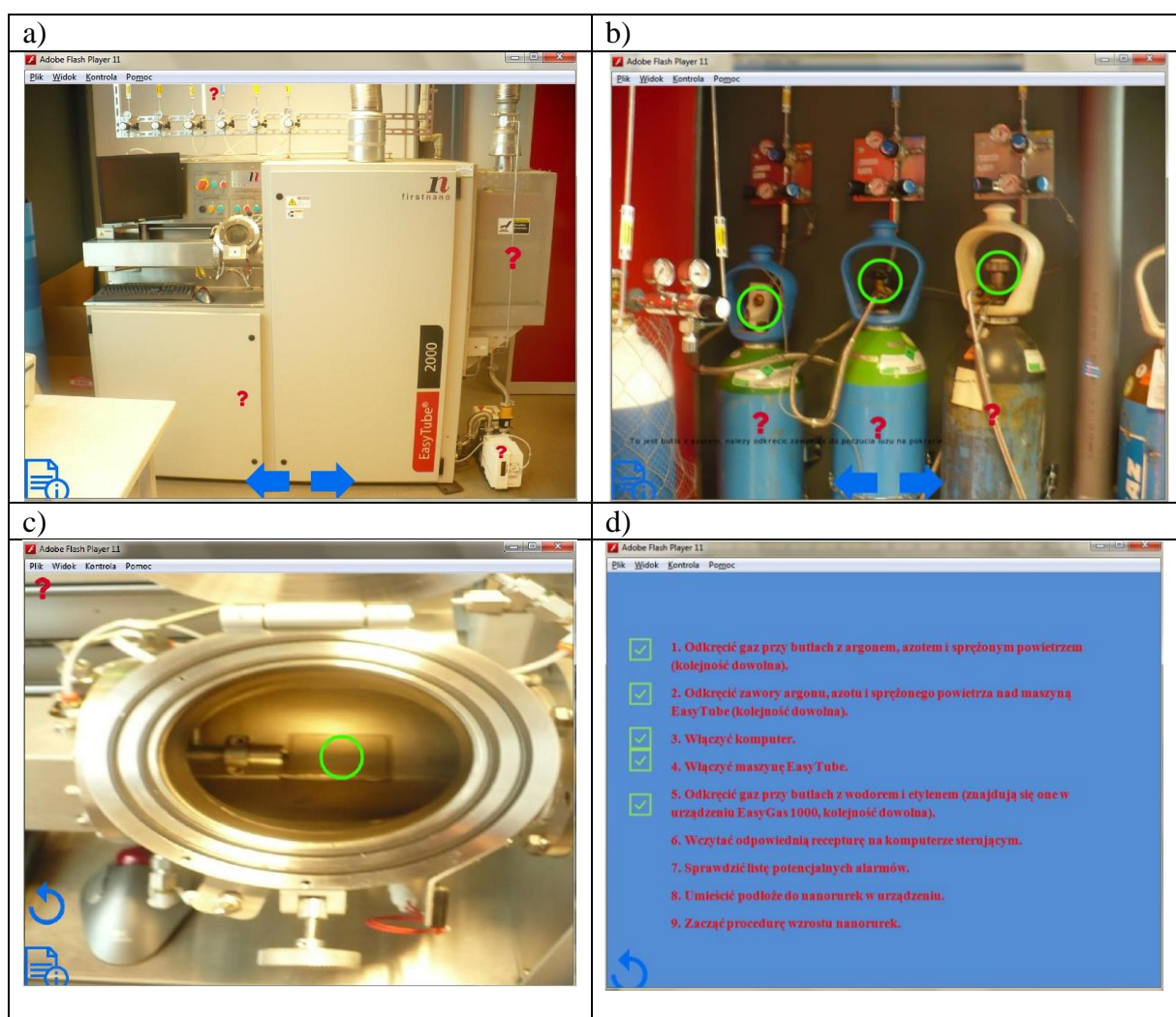
Figure 3. Creating a logical structure of virtual device with use of VPL in Stencyl environment [18]

Aplikacja składa się z 14 scen:

- scena 1 to scena powitania, wyjaśnia co to za aplikacja i do czego służy.
- scena 2 to instrukcja obsługi aplikacji.
- scena 3 to lista zadań do wykonania.
- scena 4 to nasza główna scena przedstawiająca maszynę EasyTube 2000.
- scena 5 przedstawia butle z gazami bezpiecznymi.
- scena 6 przedstawia urządzenie EasyGas 1000 wraz z butlami z gazami niebezpiecznymi.
- scena 7 przedstawia pulpit sterowniczy maszyny EasyTube 2000.
- scena 8 to komputer sterujący.
- scena 9 przedstawia całą elektronikę maszyny EasyTube2000.
- scena 10 pokazuje nam piec z widoczną rurą kwarcową.
- scena 11 to okienko maszyny w którym umieszcza się podłogę.
- scena 12 pokazuje ogólny widok na program sterujący.
- scena 13 pokazuje gdzie wczytują się receptury.
- scena 14 pokazuje szczegóły receptury.

## 4.2. Obsługa wirtualnego urządzenia

Po uruchomieniu aplikacji pokazuje się ekran powitalny, po zapoznaniu się z nim klikamy „Przejdź dalej”. Zostaje wyświetlona instrukcja obsługi aplikacji. Przyciskiem „Start” przechodzimy do ekranu głównego przedstawiającego urządzenie EasyTube 2000. (Rysunek 4a). Teraz użytkownik powinien zapoznać się z listą zadań do wykonania. Do tego celu służy znaczek w lewym dolnym rogu ekranu. Pierwszą czynnością jest odkręcenie argonu, azotu i sprężonego powietrza. W tym celu za pomocą strzałki należy przemieścić się do stanowiska gdzie się one znajdują i kliknąć wirtualne zawory butli, które znajdują się w okolicach rzeczywistych zaworów. Aplikacja potwierdza nam to wyświetlając zielone kółka wokół zaworów (Rysunek 4b,c). Można zauważyć także wyświetloną podpowiedź gdyż kursor myszy znajduje się na znaku zapytania. Teraz należy odkręcić zawory przy urządzeniu. Jeśli użytkownik wykona to prawidłowo to tutaj również wyświetlą się zielone kółka oraz znaczek na scenie instrukcji przy pozycji drugiej (Rysunek 4d).



Rysunek 4. Wybrane sceny z pracy z wirtualną symulacją urządzenia

Figure 4. Selected scenes from the work with the device virtual simulation

Następnie wykonujemy kolejne czynności według listy, posiłkując się odpowiedziami ukrytymi pod czerwonymi znakami zapytania. Szkolenie zostaje ukończone gdy wykonamy wszystkich dziewięć czynności. Program nie pozwala na pomijanie niektórych czynności albo na robienie ich w złej kolejności. Gdyby użytkownik chciał zacząć od punktu innego niż pierwszy to program nie zaliczy nam tej jak i żadnej kolejnej czynności póki nie wykonamy tej pierwszej. Ponadto jeśli wykonamy jakąś instrukcję poza kolejnością to program zaznaczy nam to zielonymi kółeczkami dając nam znać, że wykonujemy ją dobrze ale na scenie z listą zadań nie wyświetli się potwierdzenie gdyż obraliśmy złą kolejność.

## 5. PODSUMOWANIE

Stworzenie wirtualnego stanowiska szkoleniowego dla urządzenia EasyTube 2000 było nie lada wyzwaniem. Jednak założenia pracy zostały spełnione. Aplikacja działa tak jak powinna, nie generuje żadnych błędów, kod źródłowy jest 'czysty' czyli nie zajmuje dużo miejsca na dysku. Z racji jej małej wagi możliwe jest jej bezproblemowe przesłanie za pośrednictwem internetu bądź umieszczenie jej na stronie internetowej co jest dodatkowym atutem. Wirtualne stanowisko powstało w zintegrowanym środowisku programistycznym 'Stencyl', za pomocą obiektowego języka programowania wysokiego poziomu HaXe, zostało przetestowane i nie generuje żadnych błędów. Lista zadań jest możliwa do wypełnienia, a aplikacja uruchamia się na komputerze bez zarzutu. - Stworzony program ma potencjał do wykorzystania go w trakcie szkoleń operatorów urządzenia lub pomoc dydaktyczna dla studentów. W prosty i przejrzysty sposób pokazuje jak uruchomić maszynę i uczy odpowiedniej kolejności wykonywanych czynności.

## LITERATURA

1. Iijima S., Ichihashi T., Nature 363, 1993, s. 603; Bethunde D.S., Nature 363, 1993, 605.
2. W. T. Wu, K. H. Chen, C. M. Hsu, Nanotechnology, 17 (2006) 4542
3. G. Cota-Sanchez, G. Soucy, A. Huczko, J. Beauvais, D. Drouin J. Phys. Chem. B, 108 (50) (2004) 19210
4. R. T. K. Baker, M. A. Barber, P. S. Harris, F. S. Feates, R. J. Waite, J Catal., 26 (1972)
5. D. Takagi, Y. Homma, H. Hibino, S. Suzuki, Y. Kobayashi, Nano Lett., 6 (2006) 2642
6. Y. Ando, X. Zhao, "Synthesis of Carbon Nanotubes by Arc-Discharge Method", New Diamon and Frontier Carbon Technology 16, 3, 123-137 (2006)
7. P. A. Ajayan, S. Iijima, Nature, 358 (1992) 23 [47] V.P. Dravid, X. Lin, Y. Wang,
8. D. S. Bethune, C. H. Kiang, M. S. de Vries, G. Gorman, R. Savoy, J. Vazquez, R. Beyers, Nature, 363 (1993) 605
9. A. G. Rinzler, J. Liu, H. Dai, P. Nikolaev, C.B. Huffman, F.J. Rodriguezmacias, P.J. Boul, A.H. Lu, D. Heymann, D.T. Colbert, R.S. Lee, J.E. Fischer, A.M. Rao, P.C. Eklund, R.E. Smalley, Appl. Phys. A, 67 (1998) 29
10. A. Thess, R. Lee, P. Nikolaev, H. Dai, P. Petit, J. Robert, C. Xu, Y.H. Lee, S.G. Kim,
11. M. Yudasaka, Y. Kasuya, F. Kokai, K. Takahashi, M. Takizawa, S. Bandow, S. Iijima, Applied Physics A Materials Science & Processing 74 (2002) 377-385
12. T. Guo, P. Nikolaev, A. Thess, D.T. Colbert, R.E. Smalley, Chemical Physics Letters 243/1-2

13. L.A. Dobrzański, R Honysz, Archives of Materials Science and Engineering 55/1 (2012), 37-44
14. LA Dobrzański, R Honysz, Archives of Materials Science and Engineering 45/2 (2011), 69-94
15. LA Dobrzański, R Honysz, 17th International Scientific Conference on Contemporary Achievements in Mechanics, Manufacturing and Materials Science, CAM3S'2011
16. LA Dobrzański, R Honysz, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 24/2 (2007), 219-222
17. <http://www.firstnano.com/systems/process-equipment/easytube-2000/>
18. <http://www.stencyl.com>