

## LASEROWE URZĄDZENIE GRAWERUJĄCE SZKŁO Z BIEGUNOWYM APARATEM RUCHOWYM

Roman TROCHIMCZUK\*

\* Katedra Automatyki i Robotyki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok

[politechnikaroman@interia.pl](mailto:politechnikaroman@interia.pl)

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono analizę aparatu ruchowego pozycjonera laserowego urządzenia do grawerowania szkła lub innych przezroczystych dielektryków. Zaprezentowano koncepcję budowy biegunowego aparatu ruchowego pozycjonera. Przedstawiono scenariusze przemieszczeń ramienia obróbczego oraz obiektu obrabianego w zakładanej koncepcji.

### 1. WPROWADZENIE

Ważnym kryterium oceny urządzeń do laserowego grawerowania szkła jest ich wydajność. Chodzi tu o wydajność (produkcyjność) laserowego systemu formującego, przy warunku wysokiej jakości powierzchni formowanego trójwymiarowego odwzorowania. Jednym z podstawowych zadań, jakie należy rozwiązać przy pozycjonowaniu wiązki obróbczej w takich urządzeniach jest uzyskanie określonych, zaplanowanych ruchów przy dużej liczbie stopni swobody układów tworzących ten ruch. Stosowane w tym celu aparaty ruchowe (napęd + mechanizmy) powinny zapewniać prostotę, łatwość sterowalność, oczekiwaną dokładność, dynamikę i niezawodność pożądanego ruchu. Zadanie to ma charakter interdyscyplinarny. Rozwiązuje się je dziś środkami mechatronicznymi.

### 2. ANALIZA UKŁADÓW POZYCJONUJĄCYCH URZĄDZENIA GRAWERUJĄCEGO

Rozpatrując układ pozycjonowania można dojść do wniosku, że możliwy układ pozycjonujący urządzenia do laserowej obróbki szkła jest relacją pomiędzy układem pozycjonowania obiektu i układem pozycjonowania lasera [2]. Relację taką można zapisać jako funkcję dwuargumentową układu pozycjonującego (UP)

$$UP = f(O, L), \quad (1)$$

gdzie:  $O$  – argument związany z obiektem obrabianym,  $L$  – argument związany z narzędziem (laserem).

Argument związany z obiektem obrabianym, argument związany z układem pozycjonowania narzędzia obróbczego, można rozpatrywać w układzie kartezjańskim, biegunowym, jak również dla danego argumentu może pozycjonowanie nie zachodzić. W takim zapisie funkcji układu pozycjonującego, wyklucza się wypadek w którym brak jest pozycjonowania obiektu obrabianego i narzędzia obróbczego – wtedy obróbka nie zachodzi. Pozostałe możliwe zestawienia argumentów przedstawiono na rys. 1.

		Układ pozycjonowania obiektu obrabianego		
		Kartezjański	Biegunowy	Brak pozycjonowania
Układ pozycjonowania narzędzia (lasera)	Kartezjański	Przypadek do zbadania	Przypadek do zbadania	Przypadek realizowany w praktyce
	Biegunowy	Przypadek do zbadania	Przypadek do zbadania	Przypadek do zbadania
	Brak pozycjonowania	Przypadek realizowany w praktyce	Przypadek do zbadania	Obróbka niemożliwa

**Rys. 1.** Możliwe układy pozycjonujące urządzenia laserowego do grawerowania szkła

W praktyce realizuje się dwa przypadki, tj. 1) pozycjonuje się narzędzie w układzie kartezjańskim, natomiast obiekt obrabiany pozostaje nieruchomy (brak pozycjonowania) lub 2) w układzie kartezjańskim pozycjonuje się obiekt obrabiany, natomiast narzędzie pozostaje nieruchome (Trochimeczuk i Gawrysiak, 2007). Pozostałe konfiguracje układów pozycjonowania nie są spotykane w produkowanych obecnie urządzeniach do laserowej obróbki szkła. Można traktować je jako przypadki, które należałoby poddać analizie i zbadać ich przydatność w praktyce, wiedząc że w układach kartezjańskich zmieniają się długości członów, natomiast w układach biegunowych zmianie podlegają tylko kąty – długości członów pozostają niezmiennione. W dalszej części pracy przedstawiony zostanie przypadek, w którym zarówno narzędzie jak i obiekt obrabiany pozycjonowane będą w układzie biegunowym.

### 3. URZĄDZENIE Z BIEGUNOWYM APARATEM RUCHOWYM POZYCJONERA

Analiza aparatu ruchowego pozycjonera, z uwzględnieniem możliwych układów pozycjonujących wiązkę laserową i materiał obrabiany, skłoniła do zaproponowania następującego rozwiązania. Dotyczy ono zaproponowania nowego układu, oraz nowego podejścia do pozycjonowania materiału i wiązki obróbczej. Prezentowane rozwiązanie wzorowane jest na technicznych układach spotykanych w takich urządzeniach jak twarde

dyski komputerów osobistych, czy też w wiertarce do elektronicznych obwodów drukowanych Tanbo (Müller, 2001). Podejście to, według stanu wiedzy autora, nie jest realizowane w praktyce budowy laserowych urządzeń grawerujących szkło.

Założeniem do koncepcji budowy nowego aparatu ruchowego pozycjonera XYZ, było odejście od klasycznego podejścia stosowanego w budowie maszyn CNC, działających w kartezyjskim układzie współrzędnych. W układach takich, aby można było mówić o zapewnieniu dokładności tym samym zwiększeniu jakości produktu finalnego, należy przede wszystkim zadbać, aby wszystkie osie współrzędnych były w stosunku do siebie położone równo pod kątem 90 stopni. Stosowanie tego podejścia wynika z faktu, iż jest pewna tradycja w konstruowaniu tego typu maszyn, jeszcze od czasów kiedy nie wykorzystywano do budowy urządzeń komputera. Wszystkie czynności wykonywał operator ręcznie, przesuwając narzędzie za pomocą mechanizmów typu śruba-nakrętka. Obecnie nie ma problemów, aby w pamięci komputera obsługującego stanowisko robocze można było przeliczyć współrzędne formowanego punktu struktury, z układu kartezyjskiego na dowolny inny.

W przypadku proponowanego rozwiązania zakładam, że pozycjonowanie odbywać się będzie w układzie biegunowym. Na pytanie dlaczego pozycjonowanie ma odbywać się w układzie biegunowym jest następująca odpowiedź. Biegunowy układ współrzędnych stosuje się zazwyczaj dla rozwiązywania problemów (Trochimczuk i Gawrysiak, 2007)], gdzie:

- przesunięcie jest ograniczone przez sterowanie w odległości kątowej lub pozycji kątowej, lub
- nieograniczone przesunięcie jest obserwowane przez pomiar odległości kątowej lub pozycji kątowej.

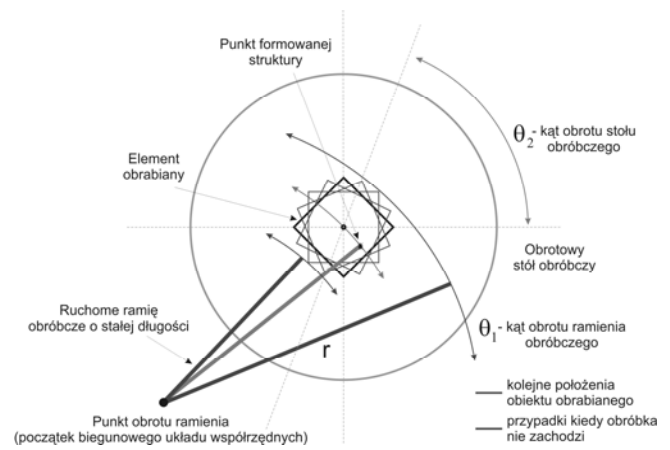
W układzie takim pozycja punktu obrabianego opisywana jest we współrzędnych  $r, \theta_1$ , gdzie  $r$  jest stałą długością ramienia obróbczego, a  $\theta_1$  kątem o jaki dane ramię się obraca. Aby można było przy obróbce uformować obiekt w dowolnym punkcie płaszczyzny, konieczne jest również zapewnienie pozycjonowania stołu obróbczego. Stół taki obracany jest wokół swojej osi o dany kąt  $\theta_2$ . Na samym początku skoncentrujemy się na pozycji jaką powinien zajmować obiekt obrabiany na stole i jak to ma się przekładać na długość ramienia obróbczego.

### 3.1. Rozwiązanie ramienia obróbczego

Aby można było ocenić jaką długość powinno mieć ramię obróbcze oraz czy miejsce ustawienia obiektu obrabianego na obracalnym stole obróbczym ma wpływ na długość ramienia obróbczego, trzeba rozważyć dwa przypadki.

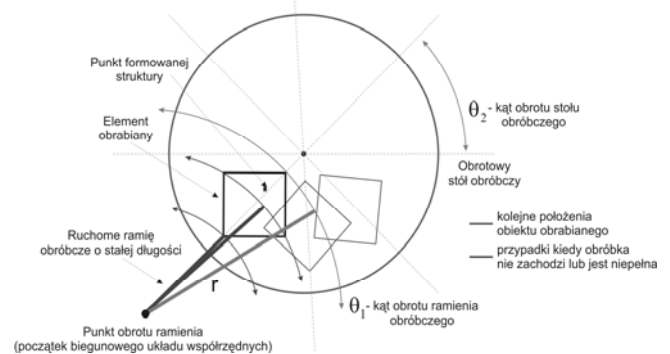
W pierwszym (rys. 2) oś obiektu obrabianego pokrywa się z osią stołu obróbczego. Dla całościowej obróbki przestrzeni obiektu obrabianego, konieczne jest zapewnienie takiej długości ramienia obróbczego  $r$ , aby pokrywało się one z osią obrotu stołu i obiektu obrabianego.

W przypadku kiedy długość ramienia jest krótsza lub dłuższa od niej, zachodzi obróbka niepełna lub w skrajnych przypadkach obróbka nie zachodzi.



Rys. 2. Przypadek, gdy oś obrotu obiektu obrabianego pokrywa się z osią obrotu stołu obróbczego

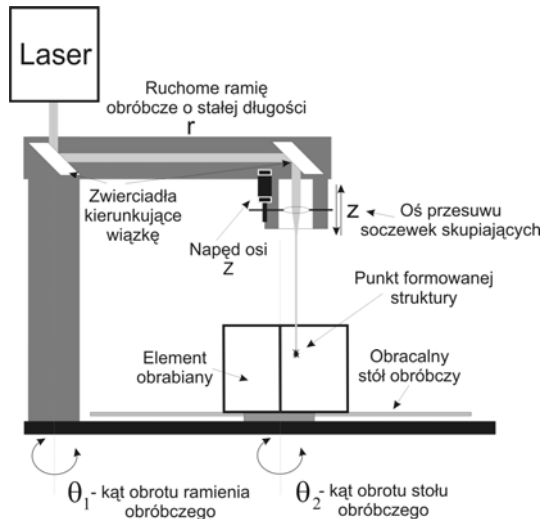
Rysunek. 3 przedstawia drugi przypadek, kiedy oś obiektu obrabianego przesunięta jest w stosunku do osi obrotu stołu obróbczego o zadaną odległość. Tutaj aby można było realizować pełną obróbkę, konieczne jest zapewnienie długości ramienia obróbczego co najmniej takiej, aby oś wiązki pokrywała się z krawędzią obiektu obrabianego najbliższą osi obrotu stołu obróbczego. Biorąc pod uwagę założenie do koncepcji, że długość ramienia powinna być możliwie najkrótsza, to długość ramienia powinna być równa takiej, która spełnia podany wyżej warunek. W przypadku kiedy długość ramienia jest krótsza, obróbka nie zachodzi lub jest niepełna.



Rys. 3. Oś obrotu obiektu obrabianego przesunięta o zadaną odległość od osi obrotu stołu obróbczego

Aby spełnić warunek zapewnienia minimalnej masy ramienia obróbczego, konieczne jest oddzielenie od ramienia obróbczego samego lasera. Emiter lasera posiada określone wymiary oraz masę. Umieszczenie go na ramieniu obróbczym w postaci głowicy laserowej zwiększy gabaryty ramienia oraz jego masę. W związku z powyższym proponuję, aby wewnątrz ramienia obróbczego pozycjonera umieścić zespół zwierciadeł odbijających laserową wiązkę obróbczą i kierujących ją w określone miejsce. Możliwe jest to gdyż obróbka wiązką nie przenosi sił powstających od kontaktu (jak np. przy wierceniu, frezowaniu) na całość kolumny obróbczej. Przy takim rozwiązaniu laser może być umieszczony oddzielnie wewnątrz korpusu urządzenia formującego. Umieszczony na końcu ramienia obróbczego układ soczewek skupiających może być zamontowany na stałe, w przypadku gdy urządzenie miałooby służyć

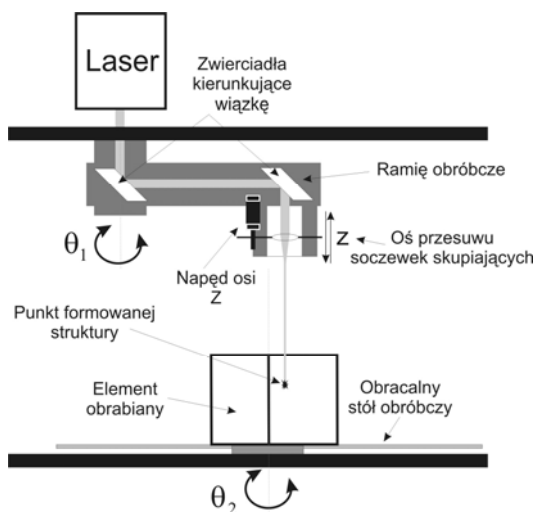
do obróbki dwuwymiarowych odwzorowań. Wtedy układ miałby stałą ogniskową. W przypadku odwzorowań trójwymiarowych, trzeba byłoby zapewnić zmianę ogniskowej przez napęd przesuwający soczewki skupiające wiązkę. Byłoby to przesunięcie jednoosiowe (kartezjańskie). Oczywiście można też wyobrazić sobie sytuację, że zamiast tworzyć urządzenie przemieszczające soczewki ogniskujące, można zapewnić przemieszczenie w osi Z stołu obróbczego. Jednak ten przypadek, ze względu na masę stołu (wraz z odpowiednią przekładnią) oraz elementów obrabianych (szkła), wydaje się mniej korzystnym do zastosowania.



Rys. 4. Widok ramienia obróbczego laserowego urządzenia grawerującego z biegunowym aparatem ruchowym

Przykładowa koncepcja rozwiązania aparatu ruchowego pozycjonera pracującego w układzie biegunowym przedstawiona została na rys. 4 (Trochimczuk i Gawrysiak, 2007).

Aby zapewnić dalsze skrócenie ramienia obróbczego (redukcję jego masy), można przyjąć że powinno być ono umieszczone nad stołem obróbczym (rys. 5). Wtedy odległość pomiędzy osiami obrotu ramienia i stołu wyraźnie można zmniejszyć.



Rys. 5. Skrócone ramię obróbcze zawieszane bezpośrednio nad obracalnym stołem obróbczym

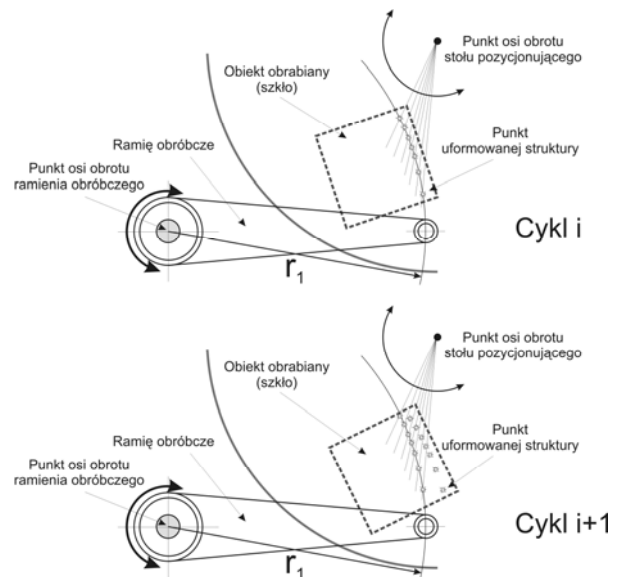
W ten sposób można obejść ograniczenie związane z wcześniej występującym faktem, iż kolumna na której osadzone jest obrotowe ramię obróbcze musiała być umieszczona jak najbliżej stołu, aby spełnić warunek minimalnej długości ramienia.

W biegunowym aparacie ruchowym ważny jest sposób załadunku materiału poddawanego obróbce. Analogię można znaleźć w zrobotyzowanych gniazdach obróbczych ze stołem indeksującym. Obiekty mogą być załadowywane do obróbki, przez kolejny obrót stołu pozycjonującego o stały kąt. W tym czasie ramię obróbcze może zajmować położenie skrajne, zwiększając tym samym przestrzeń do operowania przez operatora urządzenia grawerującego, co nie wydaje się już tak oczywiste w przypadku układów kartezjańskich.

#### 4. ANALIZA PRZEMIESZCZEŃ BIEGUNOWEGO APARATU RUCHOWEGO

Aby uzyskać pełniejszy opis koncepcji biegunowego układu pozycjonującego wiązkę obróbczą i element obrabiany, należy przeanalizować sposób wykonywania kolejnych punktów struktury formowanego odwzorowania. Formowanie kolejnych punktów może przebiegać według założonych dwóch scenariuszy (Trochimczuk i Gawrysiak, 2007).

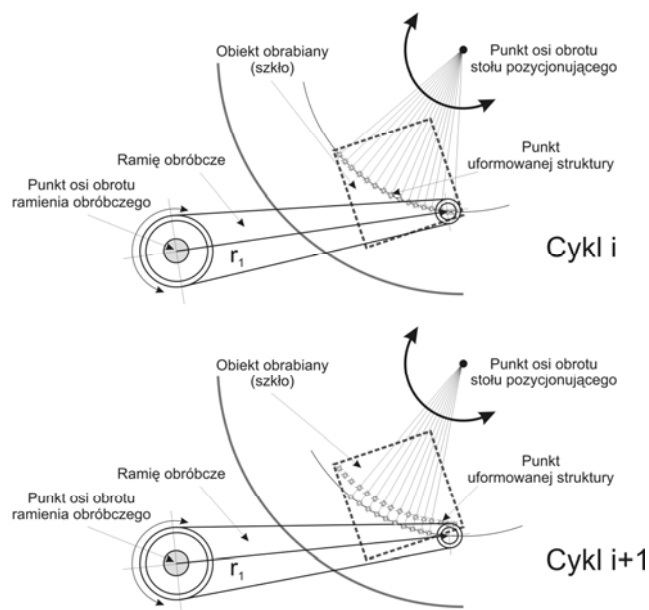
W pierwszym zakłada się, że ramię obróbcze wykonuje główny ruch kierując wiązkę obróbczą w przestrzeń obiektu obrabianego. Prędkość i przyspieszenie ramienia obróbczego powinny być dobrane tak, aby można było wykorzystać generowane impulsy laserowe do stworzenia równooddalonych od siebie defektów. Defekty rozmieszczone są wtedy po obwodzie okręgu, zakreślonym przez ramię o stałej długości  $r_1$ .



Rys. 6. Przemieszczenia ramienia i stołu według scenariusza pierwszego

Zapełnienie defektami obszaru obrabianego obiektu następuje dzięki przesunięciu obiektu przez stół pozycjonujący o zadaną wartość kątową (rys.6). Wartość ta ma gwarantować spełnienie warunku jednakowej odległości między sąsiadującymi punktami struktury, warstwami formowanego odwzorowania. Przejście

do kolejnej, wyżej położonej warstwy następuje przez zmianę ogniskowej w osi Z. Dlatego obróbkę trójwymiarowego odwzorowania można sprowadzić do wypełniania kolejnych płaszczyzn przez punkty. Zastosowanie pierwszego scenariusza pozwala zmniejszyć siły bezwładności, powstające podczas przemieszczania obiektu obrabianego przez stół pozycjonujący. Przesunięcie ramienia obróbczego odbywa się tylko w założonym zakresie ruchu, pozwalającym pokryć obszar obróbki. Ramię w takim wypadku przemieszcza tylko własną masę, bez dźwigania dodatkowo masy obiektu obrabianego. Kolejny obiekt umieszczony na stole obróbczym może być obrabiany po wykonaniu całej warstwy w obiekcie poprzedzającym. Po wykonaniu tej samej warstwy w kilku kolejnych obiektach, można zmienić ogniskową w osi Z i przejść do wykonania warstwy kolejnej.



Rys. 7. Przesunięcia ramienia i stołu według drugiego scenariusza

W drugim scenariuszu (rys. 7) obiekty obrabiane umieszczone są na stole obróbczym, który obraca się ze stałą prędkością. Prędkość ta dobrana jest w taki sposób, aby można było zapewnić równą, założoną przez operatora urządzenia, odległość pomiędzy kolejno formowanymi punktami struktury. Ramię obróbcze wykonuje punkty struktury po określonym torze, zakreślonym w płaszczyźnie obróbki. To samo działanie podejmowane jest w stosunku do wszystkich kolejno umieszczonych obiektów. Następnie ramię jest przemieszczane o zadany kąt umożliwiający stworzenie kolejnej „ścieżki”. W tym przypadku siły bezwładności eliminowane są przez zapewnienie stałej prędkości obrotowej stołu obróbczego. Natomiast ramię obróbcze przemieszczane jest o nieznaczną wartość kątową, po przejściu nad kolejnymi obiektami. Trzeci wymiar formowanego odwzorowania tworzony jest podobnie jak w przedstawionym wyżej scenariuszu pierwszym. Przedstawione scenariusze przemieszczania ramienia i stołu obróbczego umożliwiają otrzymanie punktów struktury formowanego trójwymiarowego odwzorowania. Istnieje jednak pewna różnica w sposobie

otrzymywania tych punktów. W przypadku scenariusza pierwszego punkty formowane w pierwszym cyklu, na danym torze, będą od siebie równoodległe. Kiedy natomiast przejdziemy do następnego cyklu obróbki okaże się, że nie jesteśmy w stanie zapewnić w jednym przejściu równych odległości pomiędzy kolejno formowanymi punktami na torach obróbki. W jednym skrajnym położeniu odległość pomiędzy torami będzie inna niż w drugim położeniu. Przypadek ten wskazuje, że pomimo korzystniejszego z punktu widzenia dynamiki urządzenia układu i ograniczeń związanych z obróbką sił bezwładności, konieczne byłoby tu zapewnienie odpowiedniego oprogramowania sterującego. Pozwoliłoby to wybierać punkty na możliwych do realizacji torach obróbki obiektu.

W przypadku scenariusza drugiego łatwiej jest zapewnić równe odległości pomiędzy punktami, tworzonymi w kolejnych przejściach wiązki obróbczej. W drugim przypadku można wskazać analogię do przytaczanego wcześniej przykładu dysku twardego. Stała jest prędkość obrotowa stołu obróbczego (w dysku twardym talerza obrotowego), natomiast przemieszczane jest nieznacznie ramię obróbcze (w dysku twardym głowica magnetyczna). Układ taki zapewnia niezmienną siłę bezwładności (po osiągnięciu zakładanej prędkości obrotowej), powstałych od stołu obróbczego, stąd można określić go jako bardziej korzystny o przedstawionego w scenariuszu pierwszym.

## 5. PODSUMOWANIE

Przedstawione rozwiązanie biegunowego aparatu ruchowego pozwala na stworzenie alternatywy dla klasycznych rozwiązań stosowanych w laserowych urządzeniach grawerujących, dając tym samym nowy obszar aplikacji znanych rozwiązań z obszaru robotyki i mechatroniki.

## LITERATURA

1. Müller T. (2001), PCB Drilling Machine – New solution to old problems, *Elektor Electronics*, nr 3, 12-18.
2. Trochimczuk R. (2007), Koncepcja planarnego układu pozycjonującego urządzenia do grawerowania laserowego, W: *Projektowanie Mechatroniczne Zagadnienia wybrane*, pod red. T. Uhla, AGH, Kraków.
3. Trochimczuk R., Gawrysiak M. (2007), Koncepcja biegunowego aparatu ruchowego pozycjonera urządzenia grawerującego, W: *Projektowanie Mechatroniczne Zagadnienia wybrane*, pod red. T. Uhla, AGH, Kraków.

## DEVICE FOR LASER ENGRAVING GLASS WITH POLAR POSITIONING SYSTEM

**Abstract:** There is presented the analysis of polar positioning system of laser device for glass engraving in the work. The new concept of polar positioning system, alternative for the Cartesian one, is presented too. The scripts of dislocations working arm and forming object in founded conception of polar positioning system is defined.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu badawczego pracy własnej nr W/WM/12/06 Politechniki Białostockiej.