

Mgr inż. Maciej Gruza, email: gruzam@interia.pl
Politechnika Krakowska, Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej
Mgr inż. Piotr Gaska, email: pjgaska@gmail.com
Politechnika Krakowska, Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej
Mgr inż. Renata Knapik, email: re.knapik@gmail.com
Politechnika Krakowska, Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej

Budowa i programowanie modelu Współrzędnościowej Maszyny Pomiarowej z wykorzystaniem klocków LEGO MINDSTORMS

Streszczenie: W artykule opisano proces budowy oraz doskonalenia konstrukcji Współrzędnościowej Maszyny Pomiarowej (WMP) z wykorzystaniem klocków LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 jako przykład procesu nauki poprzez zabawę. Autorzy opisali problemy oraz ich rozwiązania które wystąpiły podczas budowy maszyny której konstrukcja miała posiadać możliwie największą analogie do maszyn używanych w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej PK. W dalszej części artykułu opisano proces programowania sterownika przy użyciu języka dedykowanego NXT-G oraz przy użyciu środowiska programistycznego NI LabVIEW.

Słowa kluczowe: Współrzędnościowa Technika Pomiarowa, Współrzędnościowa Maszyna Pomiarowa, LEGO Mindstorms, nowoczesne metody nauczania

Construction and programming Coordinate Measuring Machine model with the use of LEGO MINDSTORMS

Abstract: In this paper construction process of Coordinate Measuring Machine (CMM) using LEGO MINDSTORMS bricks was described. Construction of this machine is similar to real model of bridge type CMM. It can be used on laboratory lessons about coordinate metrology in order to explain how CMMs are built and how they work. The second part of this paper describes the controller programming process using a dedicated language NXT-G as also the NI LabVIEW development environment.

Keywords: Coordinate Measuring Technique, Coordinate Measuring Machine, LEGO Mindstorms, modern teaching methods

1. Wstęp

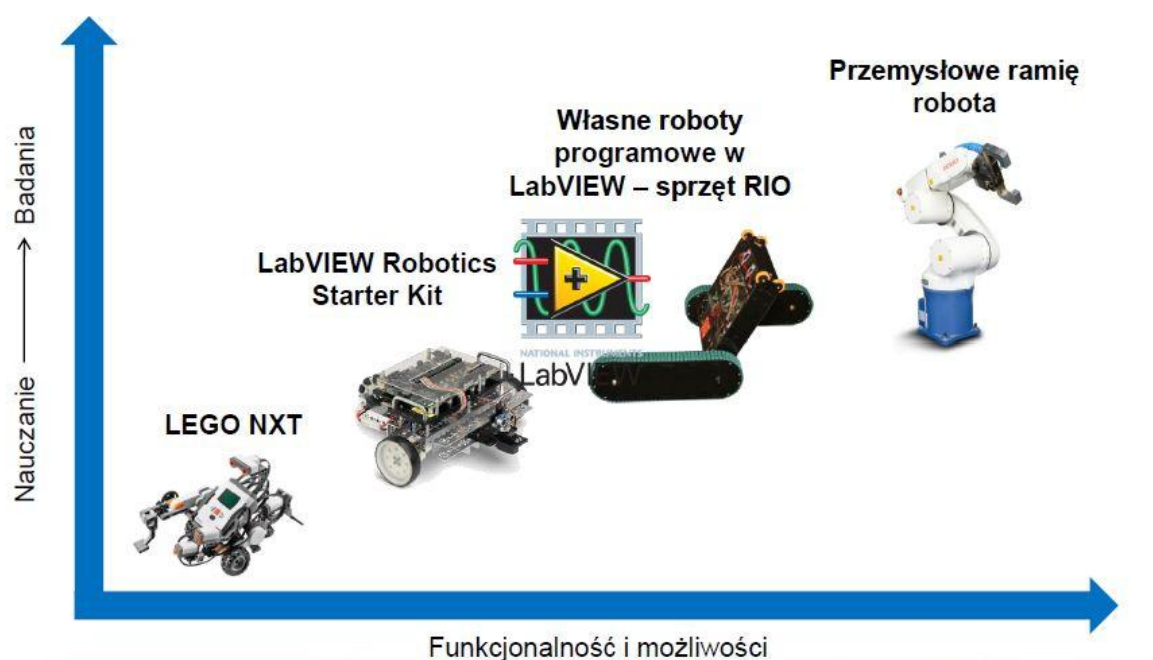
Wiadomym jest, że jednym z najskuteczniejszych sposobów przyswajania wiedzy jest nauka poprzez zabawę. Jest to jeden z pierwszych etapów dydaktyki z jakim spotykają się ludzie we wczesnym etapie rozwoju. Jest to również bodaj najmiłszy ze sposobów nauki. Niestety, jest on prawie nieobecny w procesie kształcenia studentów na uczelniach wyższych, postrzegany jako nieodpowiedni i niedojrzały. Autorzy niniejszej pracy postarają się udowodnić jak wielkie zasługi w dydaktyce zagadnień technicznych może oddać nauczanie poprzez zabawę.

Jednym z lepszych środków edukacyjnych są klocki LEGO umożliwiające budowanie wielu wariantów budowli, maszyn i pojazdów. Ponadto dostępne są różne wersje zestawów polecane w zależności od wieku oraz stopnia zaawansowania budowniczego. Zabawa klockami rozwija wyobraźnię oraz pozwala poznać praktyczne podstawy takich nauk jak mechanika, wytrzymałość materiałów czy robotyka (Rys. 1). Rozwinięcie zabawy poprzez dodanie dedykowanych modułów elektronicznych oraz współpracy z komputerem pozwala ponadto poznać podstawy

elektrotechniki, informatyki, programowania oraz sterowania układami lokalnymi (PLC).

Poniżej opisano wykorzystanie klocków LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 do zbudowania modelu Współrzędnościowej Maszyny Pomiarowej (WMP) dla celów naukowo-dydaktycznych.

Platformy robotyki dla edukacji

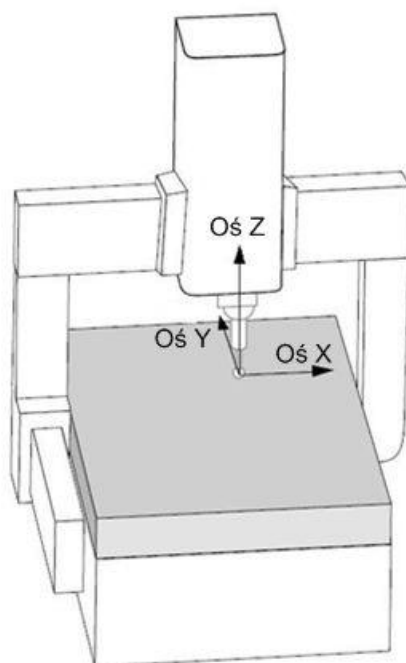


Rys. 1 Przykład ścieżki rozwoju zawodowego począwszy od zabawy klockami LEGO [4]

2. Wstęp do Współrzędnościowej Techniki Pomiarowej (WTP)

WTP jest częścią szerszej gałęzi nauki jaką jest metrologia wielkości geometrycznych. Ideą WTP jest uzyskiwanie wymiarów geometrycznych na podstawie współrzędnych punktów otrzymywanych podczas przeprowadzania pomiaru oraz ich wzajemnych zależności. „Zbieranie” punktów odbywa się poprzez oszacowanie ich współrzędnych w kartezjańskim układzie współrzędnych, którego początek umieszczony jest w określonym punkcie przedmiotu mierzonego we wczesnym etapie przeprowadzania pomiarów. Współrzędne (x,y,z) grupy punktów oraz określenie ich relacji (np. zebrane punkty leżą na jednej płaszczyźnie) pozwala oszacować wymiary będące przedmiotem pomiaru (np. odległość, średnica). Ważnym elementem oszacowania poszukiwanych wymiarów jest podanie dokładności z jaką determinujemy wynik. Określenie dokładności pomiaru jest niekiedy trudne, bywa również, że jest ono bagatelizowane. Wpływ na dokładność mają takie czynniki jak niepewność pomiarowa używanej maszyny lub przyrządu, wpływ operatora, temperatura otoczenia a w niektórych przypadkach nawet sugerowanie się oczekiwanymi wynikami. Czynników tych jest oczywiście więcej. Tylko niektóre z nich jesteśmy w stanie skompensować.

We Współrzędnościowej Technice Pomiarowej wykorzystuje się Współrzędnościowe Maszyny Pomiarowe o różnej budowie, wielkości i dokładności. WMP składa się zwykle z trzech zespołów ruchomych realizujących ruch w trzech głównych osiach układu współrzędnych maszyny oraz głowicy na której umieszczony jest układ (sonda) odpowiedzialny za sygnalizowanie zetknięcia układu z przedmiotem mierzonym (np. końcówka pomiarowa), które zatrzymuje ruch maszyny (Rys. 2). Po zatrzymaniu odczytywane są wartości lineatów umieszczonych wzdłuż osi ruchomych zespołów, których wartości następnie analizowane są przez oprogramowanie maszyny. W rezultacie otrzymuje się współrzędne punktu, który zebrała maszyna.



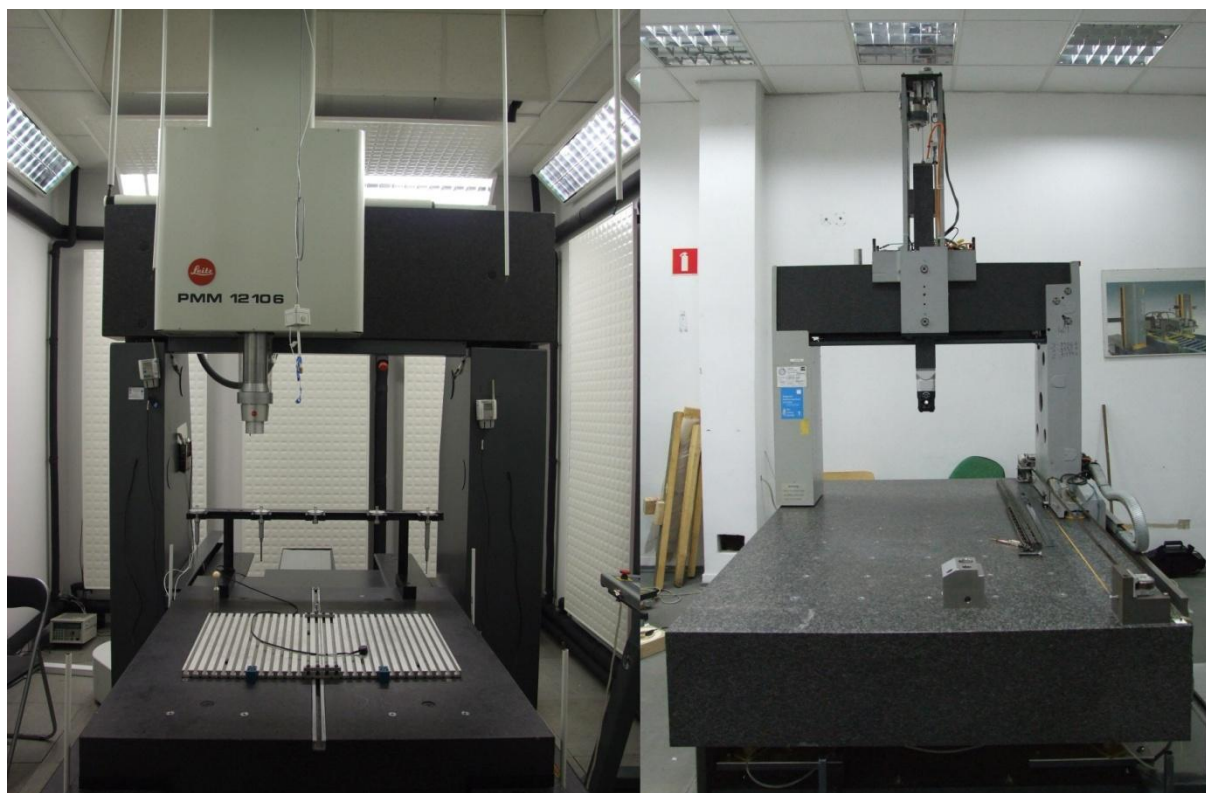
Rys. 2 Współrzędnościowa Maszyna Pomiarowa wraz z głównymi osiami układu współrzędnych maszyny

3. Koncepcja WMP

Przed przystąpieniem do opracowywania koncepcji budowy WMP autorzy przeprowadzili analizę dostępnych źródeł internetowych pod kątem znalezienia konstrukcji podobnych do współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Wynikiem było odnalezienie kilku konstrukcji posiadających niektóre cechy maszyn współrzędnościowych jednak w najlepszym wypadku pomiary realizowane przez te konstrukcje były pomiarami wysokości realizowanymi w osi Z układu współrzędnych maszyny. W związku z tym autorzy postanowili opracować konstrukcje, której podobieństwo do WMP byłoby daleko większe.

Koncepcja budowy WMP LEGO zbudowanej w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej zakładała zbudowanie funkcjonalnego modelu maszyny współrzędnościowej z wykorzystaniem zestawu LEGO MINDSTORMS przy zachowaniu możliwie najdokładniejszych analogii budowy z maszynami dostępnymi w Laboratorium. Jako maszyny referencyjne wybrane

zostały dwie portalowe maszyny współrzędnościowe: PMM 12106 firmy Leitz (Rys. 3a) oraz WMM850 firmy ZEISS (Rys. 3b).



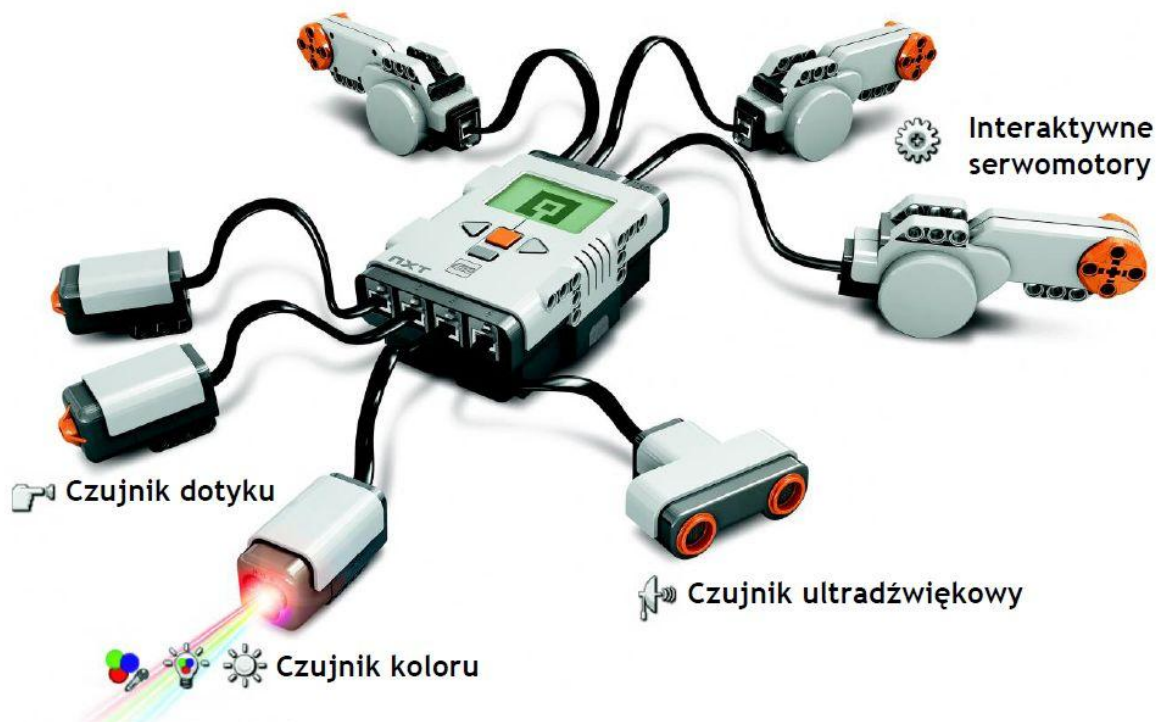
Rys. 3a PMM 12106

Rys. 3b WMM850

PMM 12106 jest maszyną w której portal jest zespołem nieruchomym, natomiast posuw w osi Y jest realizowany przez ruchomy stół. W maszynie WMM850 za przemieszczenia w osi Y odpowiada mechanizm ruchu portalem, który po nieruchomym stole przesuwa się dzięki cięgnom oraz poduszkom powietrznym. Przemieszczenia w osi X i Z są realizowane na tej samej zasadzie w obu maszynach. Suport może przemieszczać się wzdłuż portalu (oś X), natomiast pinola jest ruchoma w osi pionowej (oś Z). Obie maszyny wyposażone są w sondy stykowe impulsowe.

Ograniczeniami koncepcji są dostępność odpowiednich klocków oraz niewielki poziom zaawansowania możliwych do wykonania układów. W skład zestawu LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 wchodzi 4 sensory, 3 akulatory oraz sterownik (wraz z oprogramowaniem). Akulatorami są trzy serwomotory realizujące ruch obrotowy z wbudowanymi tachometrami (czujnikami obrotu) których dokładność wynosi $\pm 1^\circ$. Oprócz kontroli obrotu możliwe jest sterowanie prędkością ruchu poprzez zadawanie różnych poziomów mocy. W grupie sensorów znajdziemy dwie krańcówki (czujniki dotyku), czujnik ultradźwiękowy (czujnik odległości) oraz (jedyne wykorzystany do budowy WMP) czujnik koloru będący równocześnie źródłem światła, czujnikiem natężenia światła lub czujnikiem koloru RGB. Sterownik składa się z 32-bitowego mikrokontrolera ARM 7 (256 kilobajty pamięci FLASH, 64 kilobajty pamięci RAM) oraz dodatkowo 8-bitowego mikrokontrolera AVR (4 kilobajty pamięci FLASH, 512 bajtów pamięci RAM). Posiada on 4 porty wejścia oraz 3 wyjścia, łączone z sensorami i akulatorami kablem 6-żyłowym. Komunikacja z PC odbywa się poprzez kabel USB lub przez bezprzewodowe połączenie Bluetooth. Oprogramowanie

wykorzystywane do programowania sterownika oparte jest na działaniu środowiska LabVIEW firmy National Instruments. Oba środowiska są intuicyjnymi programami graficznymi różniącymi się oczywiście możliwościami. Elementy automatyki wchodzące w skład zestawu przedstawione są na (Rys. 4). Należy w tym miejscu wspomnieć iż autorzy byli mile zaskoczeni kiedy niektóre zaawansowane funkcje programowania NXT dawały możliwości zbliżone do tych wykorzystywanych podczas zajęć dydaktycznych na sterownikach przemysłowych znanych producentów.



Rys. 4 Przegląd elementów automatyki klocków NXT [1]

4. Budowa WMP

Po opracowaniu koncepcji i zgromadzeniu klocków rozszerzających możliwości podstawowego zestawu (głównie z zestawów LEGO Technic) przystąpiono do budowy pierwszej wersji maszyny. Konstrukcja miała wykazywać analogie do obydwu maszyn a więc posiadać konstrukcję portalową. Chcąc zachować możliwie największą sztywność konstrukcji postanowiono, że portal będzie częścią nieruchomą. Większą sztywność zapewnić mogłaby tylko konstrukcja mostowa, na taką jednak nie można było się zgodzić ze względu na ograniczoną ilość odpowiednich klocków, natomiast konstrukcja kolumnowa posiadałaby mniejszą sztywność a ponadto mógłby wystąpić problem wytrzymałości łączy klocków ze względu na duży ciężar samej głowicy pomiarowej. Jak widać już na wczesnym etapie budowy konstruktor napotyka na szereg problemów i możliwości ich rozwiązania z których powinien świadomie wybrać rozwiązanie optymalne.

4.1. Głowica v1

Po analizie koncepcji oraz dostępnych elementów automatyki autorzy doszli do wniosku że elementem determinującym rozmiar maszyny będzie głowica

pomiarowa i od jej budowy należało zacząć. Analiza literatury dotyczącej budowy głowic stykowych impulsowych [2,3,5] ukazała szereg problemów, które należało rozwiązać zachowując zasadę działania głowicy w analogii do wybranych maszyn referencyjnych. Należało tak skonstruować głowice aby uzyskać sygnał (impuls) przy zetknięciu od góry jak również od boków z przedmiotem mierzonym. Schematy rozwiązań konstrukcyjnych zaczerpniętych z literatury przedstawia (Rys. 5).

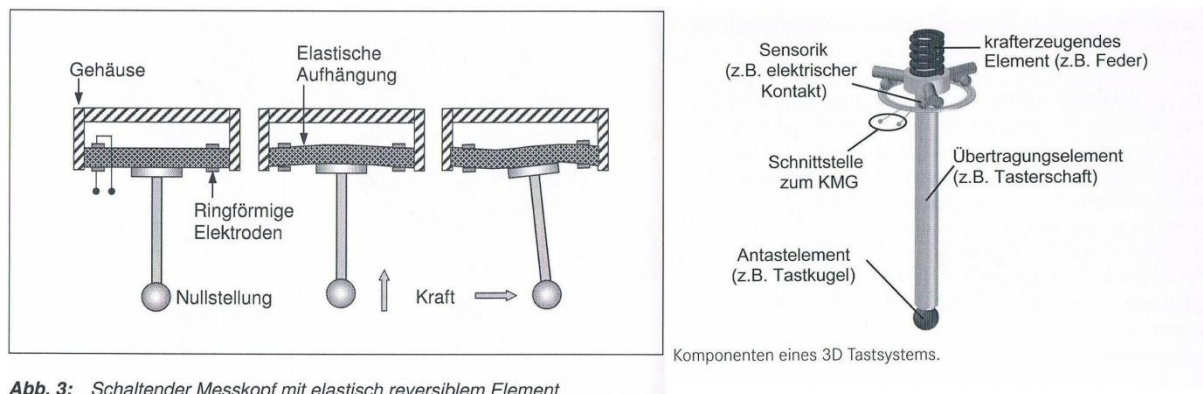


Abb. 3: Schaltender Messkopf mit elastisch reversiblen Element

Rys. 5 Schematy rozwiązań konstrukcyjnych układów głowic stykowych [2,5]

Do budowy głowicy postanowiono wykorzystać sensor kolorów. Próby z sensorem ultradźwiękowym nie dawały zadowalających rezultatów natomiast aby wykorzystać krańcówki w budowie głowicy należałoby użyć trzech z nich (Rys. 5b). Taka konstrukcja byłaby niekorzystna ze względu na wielkość oraz ciężar głowicy. Próby z czujnikiem kolorów wyglądały obiecująco zwłaszcza kiedy równolegle działał czujnik natężenia światła oraz źródło światła umieszczone obok sensora. Czujnik kolorów miał współpracować z trzpieniem pomiarowym. Najlepsze efekty uzyskano umieszczając na końcu osi, która miała współpracować z czujnikiem, małą tarczę która lepiej odbijała światło ze źródła do sensora. Następnym problemem konstrukcyjnym nad którym należało się zastanowić było usytuowanie trzpienia względem czujnika tak aby możliwy był ruch prostoliniowy w kierunku osi Z jak również obroty trzpienia wokół osi X i Y tak, aby możliwa była realizacja wychyleń od góry i z boków. Należałoby więc zbudować zespół dwóch przegubów obrotowych oraz pryzmatycznego. Niestety, po kilku próbach autorzy uznali że zbudowanie takiego zespołu zbyt mocno powiększyłoby gabaryty głowicy, ponadto wykorzystywane klocki wprowadzały zbyt wiele tarcia w mechanizmie co odbiło się na jakości pracy głowicy. Należało skonstruować mechanizm prostszy, o zwartej budowie ale spełniający założone funkcje. Postanowiono wykorzystać gumowe opaski dołączone do podstawowego zestawu klocków, tak aby konstrukcja ogólnie odpowiadała schematowi przestawionemu na (Rys. 5a), były one jednak zbyt małe w związku z czym zastąpiono je większymi. Tak powstała pierwsza wersja głowicy wykorzystująca jeden rząd gumowych opasek (Rys. 6). Po przeprowadzeniu testów okazało się że końcówka mocno drga podczas ruchu oraz że trzpień wychyla się względem pionu podczas pomiarów w osi Z po zetknięciu z przedmiotem mierzonym. Oczywiście było że konstrukcja wymaga poprawy.



Rys. 6 Pierwsza wersja głowicy pomiarowej Rys. 7 Pierwsza wersja pinoli z głowicą

4.2. Pinola v1

Pierwsza wersja pinoli oraz mechanizmu jej ruchu powstała bardziej w celu przeprowadzania testów głowicy aniżeli permanentnego zastosowania. Do głowicy zamontowane zostały prowadnice zębate napędzane przez serwomotor z parą kół zębatych. Mechanizm ten nadawał się do testów jednak szybko okazało się że powoduje on duże drgania w kierunku promieniowym kół zębatych. Znaczny ciężar pinoli z głowicą był powodem zmniejszenia prędkości i nierównej pracy w kierunku dodatnim osi Z. Wiadomym było że mechanizm musi zostać przebudowany, również dlatego że nie spełniał założenia analogii do maszyn referencyjnych. Pierwszą wersję mechanizmu pinoli widać na (Rys. 7).

4.3. Portal i mechanizm suportu v1

Portal i mechanizm suportu w pierwszej wersji maszyny pokazany jest na (Rys. 8). Zgodnie z koncepcją analogii do maszyn referencyjnych (PMM12106) po nieruchomym portalu porusza się suport na którym znajduje się mechanizm napędowy pinoli. Portal został zbudowany tak aby wytrzymał dużą wagę suportu oraz zapewnił odpowiednią sztywność podczas przesuwu po prowadnicach na portalu. Ze względu na dużą wagę montowanego do filara sterownika (zasilanie sześcioma

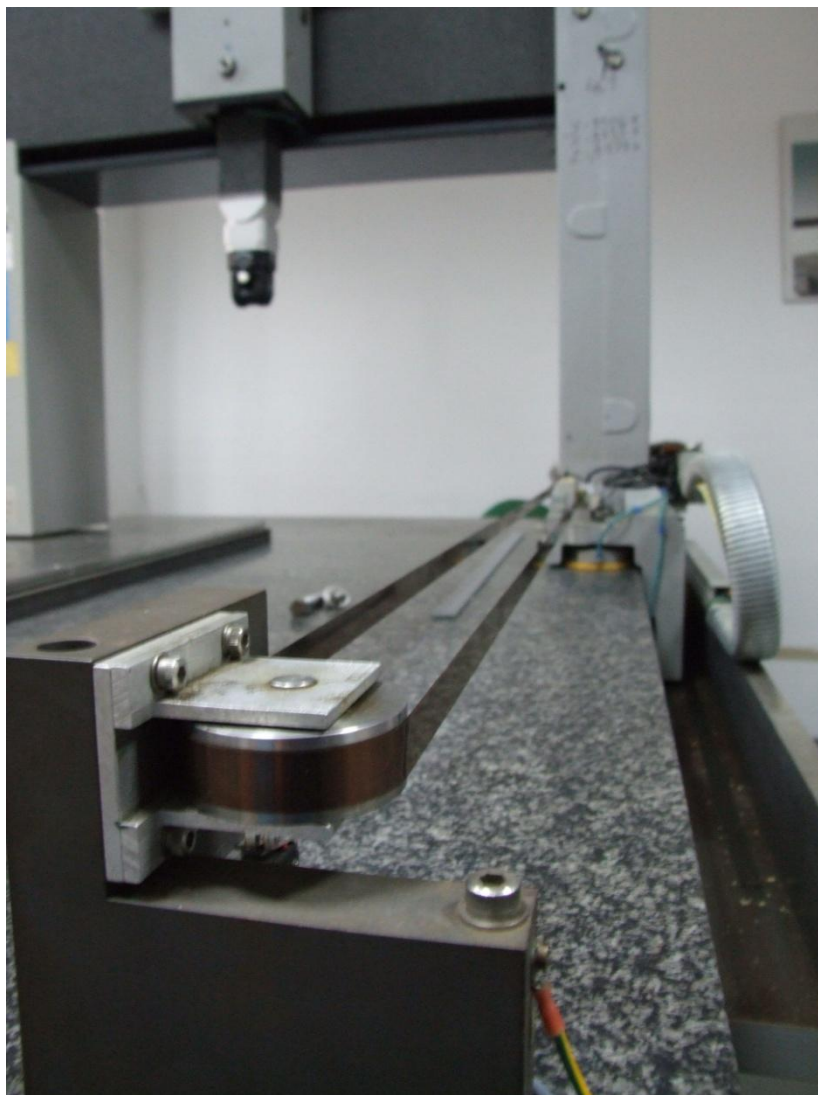
bateriami AA) serwomotor do napędu mechanizmu suportu postanowiono umieścić na drugim filarze portalu. Po przeprowadzonych testach konstrukcji autorzy doszli do wniosku że należy podnieść sztywność układu a także zadbać o lepsze prowadzenie suportu po prowadnicach. Należało też rozwiązać problem tendencji suportu do przechylania się na stronę zespołu głowicy oraz podnoszenia suportu podczas pomiaru w osi Z – opaski były zbyt mocne. Podczas dalszych prac konstrukcja wymagała poprawy.



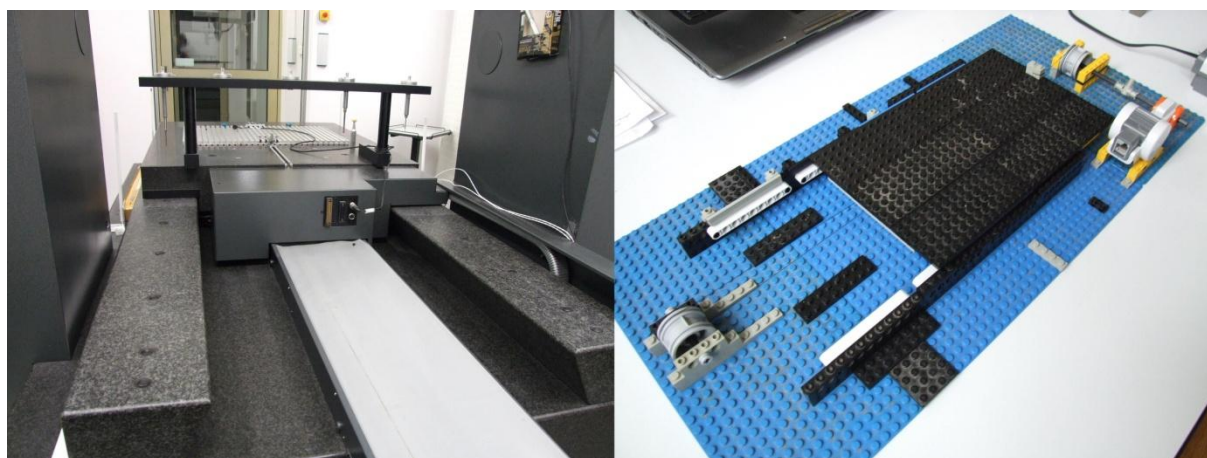
Rys. 8 Portal oraz mechanizm napędowy suportu

4.4. Stół pomiarowy

Konstrukcja stołu pomiarowego jako jedyna nie wymagała większych zmian w całym procesie ciągłego ulepszania budowy maszyny. Koncepcję stołu zaczerpnięto z rozwiązania istniejącego w maszynie referencyjnej PMM12106 jako mechanizm wymagany przy zastosowaniu nieruchomego portalu. Dla polepszenia własności wytrzymałościowych konstrukcja została wykonana z kilku warstw sczepionych ze sobą płyt, natomiast ruch realizowany został przez serwomotor, który za pomocą cięgien porusza stołem po dopasowanych prowadnicach. Z rozwojem konstrukcji zmianie uległ jedynie zakres ruchu, który został powiększony. W wersji drugiej maszyny końcówka pomiarowa jest w stanie osiągnąć około 80% długości stołu. Wykorzystanie cięgien do realizacji zadania ruchu zostało zaczerpnięte z rozwiązania maszyny WMM850 gdzie jest wykorzystywane we wszystkich trzech osiach. Zastosowanie cięgien dla realizacji ruchu w osi Y przedstawia (Rys. 9), natomiast ruchomy stół PMM12106 i maszyny LEGO pokazano na (Rys. 10).



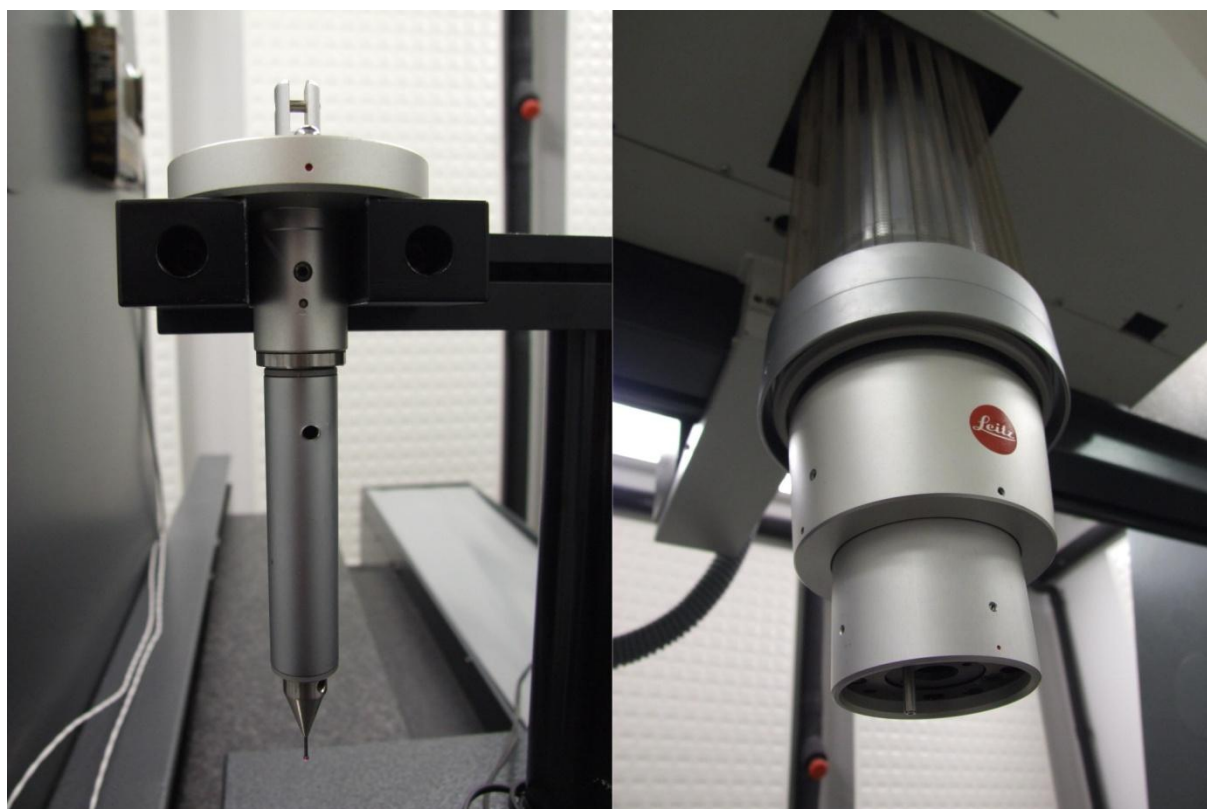
Rys. 9 Wykorzystanie cięgien do realizacji ruchu w osi Y w maszynie WMM850 oraz w maszynie LEGO



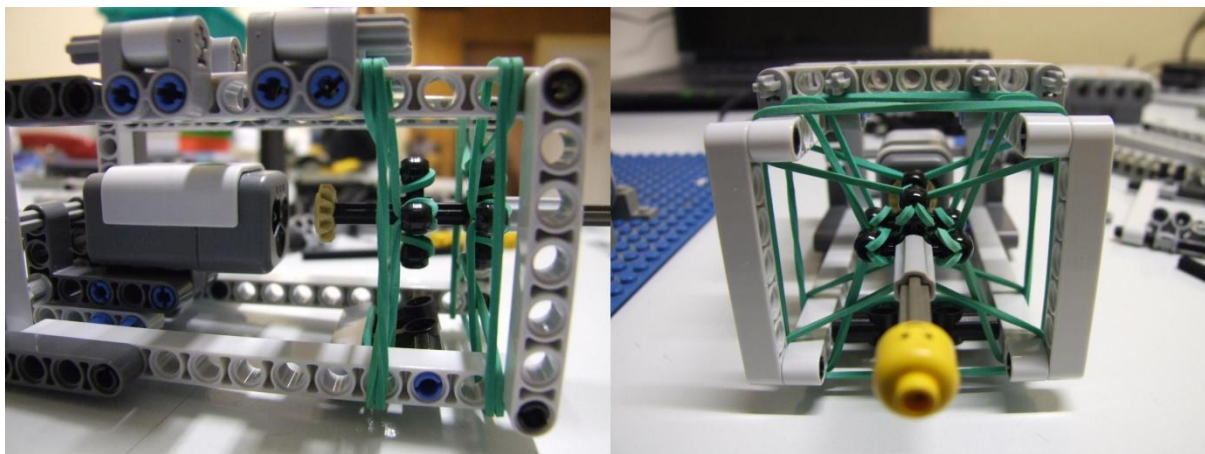
Rys. 10 Stół pomiarowy w maszynie PMM 12106 oraz w maszynie LEGO

4.5. Głowica v2

Pierwsza wersja głowicy wymagała poprawy. Należało wyeliminować drganie głowicy podczas ruchu oraz „ześlizgiwanie” się końcówki pomiarowej z przedmiotu mierzonego. Należało również ograniczyć zakłócenia pracy sensora kolorów których dostarczało światło nie pochodzące od źródła przy czujniku. Autorzy postanowili zbudować głowicę od nowa bazując na pierwszej konstrukcji ale poprawiając sztywność. W celu wyeliminowania drgań dodano drugi, identyczny jak pierwszy, poziomy opasek gumowych który skutecznie tłumił drgania oraz zapobiegał ześlizgiwaniu końcówki. Rozwiązanie nie jest idealne ponieważ wymaga więcej siły która poruszy trzpień, co z kolei przekłada się na większe wygięcie pinoli od pionu. Zakłócenia natężenia światła pochodzące z otoczenia w dużej części wyeliminowano poprzez konstrukcję osłony głowicy. Osłona w razie potrzeby może być szybko montowana i demontowana. Biorąc pod uwagę znormalizowaną wielkość klocków oraz trudności w znalezieniu odpowiedniej części na końcówkę pomiarową konstruktorzy zrezygnowali z dodania możliwości wymiany trzpieni choć częściowo jest taka możliwość wykorzystując łącznik na trzpieniu. Końcówka pomiarowa powinna być kulą umieszczoną na końcu trzpieni. Elementem który był najbardziej zbliżony kształtem do kuli i posiadał odpowiednią wielkość okazała się głowa figurki „ludzika LEGO” i mimo niechęci autorów została ona wykorzystana. Widok końcówki pomiarowej w magazynie oraz głowicy maszyny PMM12106 przedstawia (Rys. 11) natomiast na (Rys. 12) przedstawiono głowicę maszyny LEGO.



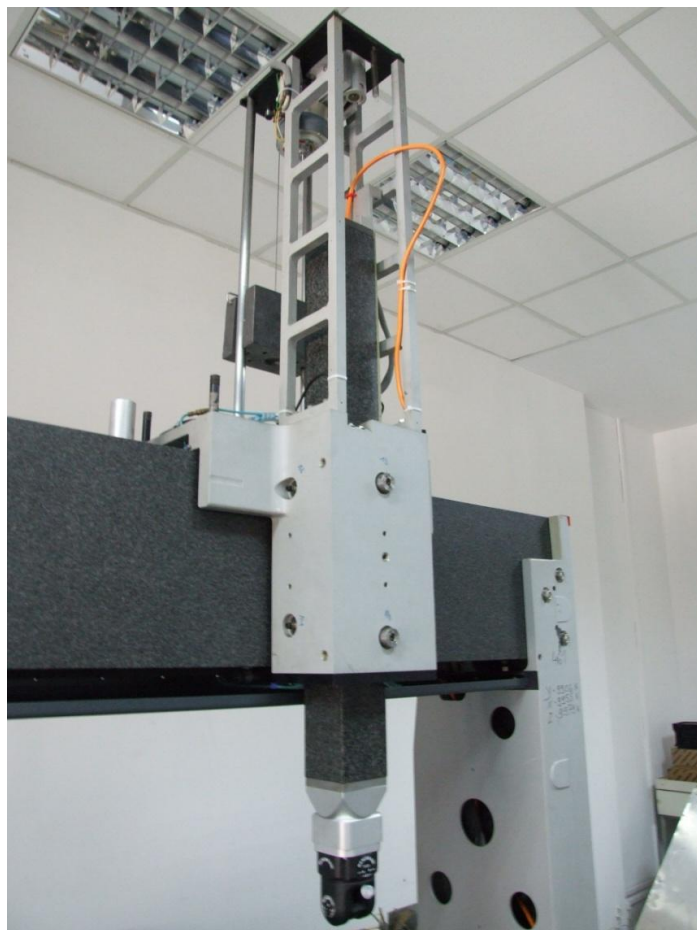
Rys. 11 Końcówka pomiarowa w magazynie oraz głowica maszyny PMM 12106



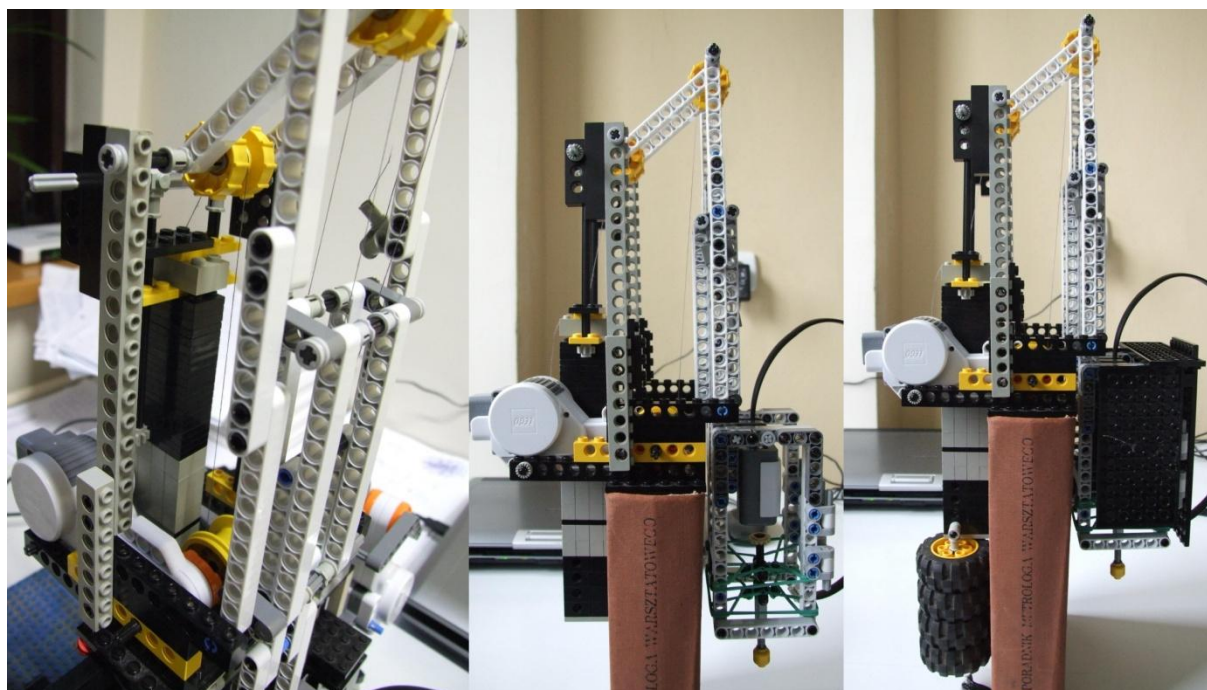
Rys. 12 Konstrukcja drugiej wersji głowicy maszyny LEGO

4.6. Pinola v2

Mechanizm pinoli w wersji pierwszej nie sprawdzał się zbyt dobrze. Występowały duże drgania w kierunku promieniowym osi napędu ponadto pinola osiągała różne prędkości podczas wznoszenia i opadania co z punktu widzenia stałego nacisku powinno zostać wyeliminowane. Postanowiono zrezygnować z przenoszenia napędu poprzez koła zębate na prowadnice i wykorzystać do tego cięgno, tak jak w maszynie WMM850 i w ten sposób wyeliminować problem drgań. Do tego zamontowano prowadnice o konstrukcji pozwalającej na regulację docisku. Aby uniknąć różnic prędkości również posłużono się rozwiązaniem maszyny WMM850 (Rys. 13). Dodano przeciwwagę dla głowicy oraz konstrukcję nośną na wózku (suport). Konstrukcja została nieznacznie zmieniona ze względu na ograniczoną długość przewodu ze sterownika do serwomotoru. Ponieważ ciężar głowicy może być zmieniony przez dodanie osłony zastosowano również dwustopniowy ciężar przeciwwagi. Aby ułatwić pracę nad konstrukcją i przenoszenie maszyny pinolę, jej mechanizm oraz głowicę zbudowano w formie jednego, demontowalnego modułu. Budowę modułu pinoli oraz zamontowaną i zdemontowaną osłonę pokazano na (Rys. 14).



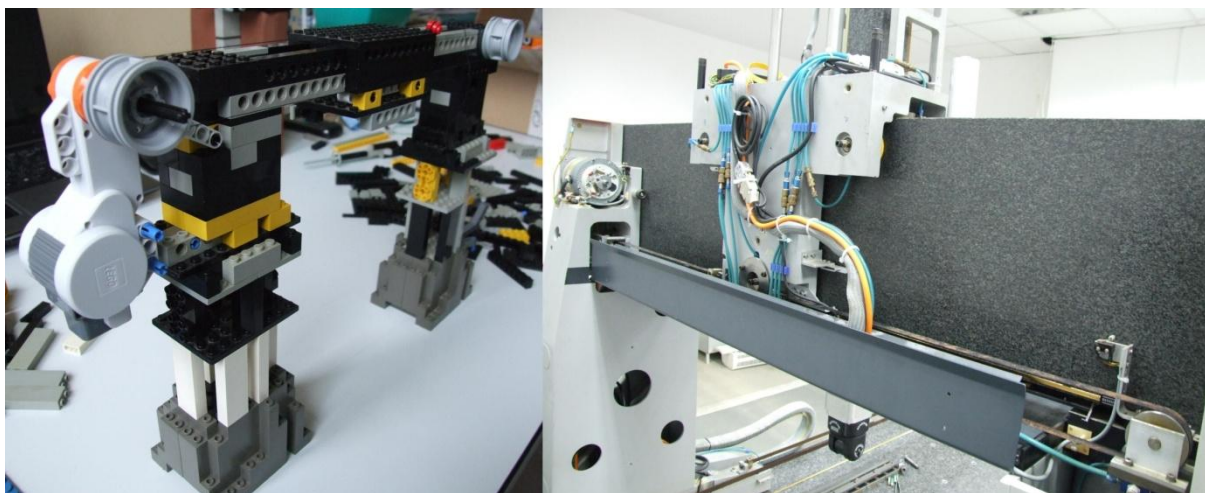
Rys. 13 Mechanizm realizacji ruchu pinoli z zastosowaniem przeciwwagi w maszynie WMM850



Rys. 14 Moduł pinoli z zamontowaną i zdemontowaną osłoną

4.7. Portal i mechanizm suportu v2

Druga wersja portalu i poruszającego się po nim suportu zakładała polepszenie sztywności oraz przeciwdziałanie wypadania suportu z prowadnic. Portal został przebudowany i ujednoczony bez użycia mniejszych klocków mogących powodować straty w sztywności. Wymiary pozostały niezmienione a więc również zakres ruchu suportu nie uległ zmianie. Serwomotor został zamontowany na filarze ze sterownikiem ponieważ problemem okazała się zbyt mała długość przewodu komunikacyjnego który przeszkadzał w osiągnięciu niektórych pozycjach. Już w pierwszej wersji ruch realizowany był poprzez ciągnoprowadzone pomiędzy filarami, zgodnie z rozwiązaniem zastosowanym w WMM850. W celu wyeliminowania niepożądanych ruchów poprzecznych suportu zabudowano prowadnice na jego długości pozostawiając w układzie tylko jeden stopień swobody. Ponadto moduł pinoli w wersji drugiej jest cięższy co przyczyniło się do ograniczenia niepożądanego ruchu. Napęd suportu na maszynie LEGO oraz WMM850 pokazany został na (Rys. 15).

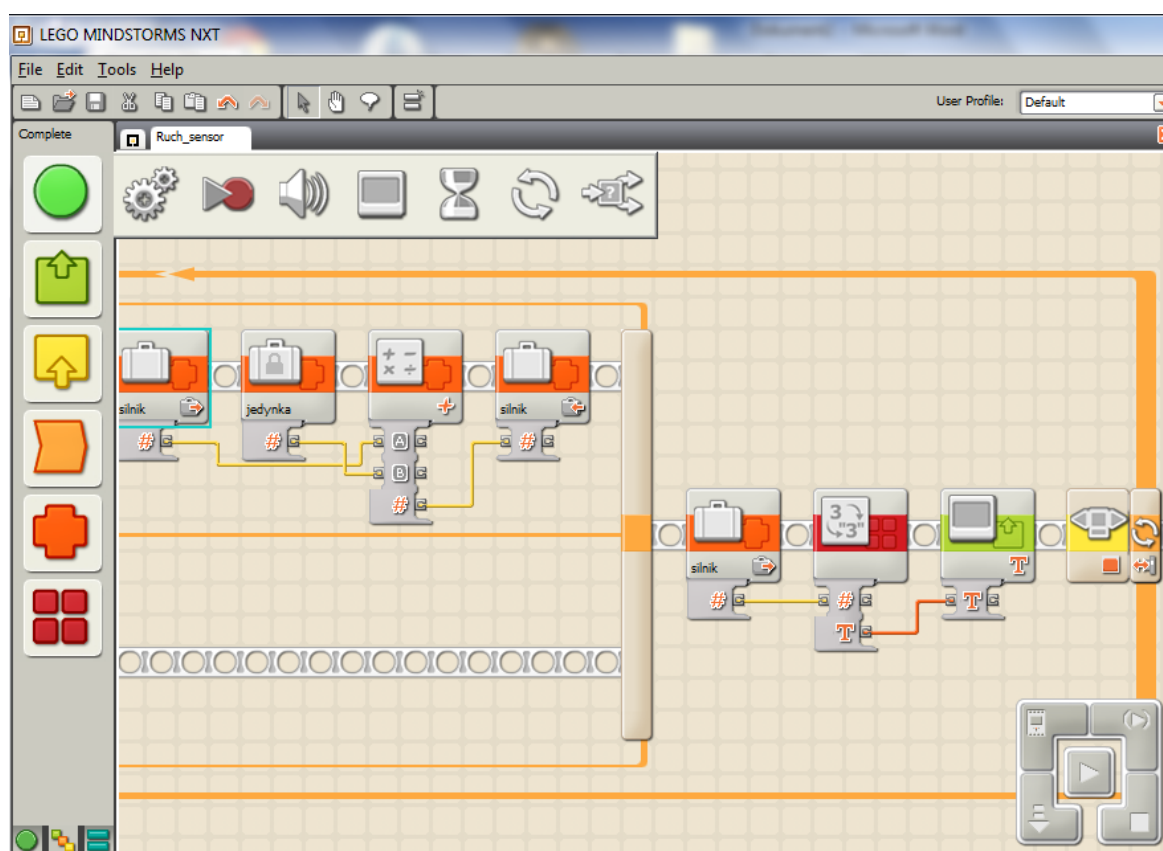


Rys. 15 Portal oraz napęd suportu na maszynie LEGO oraz na WMM 850

6. Programowanie WMP LEGO

Podczas tworzenia kodu programu także starano się zachować jak najwięcej podobieństw do istniejących rozwiązań. Należało uwzględnić kilka funkcjonalności niezbędnych dla poprawnej pracy maszyny i obecnych we wszystkich oprogramowaniach maszyn współrzędnościowych. Program powinien posiadać dwa tryby: ręczny oraz automatyczny. W trybie ręcznym należało zapewnić możliwość ręcznego sterowania ruchami maszyny w jej głównych osiach X, Y i Z, rozpoznawania styku końcówki pomiarowej z przedmiotem mierzonym oraz zapisywania punktów pośrednich (CLP) wykorzystywanych podczas ruchu w trybie automatycznym. Ponadto należało zapewnić takie działanie programu aby ewentualne błędy nie spowodowały uszkodzenia konstrukcji czy nieprawidłowego pozyskiwania współrzędnych punktów. Efektem pracy oprogramowania miał być plik tekstowy zawierający współrzędne punktów pomiarowych i pośrednich który mógłby być importowany do oprogramowania metrologicznego Quindos.

W początkowym etapie prac program pisany był w języku NXT-G (Rys. 16), który jest oprogramowaniem dedykowanym dla zestawu LEGO MINDSTORMS. Stanowi ono przystosowaną dla nieco młodszych użytkowników i sporo uproszczoną odmianę programu LabVIEW firmy National Instruments. Intuicyjny interfejs pozwala korzystać z gotowych bloków będących w istocie programami stworzonymi z użyciem LabVIEW. Stosunkowo mała liczba bloków jest rekompensowana przez ilość parametrów związanych z każdym z nich. Do programu załączony jest także rozbudowany moduł pomocy, wyjaśniający krok po kroku jak zaprogramować m.in. humanoidalnego robota lub maszynę do sortowania klocków ze względu na kolor. Przeglądając gotowe rozwiązania można zorientować się, że NXT-G umożliwia pisanie także bardziej skomplikowanych programów. Dlatego też pierwszą próbę napisania programu sterującego dla WMP LEGO podjęto wykorzystując oprogramowanie dedykowane.

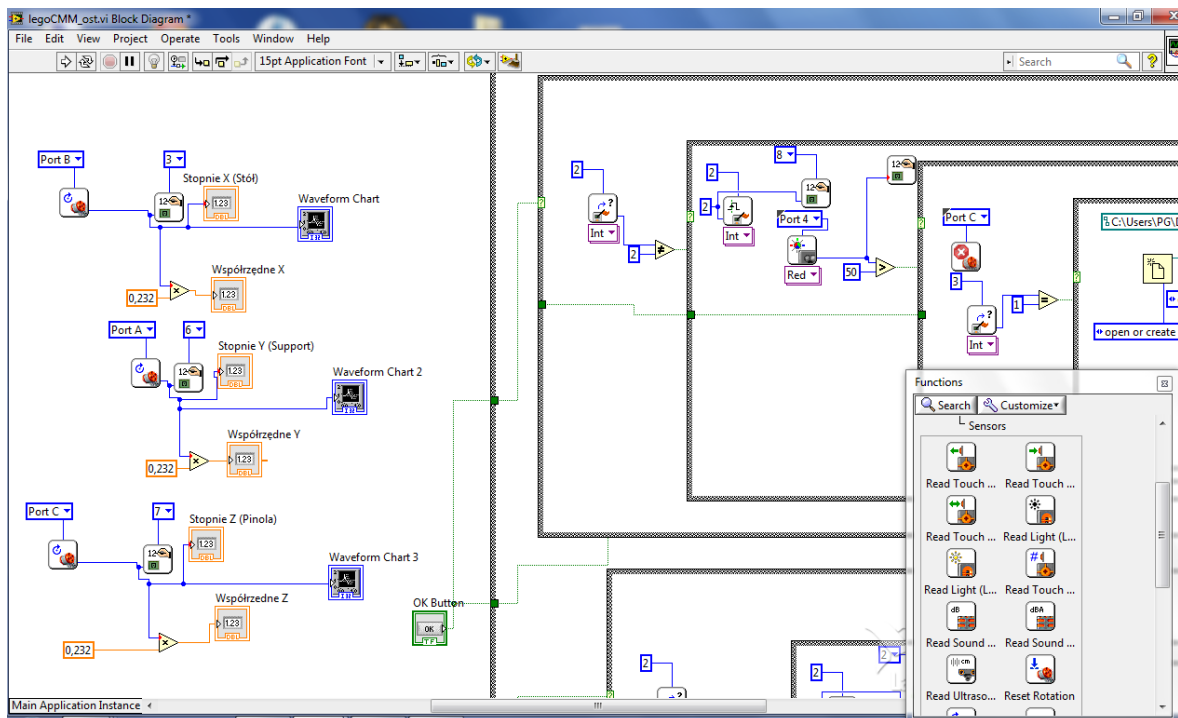


Rys. 16 Fragment kodu programu w języku NXT-G

Ustalono, że na początku należy rozwiązać problem sterowania ręcznego, ponieważ programowanie rzeczywistych Współrzędnościowych Maszyn Pomiarowych zaczyna się właśnie od manualnego zebrania punktów pomiarowych i określenia ścieżki pomiarowej. Dodatkowo już w trakcie tworzenia programu odpowiedzialnego za działanie maszyny w trybie ręcznym pojawia się większość problemów związanych ze zbieraniem współrzędnych punktów oraz zapobieganiu kolizji. Jako główny czynnik od którego zależy działanie programu uznano wskazania czujnika światła zamontowanego w głowicy. Rejestruje on zmiany w natężeniu światła odbijanego od krążka zamontowanego na końcu trzpienia pomiarowego przeciwnym do końcówki pomiarowej. Zarówno styk końcówki z powierzchnią

przedmiotu mierzonego jak również kolizja (np. uderzenie w przedmiot trzpieniem) powinny spowodować natychmiastowe zatrzymanie silników. Zbadano jaka minimalna zmiana położenia krążka powoduje istotną zmianę we wskazaniach czujnika i ustalono, że będzie to wartość której przekroczenie skutkować będzie wstrzymaniem pracy serwowatorów. Pozostawienie programu w takiej formie skutkowałoby permanentną blokadą silników i zmuszało użytkownika do ingerencji w pracę maszyny. Problem ten rozwiązano stosując flagi do oznaczenia kierunku pracy silnika oraz jego numeru. W ten sposób gdy program posiada informację o wychyleniu końcówki umożliwia ruch tylko w kierunku przeciwnym do tego z którego zebrano punkt. Następny problem stanowiła kwestia sterowania silnikiem. W oprogramowaniu NXT-G zaproponowano dość niewygodny system kontroli silników z poziomu komputera. Umożliwia on, sterowanie za pomocą tego samego przycisku tylko dwoma silnikami, połączonymi w pary, co w przypadku maszyn współrzędnościowych byłoby bardzo trudne do zaimplementowania. Sterownik NXT posiada cztery przyciski umiejscowione pod wyświetlaczem, z czego jeden z nich zarezerwowany jest do natychmiastowego przerywania programu. W takim przypadku przystosowano program sterujący WMP LEGO tak aby można było sterować trzema osiami za pomocą trzech przycisków. Przyciski zaprogramowano dla dwóch trybów, w jednym z nich należało wybrać numer silnika który będzie realizował ruch, w drugim, przyciski odpowiadały za ruch silnika w obu kierunkach. Jeden przycisk przeznaczony został do przełączania pomiędzy trybami.

Kolejne problemy pojawiły się przy współpracy NXT-G z plikami. Wciąż pojawiające się problemy związane nie tyle z samym programowaniem co z ograniczeniami wynikającymi z budowy języka NXT-G oraz spowalniający działanie programu interfejs (w przypadku rozbudowanego programu) skłoniły autorów do zmiany środowiska programistycznego. Jako, że NXT-G zostało zaprojektowane w LabView kolejną próbę podjęto z zastosowaniem właśnie tego środowiska (Rys. 17).



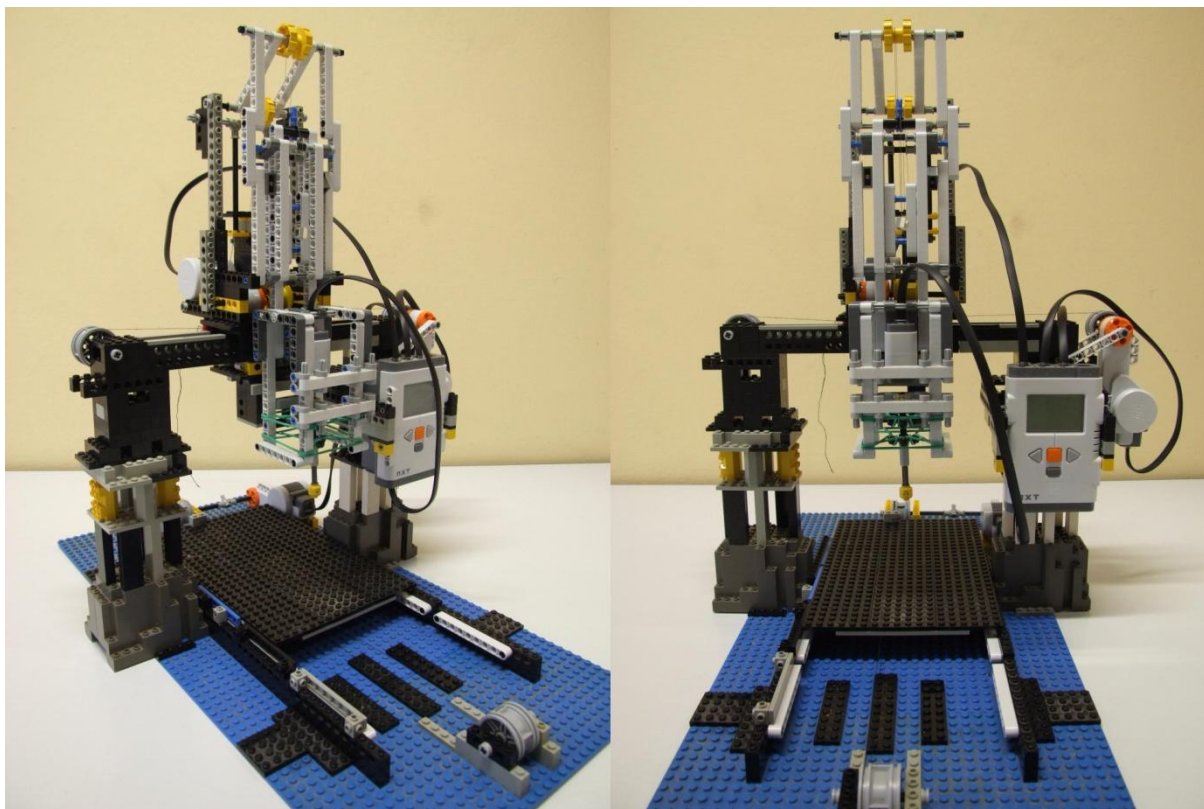
Rys. 17 Fragment kodu programu w środowisku NI LabVIEW

Niestety nie istnieje możliwość edycji programu tworzonoego w NXT-G w oprogramowaniu LabVIEW dlatego pracę nad programem sterującym rozpoczęto na nowo. Od kilku lat National Instruments implementuje w swoim programie specjalny moduł NXT umożliwiający programowanie zestawów LEGO MINDSTORMS. Oferuje on znacznie więcej niż dedykowane oprogramowanie. Zasadnicza koncepcja programu sterującego nie zmieniła się, nadal centralnym punktem pozostały wskazania czujnika światła. Uproszczono natomiast kwestię sterowania, zastępując sterowanie przyciskami na kostce NXT sterowaniem za pośrednictwem komputera. Przeprowadzono także próby wyznaczenia zależności obrotów poszczególnych silników do przemieszczenia w każdej osi. Umożliwiono tworzenie punktów pośrednich (clearance points) zapisywanych wraz z punktami pomiarowymi do zewnętrznego pliku tekstowego w formacie rozpoznawalnym dla oprogramowania Quindos które ma być wykorzystywane do ewaluacji wyników.

Oczywiście zaproponowany przez autorów algorytm jest tylko jednym z możliwych rozwiązań. W ramach zajęć dydaktycznych studenci powinni opracować swój program sterujący, a także możliwe jak najbardziej go zoptymalizować z wykorzystaniem oprogramowania NXT-G. Ograniczenia tego środowiska, ale także nie małe możliwości zmuszają do kreatywnego myślenia i szukania nowych rozwiązań.

5. Podsumowanie WMP LEGO

Powyższy przykład zastosowania klocków LEGO do budowy modelu Współrzędnościowej Maszyny Pomiarowej (Rys. 16) oraz jej programowania w środowiskach graficznych dobrze oddaje możliwości jakie daje nauka poprzez zabawę. Ograniczenia wynikłe z braku dostępności niektórych elementów optymalnych do zastosowania w konstrukcji odzwierciedlają sytuację pracy w branży przemysłowej gdzie inżynier musi wykonać zadanie mimo ograniczeń materiałowych. Problemy jakie pojawiły się w trakcie konstruowania oraz testowania WMP LEGO są tożsame z problemami konstrukcyjnymi rzeczywistych maszyn pomiarowych. Niech za przykład posłuży problem ustalania masy przeciwwagi który wystąpił zarówno w trakcie budowy maszyny LEGO jak i podczas retrofitu WMM850.



Rys. 16 Widok ogólny WMP LEGO

Podczas pracy nad modelem LEGO Współrzędnościowej Maszyny Pomiarowej prowadzono ciągle udoskonalanie konstrukcji. W pewnym etapie zdecydowano się na zbudowanie modelu prawie od początku zachowując jednak ogólny charakter maszyny oznaczonej jako wersja pierwsza. Mimo to konstrukcja może być ciągle poprawiana. Wiele układów może poprawić swoją funkcjonalność przez nawet drobną modyfikację. Inne mogą zostać ulepszone po wykorzystaniu nowych zestawów klocków które nie były dostępne w trakcie budowy. Oprogramowanie, podobnie jak konstrukcja również przechodziło ciągłą ewolucję, włączając w to zmianę środowiska programistycznego. Funkcjonalności, których nie udało się osiągnąć wykorzystując język NXT-G zostały osiągnięte poprzez wykorzystanie LabVIEW – programu specjalistycznego używanego przez firmy komercyjne i ośrodki badawcze.

Prace nad doskonaleniem konstrukcji oraz oprogramowania pod okiem autorów podejmuje wkrótce studenci Wydziału Mechanicznego PK zrzeszeni w Studenckim Kole Naukowym Metrologii Współrzędnościowej w ramach zajęć wprowadzających do Współrzędnościowej Techniki Pomiarowej. Maszynę będą mogli również oglądać uczestnicy Dni Otwartych na Politechnice Krakowskiej oraz innych wydarzeń gdzie popularyzowana jest wiedza inżynierska.

Literatura

- [1] LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 User's guide, The LEGO Group, 2009
- [2] Neumann H. J.: Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmessgeräten, Expert verlag, Renningen 2010

- [3] Sładek J.: Modelowanie i ocena dokładności współrzędnościowych maszyn pomiarowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001
- [4] Sommer W.: Robotyka: Od klocków LEGO MINDSTORMS do przemysłowego ramienia robota, NI Days 2011, Warszawa 2011
- [5] Weckenmann A.: Koordinatenmesstechnik, Hanser, München 2012