

WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI

Katedra Robotyki i Mechatroniki



AGH

„Wykorzystanie materiałów z efektem pamięci kształtu w robotyce”.

Autor pracy

Przemysław GACIA

Promotor pracy

Dr hab. inż. Mariusz Giergiel prof. nadzw. AGH

Podziękowania dla
Dr hab. inż. Mariusz Giergiel prof. nadzw. AGH,
za pomoc przy realizacji, dla Katedry Robotyki i Mechatroniki
za udostępnienie pracowni komputerowej oraz dla wszystkich pracowników
Akademii Górniczo-Hutniczej, którzy przyczynili się do powstania niniejszej pracy.



AKADEMIA GÓRNICZO HUTNICZA

im. Stanisława Staszica w Krakowie

**WYDZIAŁ INŻYNIERII
MECHANICZNEJ I ROBOTYKI**

Artukuł I. Praca dyplomowa
i n ż y n i e r s k a

Przemysław GACIA

Robotyka i mechatronika

Temat pracy dyplomowej:

„Wykorzystanie materiałów z efektem pamięci kształtu w robotyce”.

Ocena:

Promotor pracy

Dr hab. inż. Mariusz Giergiel prof. nadzw. AGH

Kraków, rok 2008/2009

Przemysław GACIA
(imię i nazwisko studenta)

49821
(nr. albumu)

Oświadczenie

Oświadczam, świadomy odpowiedzialności karnej za poświadczenie nieprawdy, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem osobiście i samodzielnie i że nie korzystałem ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

Kraków, dn. 08-01-09

.....
(czytelny podpis)

Kraków, dnia 08-01-09

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI**

TEMATYKA PRACY DYPLOMOWEJ INŻYNIERSKIEJ
dla studenta V roku studiów niestacjonarnych
Przemysław GACIA
(imię i nazwisko studenta)

TEMAT PRACY DYPLOMOWEJ:

„Wykorzystanie materiałów z efektem pamięci kształtu w robotyce”.

Promotor pracy: *Dr hab. inż. Mariusz Giergiel prof. nadzw. AGH*

Recenzent pracy:

Podpis dziekana:

PLAN PRACY DYPLOMOWEJ

1. Omówienie tematu pracy i sposobu realizacji z promotorem.
2. Zebranie i opracowanie literatury dotyczącej tematu pracy
3. Kontynuacja badań lub obserwacji z zakresu praktyki.
4. Zebranie i opracowanie wyników badań.
5. Analiza wyników badań, ich omówienie i zatwierdzenie przez promotora.
6. Opracowanie redakcyjne.

TERMIN ODDANIA W DZIEKANACIE:

31 stycznia 2009 r.

.....
(podpis promotora)

Uwagi:

1. Prawo do korzystania z zawartych w pracy wyników w tym również rozwiązań technicznych oraz prawo rozporządzania tymi wynikami ma Akademia Górniczo-Hutnicza.
2. Dyplomantowi służy prawo do uznania go za współtwórcę na zasadach określonych w prawie autorskim i prawie własności przemysłowej.

.....
podpis dyplomanta

Spis treści:

1. Wstęp.....	5
2. Przegląd literatury:	6
2.1. Na czym polega efekt pamięci kształtu.....	6
2.2. Trzy rodzaje efektu pamięci kształtu	6
2.3. Wybrane własności NITINOLu	9
2.4. Przykłady zastosowań materiałów klasy SMA w nauce i technice	9
3. Projekt robota „OWADA” z układem ruchu opartym na elementach wykonanych z NITINOLu.....	16
3.1. Cel pracy	16
3.2. Schemat ideowy mechanizmu poruszania się robota.....	16
3.3. Układ ruchu postępowego.....	17
3.4. Układ sterowania kierunkiem ruchu	18
3.5. Model 3D konstrukcji robota	19
3.6. Parametry modelu	19
3.7. Opis modelu i rozwiązań konstrukcyjnych	20
4. Analiza dynamiczna konstrukcji robota w polu grawitacyjnym	24
4.1. Parametry modelu wykorzystanego do symulacji.....	24
4.2. Wpływ zmian w symulowanym modelu na wyniki symulacji	25
4.3. Pierwszy wariant symulacji.....	26
4.4. Drugi wariant symulacji – zmodyfikowany	31
5. Analiza wytrzymałościowa konstrukcji robota	36
5.1. Parametry symulacji.....	36
5.2. Materiały zastosowane w symulacjach	36
5.3. Pierwszy wariant symulacji.....	36
5.4. Drugi wariant symulacji.....	47
6. Układ sterowania.....	57
6.1. Dobór mikrokontrolera i środowiska programowania	57
6.2. Wybór języka programowania	58
6.3. Algorytm programu sterującego	59
6.4. Program sterujący w Języku C.....	60
7. Dobór cięgien SMA	71
8. Test poprawności programu	72
9. Programator	73
9.1. Proces programowania	73
10. Schemat obwodu testowego	74
11. Schemat sugerowanej instalacji elektrycznej robota.....	75
12. Perspektywy rozwoju konstrukcji	76
13. Podsumowanie	77
14. Wnioski	78
15. Bibliografia.....	79
16. Spis aplikacji wykorzystanych przy tworzeniu pracy	80
17. Spis załączników	80

1. Wstęp:

Współcześnie opracowywane konstrukcje i rozwiązania charakteryzują się nieporównywalnie wyższymi parametrami pracy. Nieustanny rozwój zmusza nas do stawiania przed kolejnymi generacjami rozwiązań coraz to wyższych wymagań. Sprostanie większości z nich nie jest już możliwe przy zastosowaniu wyłącznie rozwiązań w dziedzinach mechaniki czy sterowania. Szybki rozwój zawdzięczamy obecnie głównie coraz intensywniej rozwijającej się inżynierii materiałowej. Poprzez połączenie inżynierii materiałowej z nowoczesnymi technologiami opracowany został szereg materiałów zdolnych do dynamicznego adaptowania się do warunków otoczenia. Określimy je mianem „Materiałów inteligentnych”.

Materiały te umożliwiły nam tworzenie struktur, które już teraz spowodowały zmianę dotychczasowego sposobu myślenia na temat możliwości konstrukcji i zasad ich pracy. Ponieważ obiekty zbudowane z takich materiałów mogą zmieniać swoje charakterystyki, dostosowując się do otaczającego je środowiska. Możliwe jest opracowanie takich rozwiązań inżynierskich by obiekty te spełniały wyznaczone im zadania w stopniu, jaki do niedawna uważano za niemożliwy do osiągnięcia. Popularnie działania takie nazwa się inteligentnymi lub też po prostu inteligencją materiałową. Samo słowo inteligencja zarezerwowane, do niedawna wyłącznie dla organizmów żywych. Coraz częściej słyszymy je jednak w odniesieniu do materiałów i obiektów, które połączone ze sobą wraz z układami monitorującymi jego pracę, potrafią się uczyć. Dostosowują się do otaczającego je świata poprzez nabywanie różnego rodzaju zachowań, na podstawie oddziaływujących na nie czynników zewnętrznych.

Najintensywniej badane pod kontem praktycznego zastosowania materiałami z tej grupy są obecnie materiały piezoelektryczne, magnetostrykcyjne oraz stopy z pamięcią kształtu (Shape Memory Alloys (SMA)). W poniższej pracy szczególną uwagę zwrócono na zastosowanie materiałów z pamięcią kształtu w charakterze układu napędowego. Podczas projektowania konstrukcji będącej przedmiotem tej pracy zastosowane zostało podejście mechatroniczne, tj. polegające na jednoczesnym projektowaniu części mechanicznej, elektrycznej oraz systemów kontrolnych układu.

Nieodłączną częścią projektowania mechatronicznego jest modelowanie projektowanego układu i symulacje działania takiego układu z wykorzystaniem zbudowanych modeli. W tym celu zastosowane zostało dostępne na rynku specjalistyczne programy, umożliwiające tworzenie modeli geometrii układu fizycznego oraz nadawania im własności kinematycznych i dynamicznych by następnie umożliwić symulację ich pracy w zadanym czasie i przestrzeni.

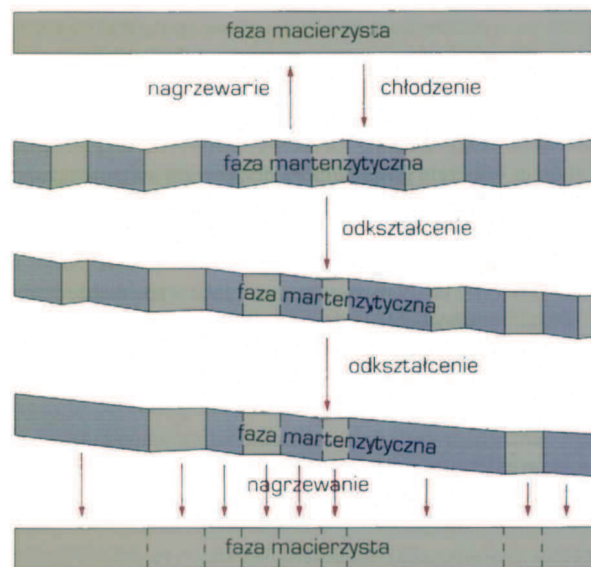
2. Przegląd literatury:

2.1 Na czym polega efekt pamięci kształtu:

Materiały tej klasy zostały wyróżnione, kiedy w 1962 roku W. J. Buehler zaobserwował jako pierwszy zjawisko pamięci kształtu w stopie Ni-Ti. Wykorzystywana przez nas własność tych materiałów związana jest z odwracalną przemianą martenzytyczną zachodzącą w strukturze materiału.

Zjawisko to obserwuje się nie tylko w stopach metali, ale również w materiałach ceramicznych, polimerach czy ceramice. Jest ono tematem szeroko pojętych badań materiałowych oraz wdrożeniowych ze względu na swoją atrakcyjność w możliwych do opracowania przy ich użyciu rozwiązaniach.

Materiały te w zależności od charakteru mogą powracać do zapamiętanego kształtu pod wpływem ciepła, przyłożonego potencjału elektrycznego czy pola magnetycznego. Zdolność powrotu do pierwotnego kształtu może być zachowana nawet przy oddziaływaniu odwrotnie skierowanych, znacznych sił. W przypadku niektórych materiałów naprężenia reakcyjne mogą sięgać $1 \div 1,3$ GPa [2].



Rys. 1.1. Schemat przemian strukturalnych w monokryształach stopu metali z pamięcią kształtu wg. K. Otsuka i K. Shimizu (Dobrzyński 2006 [1])

2.2 Trzy rodzaje efektu pamięci kształtu:

Jednokierunkowy:

W przypadku tym, aby doszło do odkształcenia konieczne jest przyłożenie siły, której oddziaływanie doprowadzi do zmiany struktury wewnętrznej materiału. W strukturze proces ten zachodzi według schematu:

Faza macierzysta

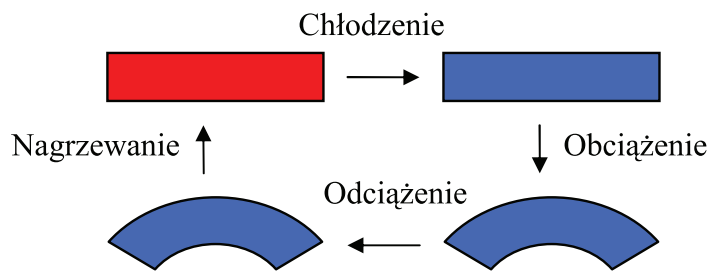
Odształcenie →

Faza martenzytyczna

← Nagrzewanie

Przy czym fazą macierzystą może być zarówno austenit jak i martenzyt (w przypadku martenzytu po odkształceniu otrzymujemy martenzyt odkształcony nazywany także zbliżniaczonym ze względu na charakter przemiany struktury). Ogólny schemat przemian strukturalnych zachodzących w materiale obrazuje rysunek 1.1.

W przypadku przemiany, w której fazą macierzystą był martenzyt, w wyniku nagrzewania następuje uwolnienie energii nagromadzonej w strukturze pod postacią naprężeń. Tensor owych naprężeń skierowany jest przeciwnie do tensora naprężeń odkształcających.

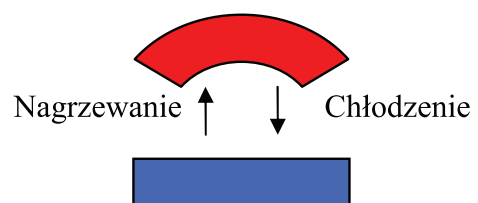


Rys. 1.2. Schemat zachowania się materiału z jednokierunkowym efektem pamięci kształtu.

W przypadku, w którym fazą macierzystą był austenit, problem ten jest znacznie bardziej skomplikowany ze względu na całkowitą zmianę budowy krystalograficznej i został szerzej opisany w źródle [3] strona 15.

Dwukierunkowy:

W tym przypadku materiał zachowuje pamięć kształtu (postaci struktury) zarówno dla fazy wysoko jak i nisko temperaturowej. Oznacza to, że w zależności czy materiał będzie chłodzony czy nagrzewany uzyska jedną z dwóch nadanych mu postaci.



Rys. 1.3. Schemat zachowania się materiału z dwukierunkowym efektem pamięci kształtu.

W przypadku materiałów obdarzonych dwukierunkowym charakterem pamięci kształtu z reguły postać niskotemperaturową nadajemy poprzez kształtowanie z fazy ciekłej (odlewanie) a postać wysokotemperaturową w wyniku odkształcenia plastycznego materiału.

Pseudosprężystość:

Jest to zjawisko analogiczne do jednokierunkowego efektu pamięci kształtu z tą jednak różnicą, że powrót do struktury macierzystej zachodzi natychmiast po zdjęciu obciążenia odkształcającego. Spowodowało to, że przez wiele lat, gdy rozpoczynano dopiero badania nad tym zjawiskiem w materiałach, mylono je z klasyczną sprężystością.

W materiałach tych w temperaturze występowania fazy macierzystej, pod wpływem działającego obciążenia dochodzi do powstania martenzytu. W skali makroskopowej dochodzi do sprężystego odkształcenia dochodzącego nawet do kilkunastu procent. Po zdjęciu obciążenia

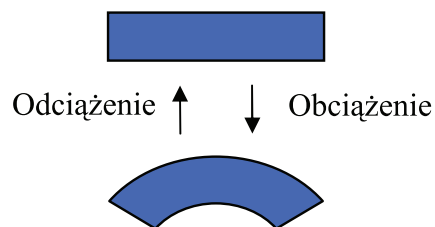
dochodzi do natychmiastowego powrotu do struktury macierzystej (obserwujemy powrót do stanu wyjściowego przy nagrzewaniu).

Jeżeli poddamy taki element chłodzeniu do temperatury poniżej M_f (tzn. poniżej temperatury zakończenia przemiany martenzytycznej) następuje przebudowanie struktury do postaci struktury martenzytycznej a co za tym idzie do zmiany kształtu elementu.

Materiałem zastosowanym w mojej pracy był NITINOL. Jest to stop składający się z 49% niklu i 51% tytanu. Zaletą tego materiału jest to, że powrót do struktury fazy macierzystej zachodzi zarówno pod wpływem energii cieplnej jak i elektrycznej.

Ponadto, cechuje go bardzo duża zdolność do odkształceń w ramach wykorzystania efektu pamięci kształtu. Praktycznie największą ze wszystkich komercyjnie dostępnych materiałów tej klasy.

Stop ten został odkryty w 1958 roku przez Laboratoria Badawcze Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych (dokładnie US Naval Ordnance Laboratory, w skrócie US NOL). Tam też oznaczono tę klasę materiałów jako SMA (ang. Shape Memory Alloys). Nazwa została utworzona od symboli pierwiastków w układzie okresowym (Ni i Ti) oraz nazwy NOL [4]. Praktycznie natychmiast został uznany za atrakcyjny i rozwojowy materiał pod względem możliwych do opracowania nowych rozwiązań i technologii.



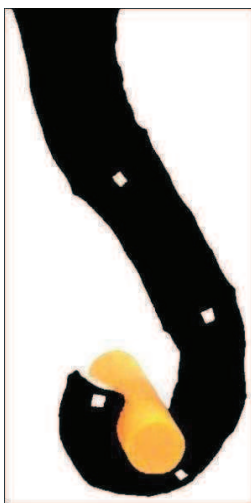
Rys. 1.4. Schemat zachowania się materiału pseudoplastycznego.

2.3 Wybrane własności NITINOLu:

- Temperatura topnienia: ok. 1300°C
- Zakres charakterystycznych temperatur przemiany: -200°C : +200°C
- Wielkość pętli histerezy: 2-50°C
- Maksymalna dopuszczalna temperatura przegrzania: 400°C
- Typowa ilość cykli termicznych: ~100 000
- Gęstość: 6400-6500 kg/m³
- Ciepło właściwe: 450-620 J/kg·K
- Moduł Younga: 28 GPa(w fazie martenzytycznej) / 83GPa(w fazie austenitycznej)
- Wytrzymałość na rozciąganie w stanie wyżarzonym: 900MPa
- Wytrzymałość na rozciąganie po przeróbce plastycznej na zimno: 1900 MPa
- Odporność na korozję: doskonała
- Zgodność biologiczna: doskonała
- Topienie, odlewanie, kontrola składu chemicznego: trudne
- Formowanie(walcowanie, wyciskanie): trudne
- Obróbka plastyczna na zimno: dobra

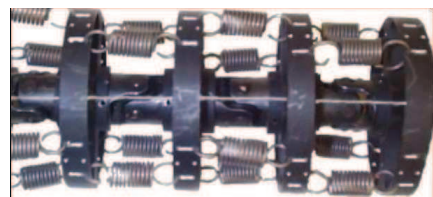
2.4 Przykłady zastosowań materiałów klasy SMA w nauce i technice:

Najbardziej złożonym i rozbudowanym pod względem problemowym projektem jest „Trąba słonia”. Jest to konstrukcja opracowana w laboratoriach



Rys. 2.1. Michael W. Hannan and Ian D. Walter [6]

na wydziale Electrical and Computer Engineering, przez panów Michael'a W. Hannan oraz Ian'a D. Walker'a.

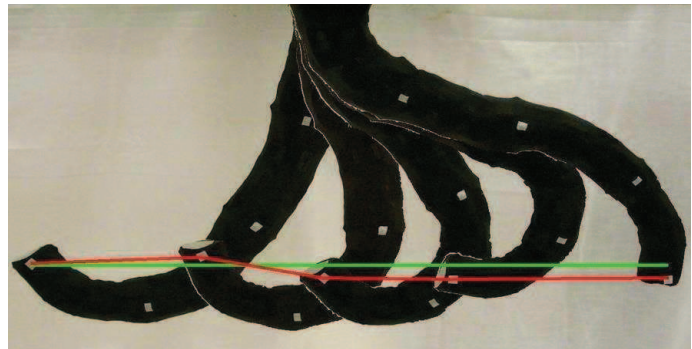


Rys. 2.2. Konstrukcja przegubów Michael W. Hannan and Ian D. Walter [6]

Jest to praca bardzo istotna dla zastosowania tej klasy materiałów ze względu na charakterystyczne problemy wynikające z natury tych materiałów a z którymi autorzy tego projektu doskonale sobie poradzili.

Mianowicie, jedną z cech charakterystycznych dla SMA jest nieliniowa charakterystyka powrotu do zapamiętanego kształtu. Każdy element napędzający takiego robota (w tym przypadku manipulatora) musi być rozpatrywany indywidualnie i tak też traktowany przez system kontroli urządzenia.

Wymagało to opracowania przez w/w autorów bardzo rozbudowanego układu sterowania opartego na skomplikowanym modelu kinematycznym [6].



Rys. 2.3. Manipulator w ruchu: Zielony – tor zadany, Czerwony – ścieżka ruchu; Ian D. Walter [7]

Ostatecznie możliwe było zakończenie projektu jako

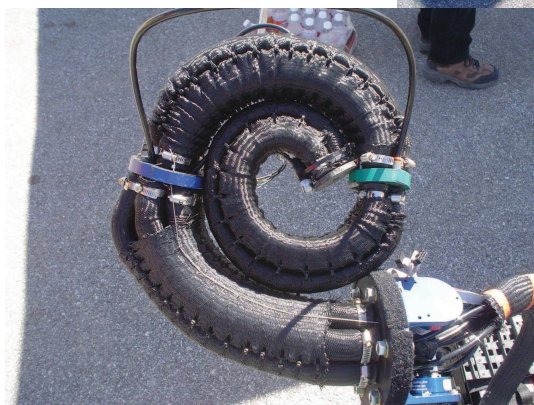
sprawnego i w pełni funkcjonalnego układu napędzanego sprężynami SMA. Uzyskany w ten sposób manipulator nazwany przez autorów jako: „Whole Arm Manipulation with the Clemson Elephant's Trunk Robot” doczekał się nawet swojej mobilnej wersji.



Rys. 2.4. Chwyt; Ian D. Walter [8]



Rys. 2.5. Manipulator na platformie Ian D. Walter [7]

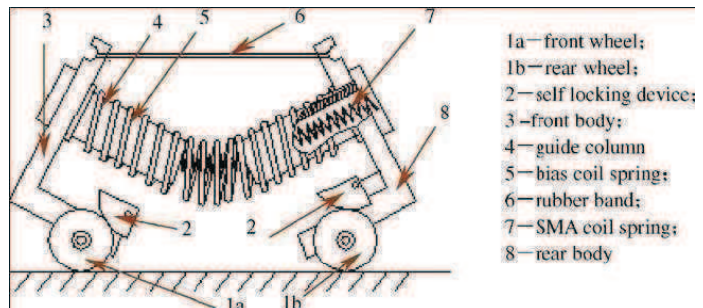


Rys. 2.6. Widok manipulatora; Ian D. Walter [7]

Materiały klasy SMA ze względu na możliwość miniaturyzacji i uproszczenia konstrukcji robotów jeszcze przez bardzo długi czas będą w budzić

zainteresowanie konstruktorów. Jednak jak już wspomniałem, problematyczność ich zastosowania wymusza niejednokrotnie zastosowanie bardzo nowatorskiego podejścia przy projektowaniu. Racjonalizując tym samym wykorzystanie SMA.

Zespół trzech Chińskich naukowców Qin Chang-jun, Ma Pei-sun, oraz Yao Qin, opracował projekt prototypu mikro-kołowego robota, którego napęd oparty jest na dwóch spiralach wykonanych z SMA oraz dwóch ramkach wózka z blokowanymi kółkami (Rys.2.7.).



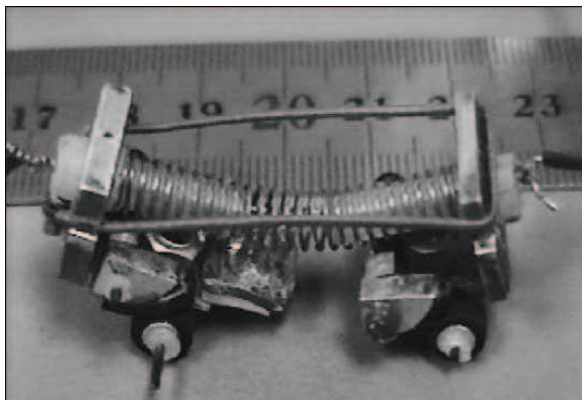
Rys. 2.7. Schemat konstrukcji Robota Chang-jun, Qin; Pei-sun, Ma; Qin, Yao [9]

Urządzenie zdolne jest do poruszania się tylko po linii prostej, pokonując kolejne odcinki trasy poprzez wykonywanie kroków.

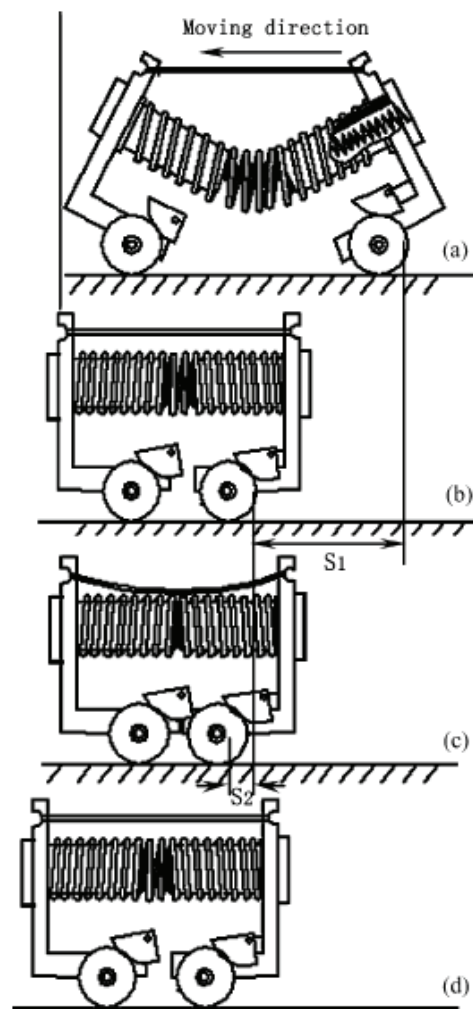
Opracowaną konstrukcję charakteryzują:

- Wymiary: 45mm × 15mm × 30mm
(długość × szerokość × wysokość)
- Masa netto: 20 g
- Prędkość: 50 mm/min.

Naturę tego zachowania prezentuje Rys. 2.8. z kolei Rys. 2.9. prezentuje wygląd opracowanego w ramach prac chińskiego zespołu rzeczywistego modelu.

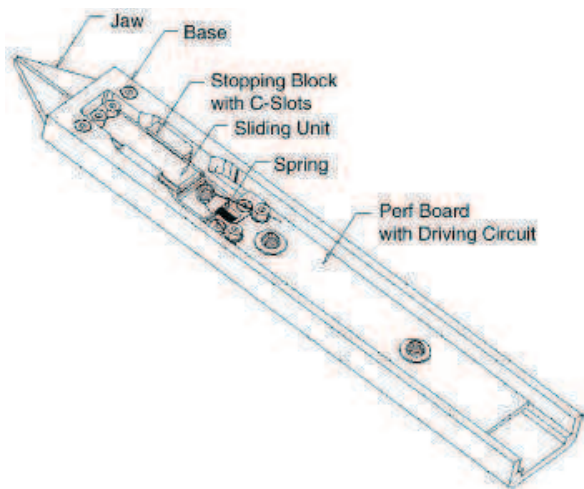


Rys. 2.9. Zdjęcie prototypu; Chang-jun, Qin; Pei-sun, Ma; Qin, Yao [9]



Rys. 2.8. Schemat poruszania się robota Chang-jun, Qin; Pei-sun, Ma; Qin, Yao [9]

Ze względu na możliwość znacznej miniaturyzacji układów mechanicznych (nie ma konieczności budowania układów przekazania ruchu) wiele zespołów pracuje nad mikrochwytkami możliwymi do zastosowania w medycynie, biologii i mikrobiologii. Panowie Z.W. Hong i C.K. Yeong z Singapuru opracowali prototyp komercyjnego chwytaka, w którym elementem odpowiedzialnym za zacisk szczęk jest drut wykonany z SMA (Rys. 2.10.).



Rys. 2.10. Schemat prototypu;
Z.W. Zhong, C.K. Yeong [10]

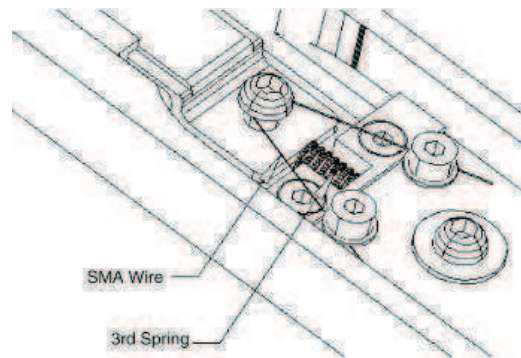
rozwarcia szczęk chwytaka (Rys. 2.11).

Co prawda praca ta skupiła się nad opracowaniem układu sterowania siłą zacisku szczęk. Jednak

Stanowi ona doskonały przykład możliwości zastosowania tego typu materiałów w konstrukcji.

Innym przykładem manipulatora wykorzystującego jako napęd SMA jest opracowany w Niemczech przez panów M. Kohl, B.Krevet oraz E. Just'a mikrochwytak. Chwytnak ten wykonany jest z monolitycznego elementu SMA. W zależności od miejsca, w którym do monolitu zostanie przyłożone napięcie, dojdzie do otwarcia bądź zamknięcia szczęk chwytaka.

W opracowanej przez wymienionych panów konstrukcji, drut poddany działaniu prądu elektrycznego próbuje powrócić do zapamiętanego przez siebie kształtu. Przeciwstawia się temu sprężyna dążąca do

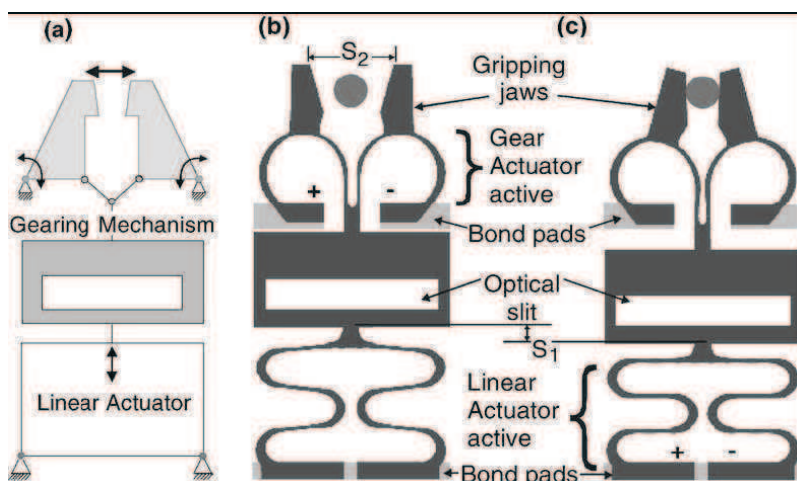


Rys. 2.11. Schemat mechanizmu zaciskowego;
Z.W. Zhong, C.K. Yeong [10]

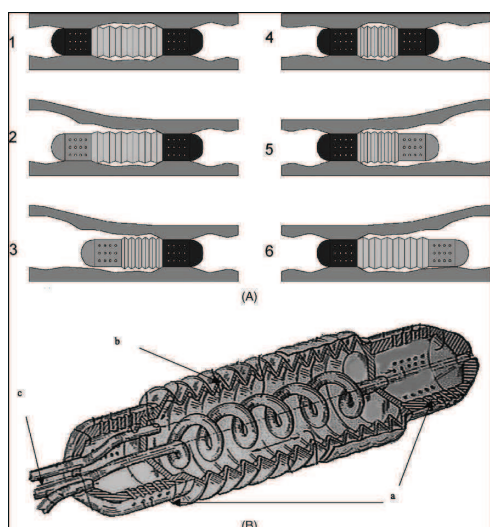


Rys. 2.12. Chwytnak zaciskający włókno światłowodowe średnicy 140 μm
M. Kohl, B.Krevet, E. Just [11]

W tym przypadku nowatorskie podejście do projektowania przy wykorzystaniu pełnych możliwości materiału pozwoliło doprowadzić do zminiaturyzowania układu mechanicznego.



Rys. 2.13. a) Schemat kinematyczny, b), c) postać monolitu SMA w zależności od miejsca przyłożenia napięcia. M. Kohl, B.Krevet, E. Just [11]

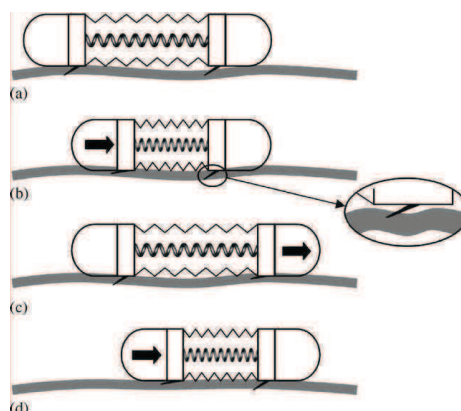


Rys. 2.14. Robot medyczny przeznaczony do wykonywania endoskopii [12]

Robot taki może być z łatwością wyposażony w kamerę (autorzy wykonali i opisali eksperyment wykorzystania praktycznego urządzenia [12]), co umożliwia zastosowanie go w diagnostyce.

Drugim przykładem robota wykorzystującego mechanizm poruszania się dźdźownicy jest południowokoreańska konstrukcja bezprzewodowego, częściowo autonomicznego robota napędzanego przy

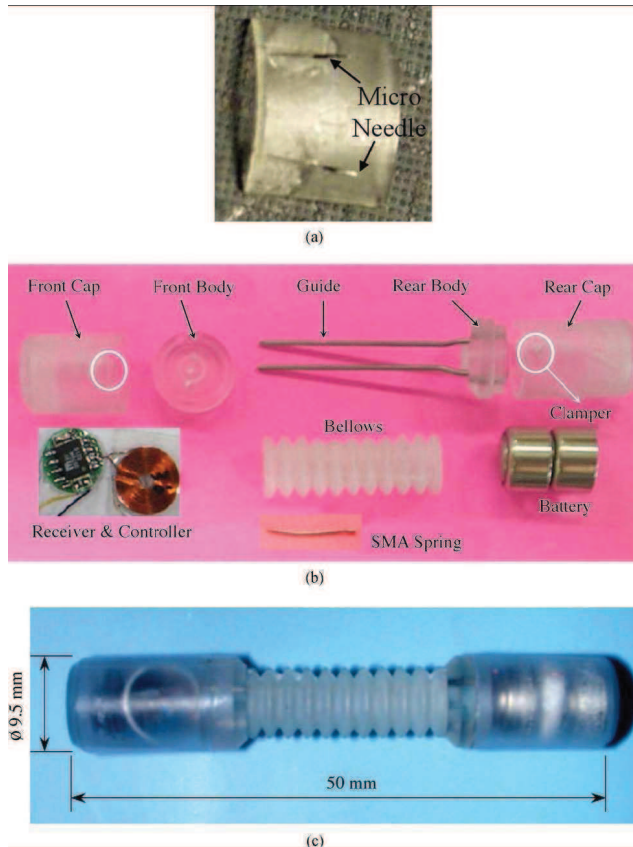
Kolejnymi przykładami możliwości wykorzystania SMA w konstrukcji prostych robotów będą dźdźownice. Konkretyzując, miniaturowe roboty dźdźownice. Pierwszym przykładem będzie włoska konstrukcja robota medycznego przeznaczona do wykonywania endoskopii. Zaprezentowany na Rys. 2.14. schemat poruszania się w jelicie (A) oraz schemat konstrukcji (B) prezentują poglądowo zachowanie się tego prostego teleoperatora w środowisku ludzkiego przewodu



Rys. 2.15. Schemat zasady ruchu Byungkyu Kim, Moon Gu Lee, Young Pyo Lee, YongIn Kim, GeunHo Lee [13]

pomocy sprężyny wykonanej z dwukierunkowego stopu SMA.

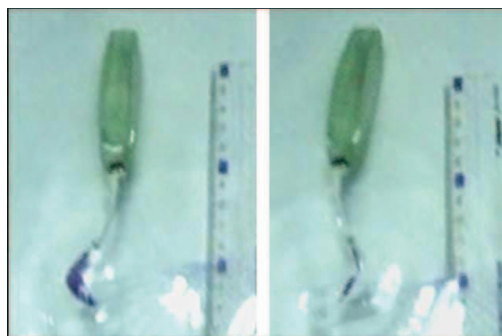
Autorzy pracy podczas projektowania skupili się na układzie sterowania robotem oraz energooszczędności podczas pracy.



Rys. 2.16 Zdjęcia: a) mikroigieł; b) elementów konstrukcji; c) prototypu złożenia

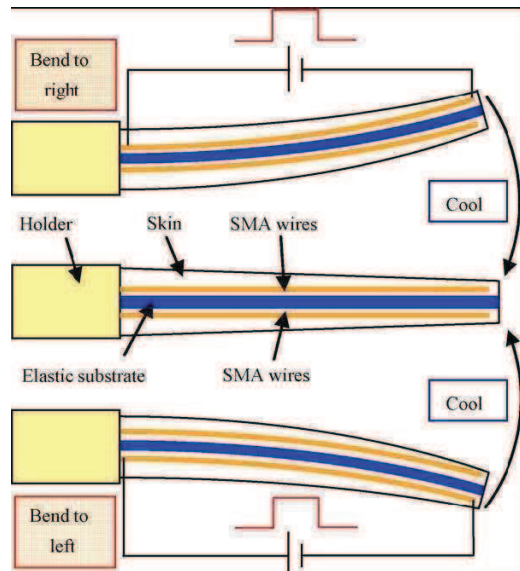
Byungkyu Kim, Moon Gu Lee, Young Pyo Lee, YongIn Kim, GeunHo Lee [13]

w ruch elastycznej, 50 mm listwy pełniącej funkcję ogona. Druty te, przymocowane są po



Rys. 2.18 Zhenlong Wang, Guanrong Hanga, Jian Li, YangweiWang, Kai Xiao [14]

Ciekawym przykładem możliwości zastosowania SMA w budowie robotów jest opracowany w Chinach bioniczny mikro-robot ryba (Rys. 2.17.). Ten niewielki, długi na zaledwie 15 cm i szeroki na 14 mm robot wykorzystuje dwa druty SMA o średnicy 0,2 mm i długości 48 mm do wprawienia



Rys. 2.17 Schemat struktury i poruszania się elementu ruchomego robota

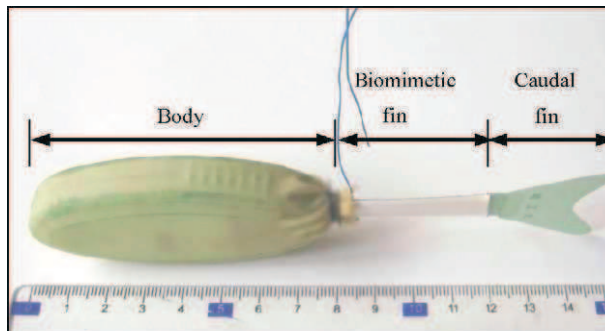
Zhenlong Wang, Guanrong Hanga, Jian Li, YangweiWang, Kai Xiao [14]

na

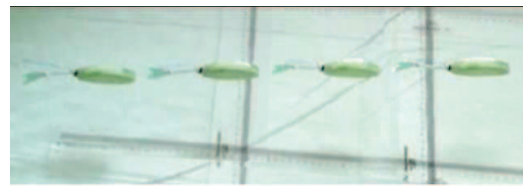
każdą ze stron listwy. Napięcie przykładane jest naprzemiennie pomiędzy druty, co wywołuje efekt mechaniczny machania ogonem (Rys. 2.17.).

Dzięki zapewnionej przez konstruktorów możliwości wymiany ciepła z otoczeniem, możliwe było uzyskanie stosunkowo dużej

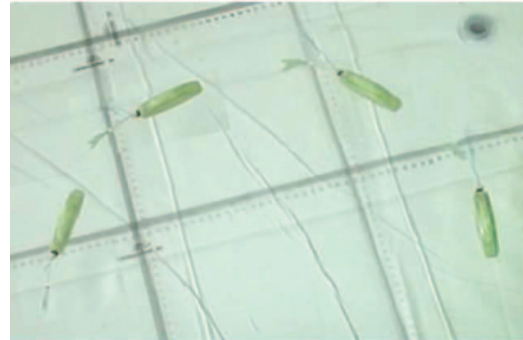
sprawności poruszania się robota (Rys. 2.20). Przy odpowiednich parametrach, tzn. intensywności ruchach ogona np. dla 2,5 Hz, konstrukcja ta uzyskała prędkość poruszania się 58 mm/s. Maksymalne jej osiągi to z kolei prędkość 112 mm/s oraz minimalny promień skrętu 136 mm.



Rys. 2.19 Zdjęcia Elementów składowych Zhenlong Wanga, Guanrong Hanga, Jian Li, YangweiWang, Kai Xiao [14]



(a) swimming forward



(b) turning right

Rys. 2.20 Zdjęcia ruchu przy 2,78 Hz Zhenlong Wanga, Guanrong Hanga, Jian Li, YangweiWang, Kai Xiao [14]

koncepcja układ sterowania wychyleniem sterów w samolotach. W podejściu tym, podobnie jak w przypadku w/w ryby zastosowano elastyczny rdzeń, którego wychyleniem sterują odpowiednio przymocowane cięgna wykonane z drutu SMA (Rys. 2.22.). Rozwiązanie takie miało w porównaniu z konwencjonalnym usterzeniem szereg istotnych zalet, z których

Analogicznym przykładem zastosowania SMA w konstrukcji jest



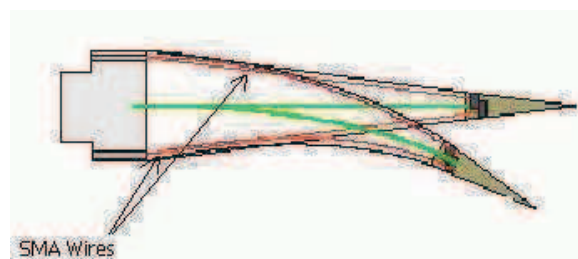
Rys. 2.21 Konwencjonalny układ skrzydła i kłapy [15]

najważniejsze to poprawa charakterystyk aerodynamicznych konstrukcji oraz (co najistotniejsze) istotne obniżenie masy samolotu.

Obecnie najpopularniejszym rozwiązaniem jest stosowanie siłowników hydraulicznych, co wymaga stosowania ciężkich pomp, przewodów oraz czynnika hydraulicznego. Niesie to za sobą podniesienie kosztów produkcji i eksploatacji maszyny.

Obecnie najpopularniejszym

Koncepcja ta znajduje się obecnie w fazie opracowywania rozwiązań wdrożeniowych. Współpracują nad tym projektem amerykańska korporacja Boeing oraz DARPA (ang. Defense Advanced Research Project Agency).



Rys. 2.22 Koncepcja bez przegubowej kłapy z wykorzystaniem SMA [15]

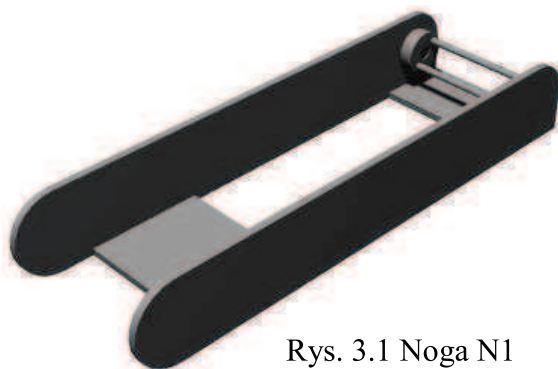
3. Projekt robota „OWADA” z układem ruchu opartym na elementach wykonanych z NITINOLu:

3.1 Cel pracy:

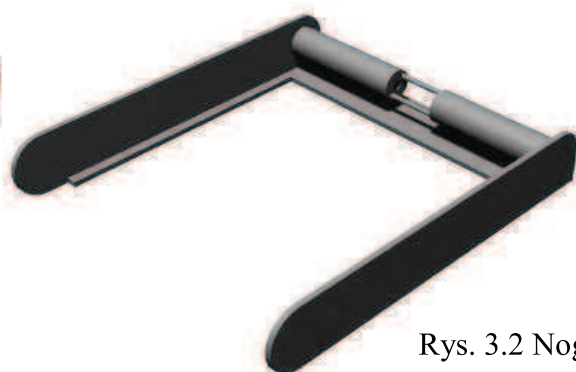
Celem niniejszej pracy jest zaprojektowanie robota mobilnego napędzanego elementami wykonanymi z materiału z pamięcią kształtu. Jego układu ruchu oraz układu sterowania. Którego całkowita masa konstrukcji nie przekraczała by 200 g. Zaprojektowanie układ manipulatora wykonanego z SMA umożliwiającego chwyt niewielkich, podłużnych przedmiotów. Wykonanie modelu w programie CAD. Analiza kinematyki w programie MSC visual Nastran, oraz analiza MES newralgicznych elementów konstrukcji.

3.2 Schemat ideowy mechanizmu poruszania się robota:

Ruch postępowy konstrukcji możliwy jest dzięki naprzemiennej pracy zespołu kończyn wchodzących w skład każdego z trzech modułów jego konstrukcji (Rys. 3.1 i 3.2).



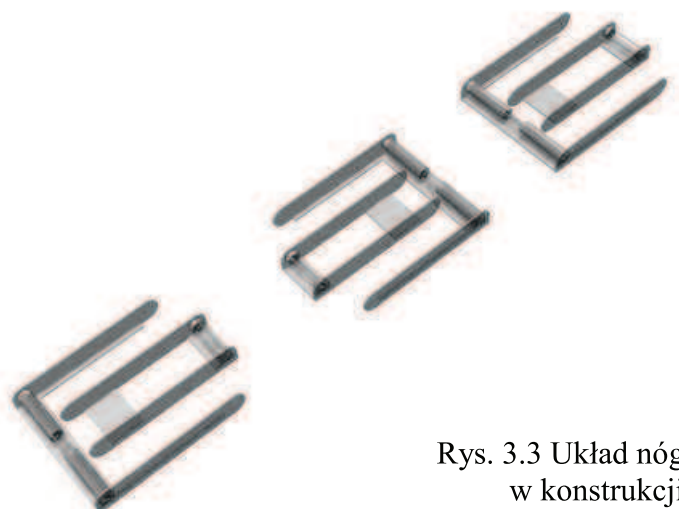
Rys. 3.1 Noga N1



Rys. 3.2 Noga N2

Umieszczone w zespołach po dwa na każdy moduł tak, aby wzajemnie nie kolidowały podczas pracy.

Ponadto w celu zapewnienia stabilności konstrukcji podczas ruchu, kończyny modułu centralnego są odwrócone w stosunku do pozostałych. Gwarantuje to stabilne rozmieszczenie punktów podparcia w czasie ruchu (Rys. 3.3).



Rys. 3.3 Układ nóg w konstrukcji

Sam ruch postępowy odbywa się według algorytmu zaprezentowanego poniżej w formie graficznej (Rys. 3.4).



Pozycją wyjściową dla sekwencji ruchu jest układ wszystkich kończyn złożonych.



Następnie pierwszy zespół nóg ulega rozłożeniu. W efekcie zaczyna się ruch postępowy a cała konstrukcja podnosi się.



Kolejnym etapem jest rozłożenie drugiego zestawu kończyn. Zmianie ulega rozłożenie punktów podparcia.



Po złożeniu pierwszego zestawu, masa robota spoczywa całkowicie na drugim. Następuje kontynuacji ruchu.



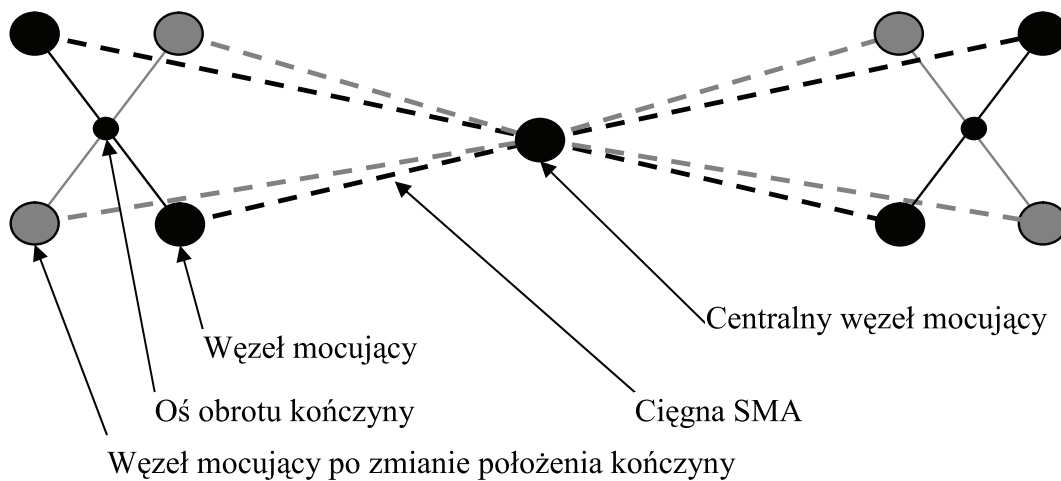
Robot wraca do pozycji wyjściowej. Następuje powtórzenie sekwencji.

Rys. 3.4
Robot w ruchu

3.3 Układ ruchu postępowego:

Pomimo iż układ ten wymaga współpracy trzech połączonych modułów robota, w istocie w każdym z nich funkcjonuje ten sam zdublowany układ napędzający. Każdy z modułów zawiera układ czterech sprężyn SMA pełniących funkcję siłowników (ciągnięć). Podczas gdy po jednym z końców każdego z siłowników zamocowane zostają do uchwytu w części

centralnej każdego z modułów, pozostałe końce podłączone są do odpowiadających im zaczerpów każdej z kończyn (Rys. 3.5).

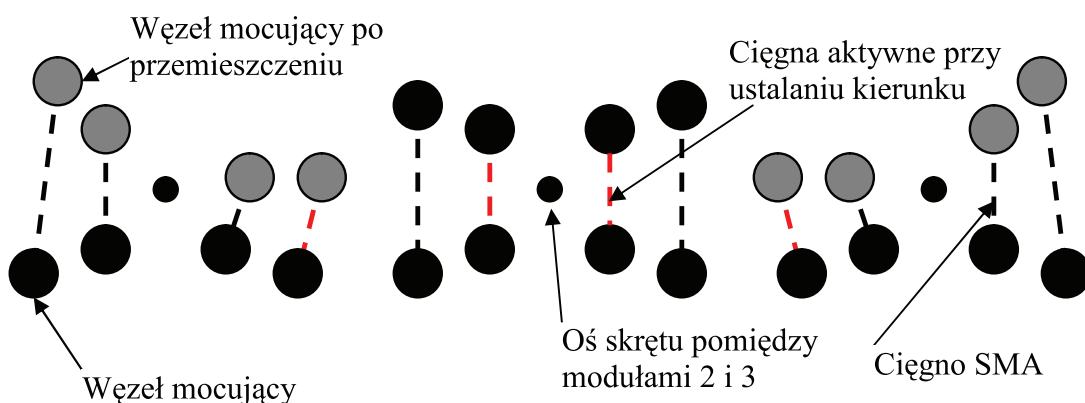


Rys. 3.5 Schemat układu cięgien w układzie ruchu postępowego

Ponadto centralny węzeł mocujący, stanowić ma miejsce podłączenia bieguna ujemnego (-) układu zasilania cięgien. Znacznie uprości to konstrukcję instalacji elektrycznej robota.

3.4 Układ sterowania kierunkiem ruchu:

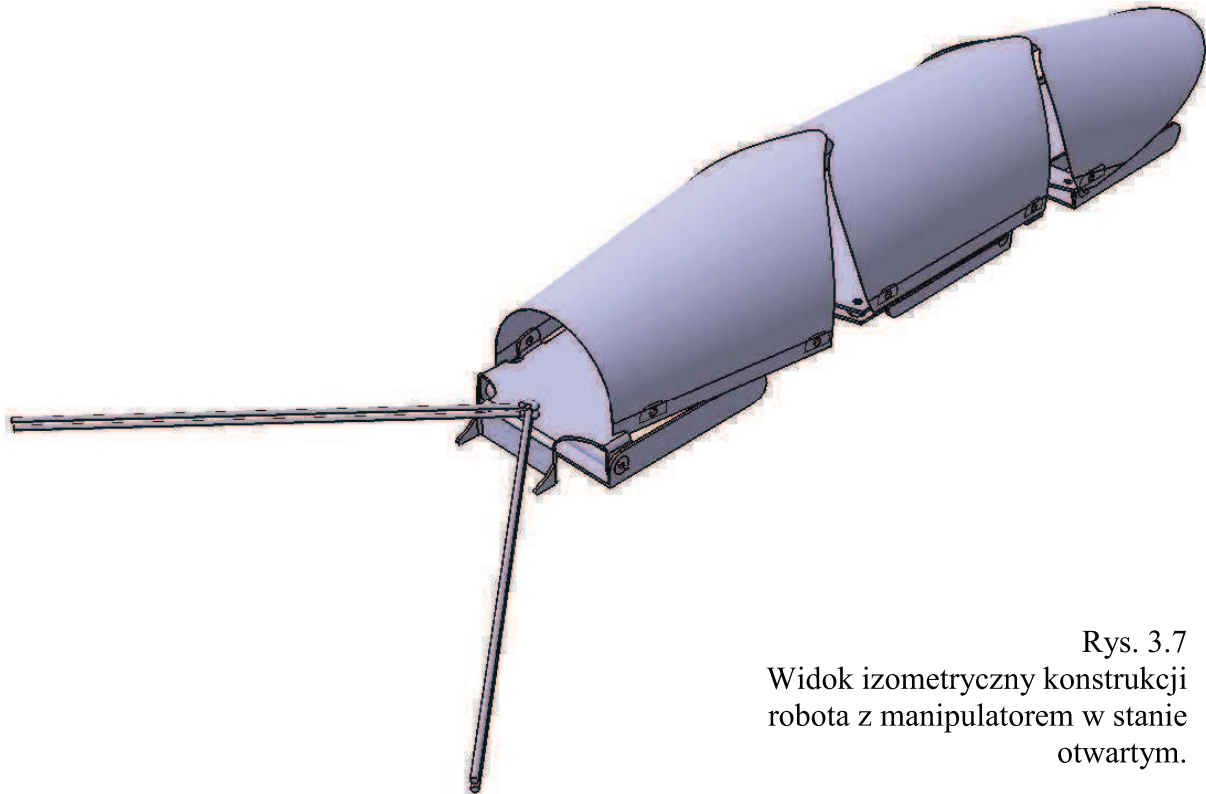
Ze względu na trudności wynikające ze sterowania stopniem odkształcenia siłowników SMA, w celu uzyskania bezpiecznego (tzn. pewnego) ukierunkowania zastosowane zostały dwa siłowniki o takiej samej długości. Oba wspomniane siłowniki stan normalny (tzn. nieodkształcony) posiadają dla nastawy „wyprostowanej” odchylenia kierunku (Rys 3.6). Dodatkową korzyścią jest fakt, iż bez względu na kierunek wcześniejszego odchylenia kierunku (w lewo lub w prawo), przy ruchu powrotnym do stanu wyprostowanego jeden z siłowników będzie zawsze ciągnął. Co jest równoznaczne z jego najefektywniejszą możliwą pracą.



Rys. 3.6 Schemat układu cięgien w układzie sterowania kierunkiem ruchu

3.5 Model 3D konstrukcji robota:

Model 3D wykorzystany został przy pomocy pakietu oprogramowania CATIA v5 – moduły Mechanical Design – Part Design, Assembly Design i Generative Sheetmetal Design oraz Shape – Generative Shape Design.



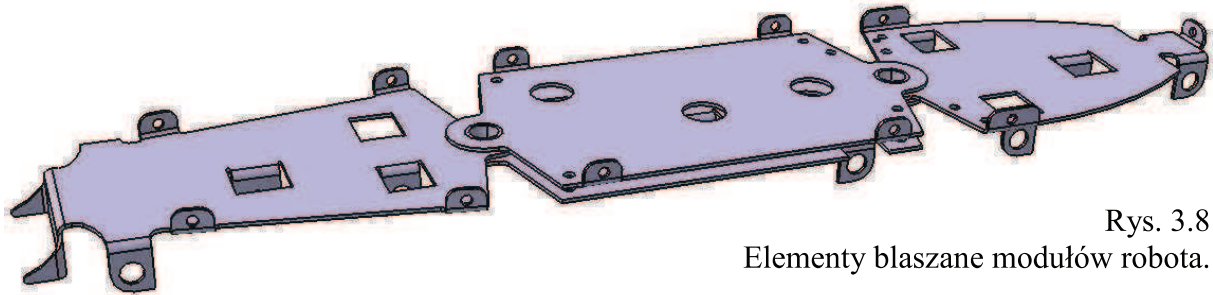
Rys. 3.7
Widok izometryczny konstrukcji
robota z manipulatorem w stanie
otwartym.

3.6 Parametry modelu:

- Masa: 101 g
- Szerokość: 74,4 mm
- Szerokość z manipulatorem: 207,33 mm
- Długość: 366,58 mm
- Długość z manipulatorem: 466,71 mm
- Wysokość w pozycji leżącej: 62,17 mm
- Wysokość w pozycji stojącej: 120,67 mm
- Materiał platform: Aluminium
- Materiał nóg: Drewno, Nylon i Stal
- Materiał manipulatora: Nitinol
- Materiał poszycia: Papier

3.7 Opis modelu i rozwiązań konstrukcyjnych:

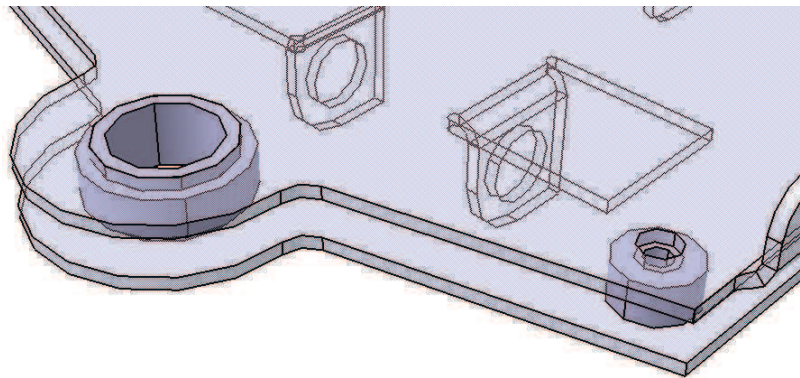
W celu maksymalnego uproszczenia konstrukcji oraz maksymalnemu zminimalizowaniu jego ostatecznej masy, trzy główne elementy robota zostały zaprojektowane w formie wyrobów z blachy aluminiowej grubości 1 mm (grubość blachy zgodna z normą PN-EN 485-3:2003) (Rys. 3.8).



Rys. 3.8
Elementy blaszane modułów robota.

Rozwiązanie to ograniczyło ilość głównych elementów konstrukcji do zaledwie czterech. Dzięki wykorzystaniu możliwości techniki CAD, elementy te uwzględniają wszystkie relacje z pozostałymi elementami konstrukcji.

Blachy wchodzące w skład drugiego (środkowego) modułu połączone są łącznikami wykonanymi z rurek aluminiowych ($\Phi 12 \times 2$ mm zgodna z normą PN-EN 754-7:2008). W celu zapewnienia stabilności konstrukcji, w każdym z czterech rogów platformy znajdują się nylonowe separatory gwarantujące zachowanie pomiędzy blachami stałej odległości (Rys. 3.9).

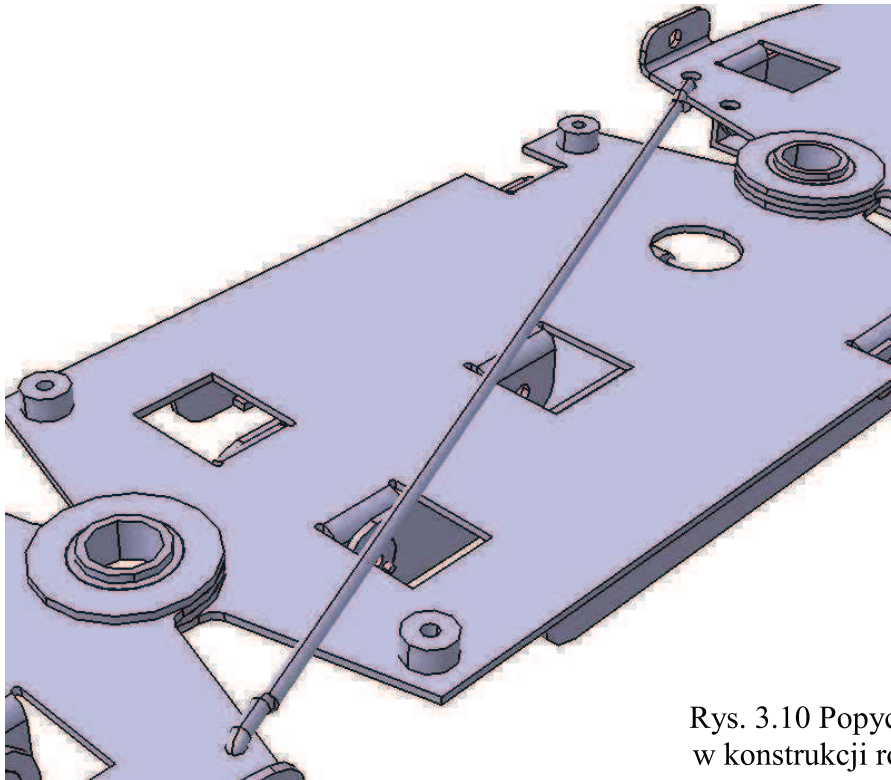


Rys. 3.9 Elementy blaszane modułów robota.

Elementy takie nie są objęte jakąkolwiek normą, są za to dostępne w każdym sklepie komputerowym (jako separatory do montażu płyty głównej w obudowie komputera).

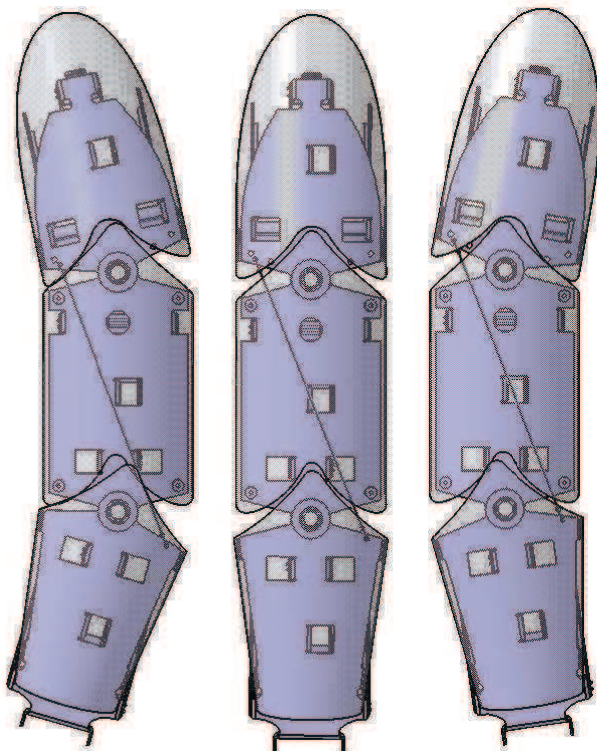
Dla poprawnej pracy konstrukcji konieczne było zagwarantowanie jej możliwości poruszania się po okręgu (skręcania). Możliwość taka została uwzględniona już przy projektowaniu układu ruchu, poprzez modułową konstrukcję układu ruchu postępowego. Konieczne jednak było zagwarantowanie zsynchronizowanej ich pracy. Efekt ten uzyskany

został poprzez zastosowanie popychacza. Odchylenie na łączu pomiędzy modułami 2 i 3 ulega przeniesieniu na łączu pomiędzy modułami 1 i 2 poprzez popychacz (Rys. 3.10).



Rys. 3.10 Popychacz w konstrukcji robota

W efekcie, w zależności od orientacji modułów 2 i 3 analogicznie zmianie ulega orientacja pomiędzy modułami 1 i 2 (Rys 3.11). Takie rozwiązanie pozwoliło na uniknięcie



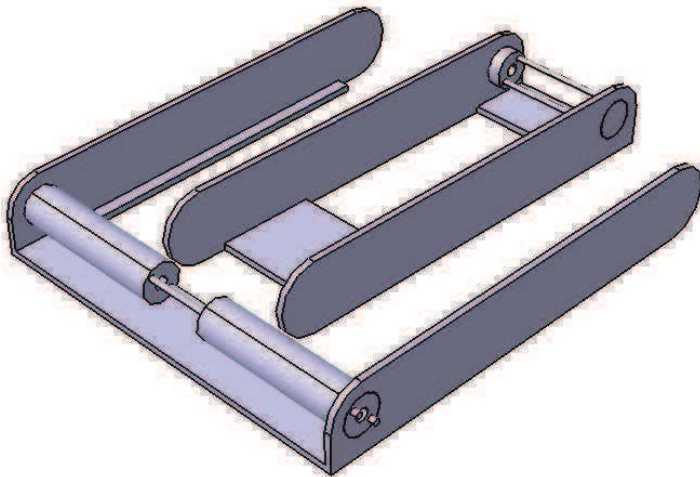
Rys. 3.11 Orientacja modułów w zależności od kierunku skrętu.

dublowania instalacji kierowania ruchem oraz możliwych do popełnienia błędów przy projektowaniu układu sterowania.

Parametry połączenia popychacza pomiędzy modułami 1 i 3 zostały dobrane tak, aby orientacje obu wspomnianych modułów względem modułu 2 zmieniały się jednakowo.

W efekcie odległość pomiędzy punktami zamocowania popychacza (jego długość) wynosi dokładnie 151 mm.

Układ ruchu wykorzystany w konstrukcji modelu oparty został na założeniach przytoczonych w podrozdziale ___ (Schemat ideowy układu ruchu). Konstrukcja pojedynczej nogi musiała jednak spełniać pewne kryteria.



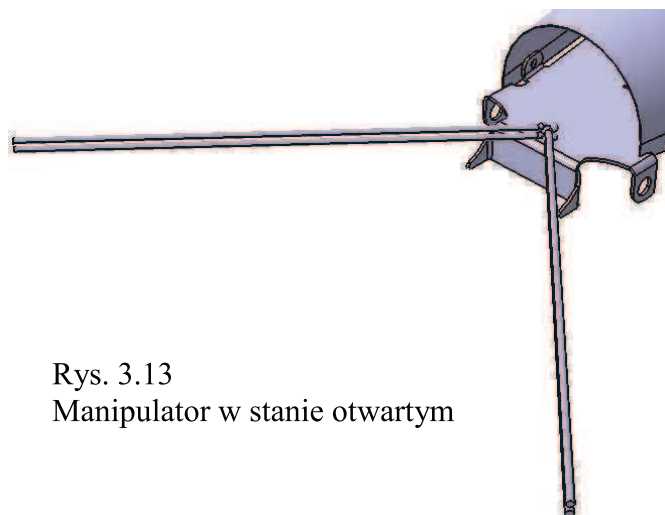
- Być lekka
- Wytrzymała
- Względnie sztywna
- Łatwo poddawać się zmianie długości.
- Nie przewodzić prądu elektrycznego

Rys. 3.12 Orientacja nóg dla pojedynczego modułu. Aby spełnić te warunki, głównym materiałem dobranym na kończyny było drewno. Jego kompozytowa natura, stosunkowo dobra wytrzymałość (przeciętna wytrzymałość drewna na rozciąganie wzdłuż włókien wynosi $110 \div 140$ MPa) oraz łatwość obróbki. Aby zapewnić odpowiednią sztywność oraz przewodnictwo prądu do cięgien zastosowane zostały stalowe druty ($\Phi 1$ mm, zgodne z normą PN-EN 10278:2002). Dla zapewnienia sztywności podczas przekazywania siły od cięgien zastosowane zostały walce usztywniające z tworzywa sztucznego (elementy nie objęte żadną normą, dające się wykonać z dowolnego ogólnie dostępnego tworzywa np. PCV).

Konstrukcja taka Spełnia wszystkie warunki, w tym łatwość wprowadzania modyfikacji w już istniejący element (np. w przypadku działania zbyt dużych sił na cięgno).

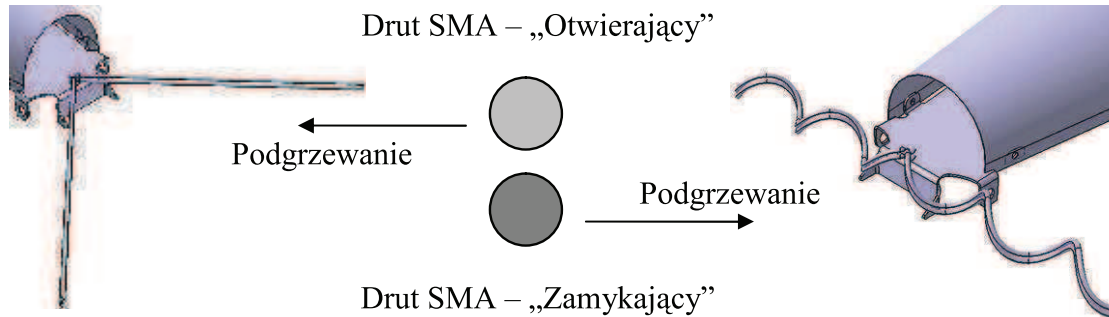
Zaprojektowany na potrzeby robota manipulator ma za zadanie spełniać dwie funkcje: manipulacyjną i estetyczną. W założeniu robot z manipulatorem w stanie otwartym ma przypominać swoim wyglądem owada odstającymi od tułowia czułkami (Rys. 3.13).

Sama funkcja manipulacyjna realizowana ma być poprzez zmianę postaci manipulatora spowodowanej przez efekt pamięci kształtu jednego



Rys. 3.13
Manipulator w stanie otwartym

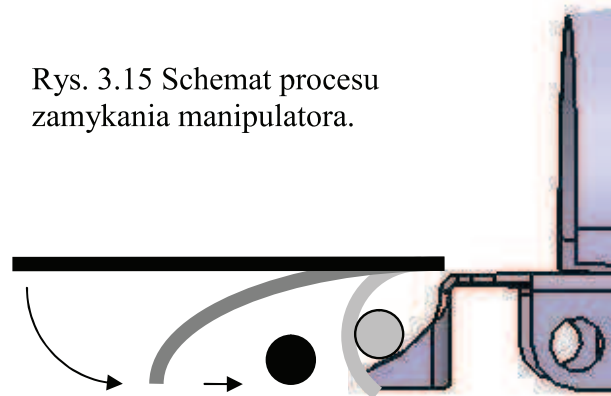
z drutów wchodzących w skład manipulatora (Rys. 3.14). Zastosowanie dwóch drutów było konieczne ze względu na charakterystyki NITINOL-u. Jest to bowiem materiał który wraca do zapamiętanej postaci pod wpływem ciepła, jednak wpierv musi on zostać odkształcony.



Rys. 3.14
Relacja pomiędzy zasilaniem drutów SMA a zmianą stanu manipulatora

Konstrukcja pierwszego modułu została dostosowana do charakterystycznego zachowania się tak zaprojektowanego manipulatora. Aby wspomóc proces „chwytania” manipulowanego przedmiotu w przedniej części wspomniany moduł wyposażony został w profil ukierunkowujący. Chwytany przedmiot, w założeniu ma się na nim w miarę zamykania manipulatora podnosić (Rys 3.15).

Rys. 3.15 Schemat procesu zamykania manipulatora.



Umożliwiając tym samym jego pełne owinięcie się dookoła przedmiotu. Uzyskane przy takim rozwiązaniu parametry chwytaka ograniczają możliwości jego zastosowania do stosunkowo lekkich, wydłużonych, owalnych przedmiotów. Takich jak np. ołówek czy długopis.

4. Analiza dynamiczna konstrukcji robota w polu grawitacyjnym:

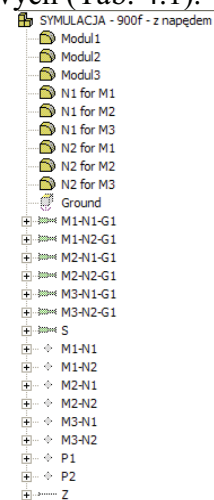
Do przeprowadzenia analizy wykorzystany został pakiet oprogramowania MSC visual Nastran 4D 2004.

W celu przeprowadzenia symulacji poczyniony został szereg uproszczeń:

- W symulacji nie uwzględniono manipulatora.
 - Jego masa i wpływ jest na model jest pomijalna. Ponadto w wyniku dalszych uproszczeń spowodowała by dalszy, niekorzystny przyrost masy modelu.
- Wszystkie moduły oraz zespoły nóg N1 i N2 zostały uproszczone do elementów monolitycznych wykonanych z aluminium (Rys. 4.1).
 - Uproszczenie to pozwoliło na wprowadzenie do modelu takich elementów jak poszycie bez konieczności dalszej komplikacji modelu. Pociągnęło to za sobą jednak zwiększenie masy modelu poddanego symulacji.
- Każda z nóg napędzana jest tylko poprzez jeden napęd liniowy (odpowiadającego zachowaniu cięgien podczas pracy) (Rys. 4.1).
 - Ograniczyło to ilość napędów do sześciu i zapobiegło zbędnemu wprowadzaniu zakłóceń w symulację (napęd liniowy działa dwukierunkowo).
- Każda noga została połączona więzami tylko w jednym z przegubów.
 - Zdublowany węzeł kinematyczny powodował blokowanie ruchu przegubów przy minimalnej nawet niewspółosiowości (wynika z tolerancji przyjętej w opcjach symulacji).
- W symulacji elementy traktowane były jako elementy idealnie sztywne.
- Kontrola ruchu elementów za pomocą pozycji elementów liniowych (Tab. 4.1).

4.1 Parametry modelu wykorzystanego do symulacji:

- Masa modelu (wariant 1): 148 g
- Masa modelu (wariant 2): 132 g
- Szerokość: 74,4 mm
- Długość: 366,58 mm
- Wysokość w pozycji leżącej: 62,19 mm
- Wysokość w pozycji stojącej (wariant 1): 120,63 mm
- Wysokość w pozycji stojącej (wariant 2): 85,58 mm
- Materiał modelu: Aluminium



Rys. 4.1
Elementy w modelu.

4.2 Wpływ zmian w symulowanym modelu na wyniki symulacji:

Czas [s]	Długość napędów tylnych nóg modułów [mm]	Długość napędów przednich nóg modułów [mm]	Długość napędu sterującego kierunkiem [mm]
0.0	36.4	36.4	18.1
0.2	36.4	36.4	18.1
2.2	33.7	36.4	18.1
2.2	33.7	36.4	18.1
4.2	33.7	33.7	18.1
4.4	33.7	33.7	18.1
6.4	36.4	33.7	18.1
6.6	36.4	33.7	18.1
8.6	36.4	36.4	18.1
8.8	36.4	36.4	18.1
10.8	33.7	36.4	18.1
11.0	33.7	36.4	18.1
13.0	33.7	33.7	18.1
13.2	33.7	33.7	18.1
15.2	36.4	33.7	18.1
15.4	36.4	33.7	18.1
17.4	36.4	36.4	13.1
17.6	36.4	36.4	13.1
19.6	33.7	36.4	13.1
19.8	33.7	36.4	13.1
21.8	33.7	33.7	13.1
22.0	33.7	33.7	13.1
24.0	36.4	33.7	13.1
24.2	36.4	33.7	13.1
26.2	36.4	36.4	13.1
26.4	36.4	36.4	13.1
28.4	33.7	36.4	13.1
28.6	33.7	36.4	13.1
30.6	33.7	33.7	13.1
30.8	33.7	33.7	13.1
32.8	36.4	33.7	13.1
33.0	36.4	33.7	13.1
35.0	36.4	36.4	18.1
35.2	36.4	36.4	18.1
37.2	33.7	36.4	23.1
37.4	33.7	36.4	23.1
39.4	33.7	33.7	23.1
39.6	33.7	33.7	23.1
41.6	36.4	33.7	23.1
41.8	36.4	33.7	23.1
43.8	36.4	36.4	23.1
44.0	36.4	36.4	23.1
46.0	33.7	36.4	23.1
46.2	33.7	36.4	23.1
48.2	33.7	33.7	23.1
48.4	33.7	33.7	23.1
50.4	36.4	33.7	23.1
50.6	36.4	33.7	23.1
52.6	36.4	36.4	23.1
52.8	36.4	36.4	23.1
54.8	33.7	36.4	18.1
55.0	33.7	36.4	18.1
57.0	33.7	33.7	18.1
57.2	33.7	33.7	18.1
59.2	36.4	33.7	18.1
59.4	36.4	33.7	18.1
61.4	36.4	36.4	18.1
61.6	36.4	36.4	18.1
63.6	33.7	36.4	18.1
63.8	33.7	36.4	18.1
65.8	33.7	33.7	18.1
66.0	33.7	33.7	18.1

Tab. 4.1 Program kontroli napędów liniowych.

Zmiana parametrów spowodowała konieczność rezygnacji z jednoczesnego przeprowadzenia połączonych symulacji kinetyki („Motion”) i odkształceń modelu („FEA”). Wynikające z przyjętej dla symulacji, tolerancji analizy położenia (0,01 mm dla położenia i 0,01 mm dla złożenia). Ponadto, nierzadko program nie akceptował wnoszonych poprawek położenia ze względu na charakter połączenia między elementami. W efekcie w modelu pojawiają się niezgodności geometrii modelu z założonymi. W połączeniu z przyjętym sposobem kontroli modelu podczas symulacji spowodowało to szereg zmian w zachowaniu konstrukcji.

Wzrost masy modelu niejako kompensuje sam w sobie fakt nieuwzględnienia w konstrukcji elementów układu sterowania (płytek obwodów odbiornika i układu realizacji algorytmu ruchu oraz baterii). Jednocześnie masa modelu nieprzekroczona masy przyjętej w jako graniczna w celach niniejszego projektu. Należy przyjąć, że wpływ masy konstrukcji na jej zachowanie w trakcie symulacji będzie odpowiadał zjawiskom, jakie można by obserwować przy testach na modelu rzeczywistym.

4.3 Pierwszy wariant symulacji:

W wariantcie tym do symulacji wprowadzony został pierwotny model konstrukcji opracowany w wyniku projektowania w środowisku CATIA v5 (Rys. 4.2). W konstrukcji tej, długość nóg wynosi 69,5 mm (Wysokość w pozycji stojącej (wariant 1): 120,63 mm).



Rys. 4.2 Robot – wariant 1.

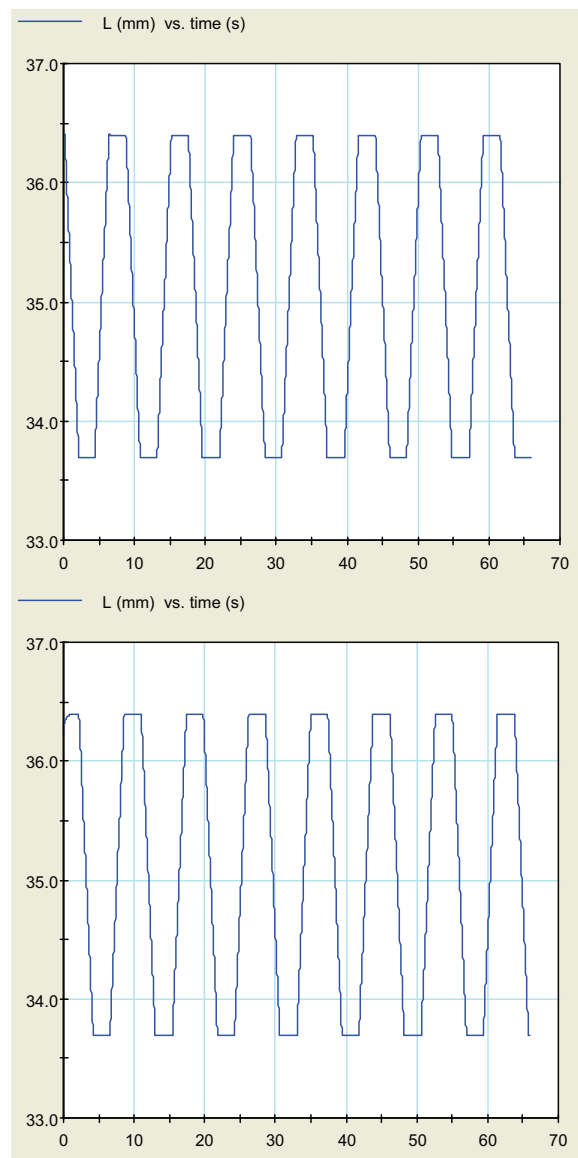
Podczas symulacji obserwowany był szereg parametrów:

- Długości dwóch pierwszych napędów liniowych.
- Siły na napędach liniowych.
- Pozycja łącza pomiędzy modułami 1 i 2.
- Prędkość łącza pomiędzy modułami 1 i 2.

Wyniki – wariant 1:

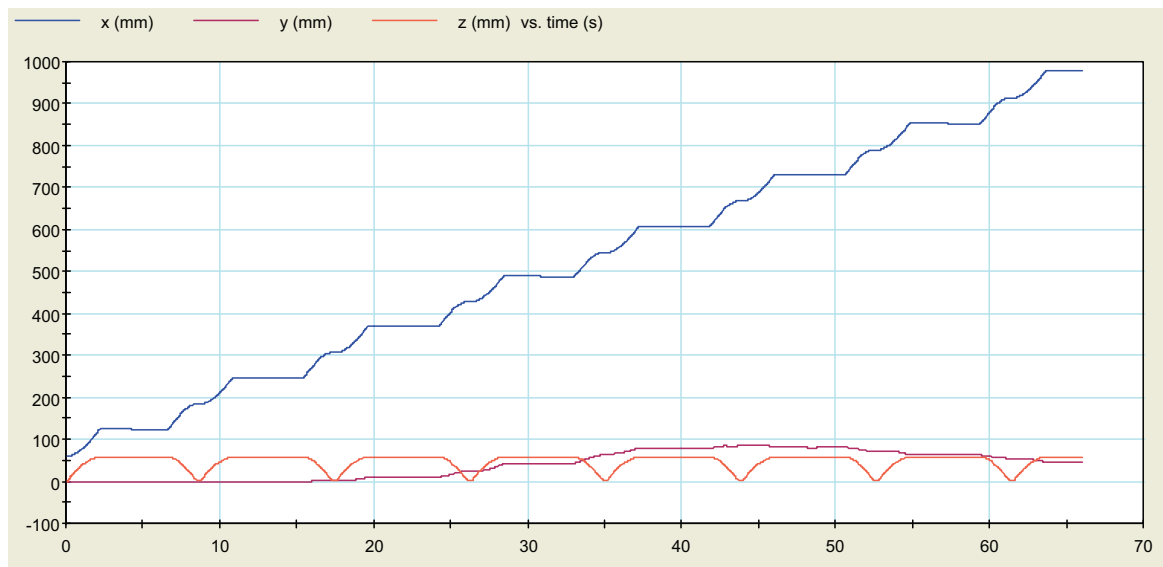
Długości napędów liniowych:

Obserwacja tych parametrów miała na celu kontrolę poprawności realizacji programu symulacji wprowadzonego do programu w postaci tabeli (Tab. 4.1). Parametry te stanowiły dla układu wartości zadane. Jak widać na zamieszczonych wykresach (Graf. 4.1) oraz wspomnianej tabeli, zadany ruch sekwencyjny.



Graf. 4.1 Długości siłowników sterujących ruchem tylnich i przednich i nóg modułów.

Przemieszczenie:



Graf. 4.2 Przemieszczenie łącza pomiędzy modułami 1 i 2.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Pokonany pokonywany w jednym kroku: 123 mm
- Czas trwania jednego kroku: 8,6 s
- Średnia prędkość: 14,3 mm/s
- Przebyta droga po X: 911 mm
- Maksymalne oddalenie się od osi Y: 85,4 mm

Zaprezentowany wykres (Graf. 4.2) jest zestawieniem przemieszczeń względem bezwzględnego układu współrzędnych modelu. Poszczególne przemieszczenia pozwalają oddzielnie przeanalizować poszczególne aspekty zachowania robota w trakcie ruchu.

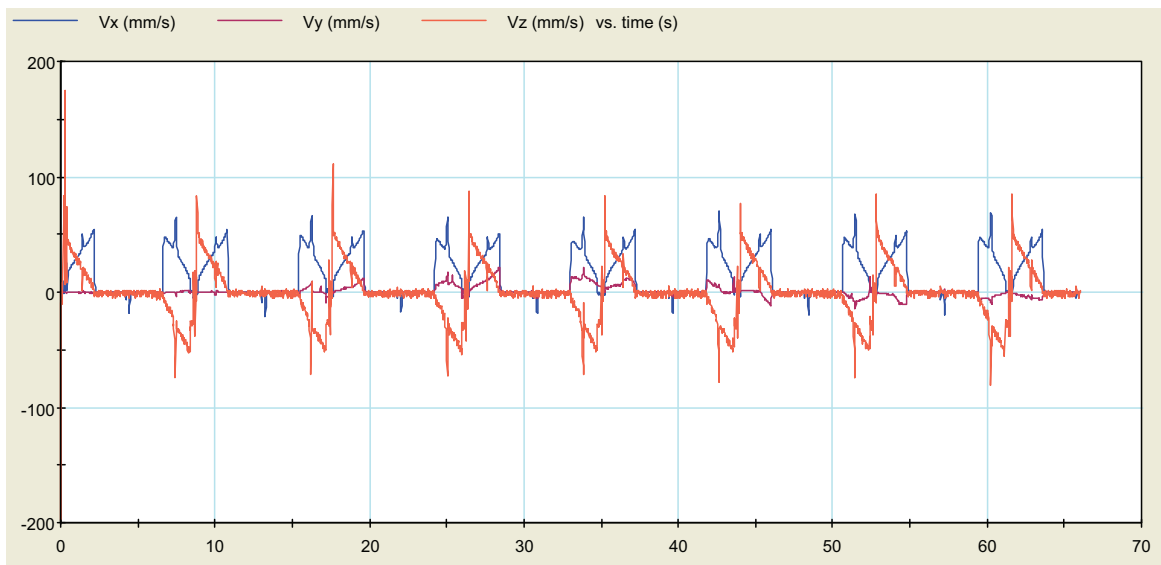
Przemieszczenie względem Z i X:

- Doskonale prezentuje sekwencyjną charakterystykę ruchu robota.
- Widoczne na wykresie dla osi X, charakterystyczne obniżenie wartości w połowie każdej sekwencji wynika ze zmiany kończyn podpierających moduły (tylnie → przednie).

Przemieszczenie względem Y:

- Odchylenie krzywej od Y udowadnia, że robot dzięki przyjętej konstrukcji i rozwiązaniom jest zdolny do zmiany kierunku przemieszczania się.

Prędkości:



Graf. 4.3 Przesunięcie łącza pomiędzy modułami 1 i 2.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna prędkość po x: 69,8 mm/s
- Maksymalna prędkość po y: 21 mm/s
- Maksymalna prędkość po z: -197 mm/s

Powyższy wykres (Graf. 4.3) przedstawia zależność prędkości przemieszczenia liniowego łącza pomiędzy modułami 1 i 2, na poszczególnych osiach globalnego układu współrzędnych a czasem.

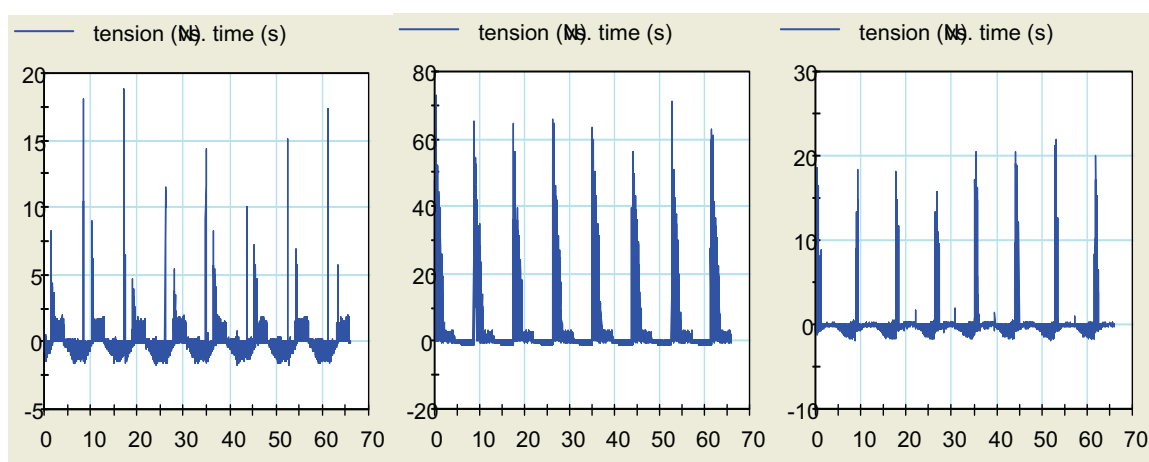
Prędkość przemieszczenia względem Z:

- Widoczne na początku wykresu gwałtowny wzrost prędkości wynika z konieczności umieszczenia modelu minimalnie nad powierzchnią podparcia. Spowodowało to, że konstrukcja w pierwszej fazie symulacji spada swobodnie (ujemna wartość prędkości), po czym się odbija od podłoża (zmian znaku i gwałtowna zmiana wartości, aż do 174 mm/s).

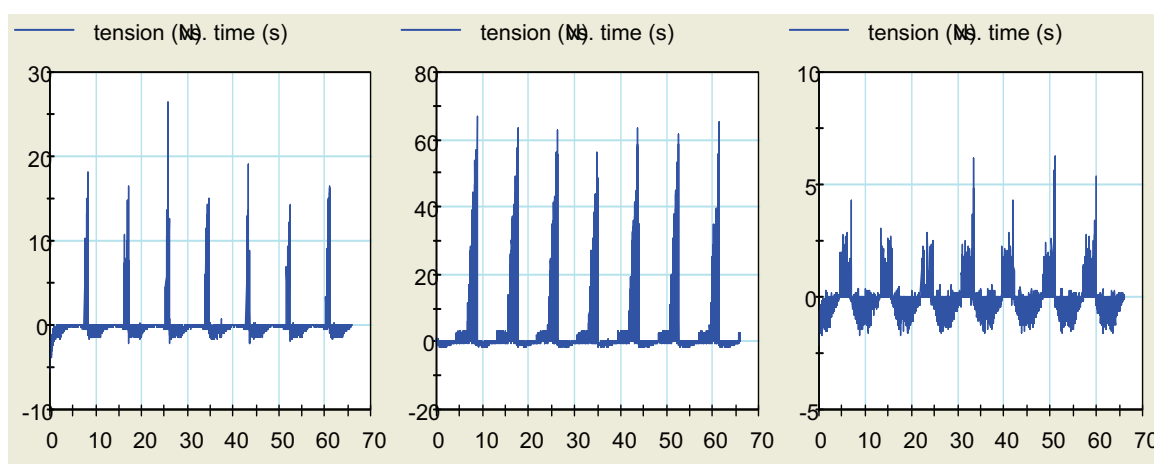
Prędkość przemieszczenia względem X i Z:

- Ponownie uwidocznił się sekwencyjny charakter ruchu.

Siły:



Graf. 4.4 Wykresy siły dla nóg tylnych.



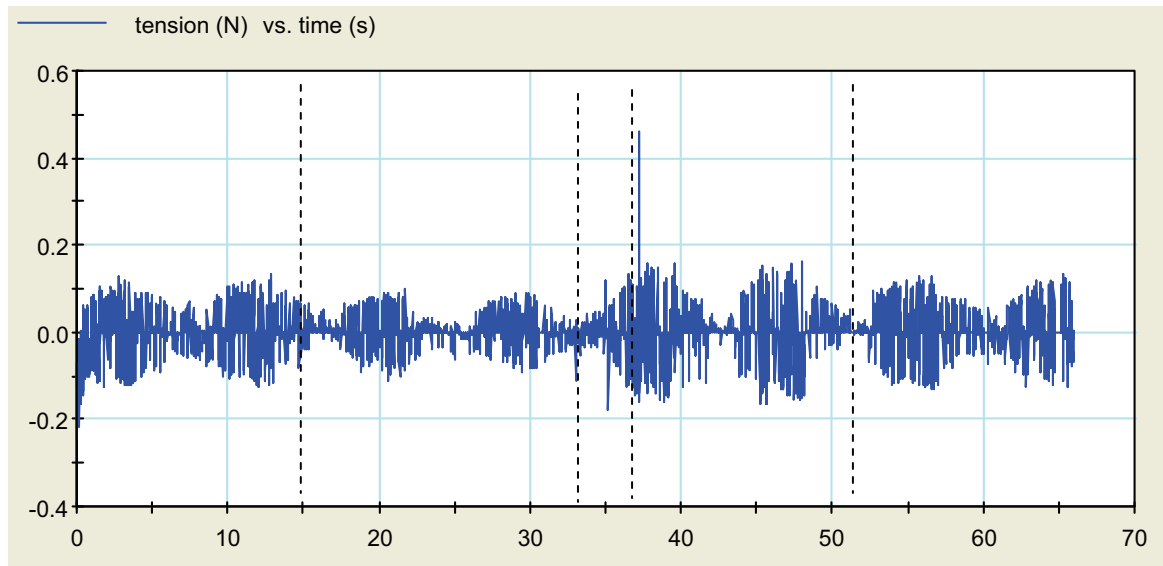
Graf. 4.5 Wykresy siły dla nóg przednich.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna siła na nogach pierwszego modułu: 26,5 N
- Maksymalna siła na nogach drugiego modułu: 72,8 N
- Maksymalna siła na nogach trzeciego modułu: 22 N

Powyższe zestawienie wykresów (Graf. 4.4 i 4.5) prezentuje zależności siły od czasu, na poszczególnych napędach linowych. Porównanie to ujawnia fakt, iż największa część obciążenia przenoszona jest przez układ ruchu centralnego modułu (2). Spowodowane jest to minimalnym wysunięciem centralnych kończyn robota poniżej pozostałych, przez co kończyny pozostałych modułów naprzemiennie przenoszą obciążenie. Możliwe jest stwierdzenie, iż w czasie ruchu konstrukcja „huśta” się na kończynach centralnego modułu.

Należy założyć, iż w warunkach rzeczywistych stan taki zachodziłby sporadycznie. Wzrostu obciążenia spowodowałyby zmniejszenie prędkości odkształcania drutów SMA, co samoczynnie doprowadzałoby do wzajemnego wyrównania obciążenia poszczególnych kończyn.



Graf. 4.6 Wykresy siły dla napędu kierunku.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna siła oddziaływująca na napęd kierunku ruchu: 0,461 N

Siły oddziaływające na napęd kierunku ruchu pochodzą z dwóch źródeł:

- Niezgodności geometrycznych konstrukcji.
- Oddziaływania tarcia pomiędzy nogami a podłożem (przyjęty czynnik tarcia 0,5).

Jak wynika z wykresu, zmiany kierunku ruchu przypadające na 15; 33 i 52 s ruchu nie wpłynęły znacząco na obciążenie układu. Zmiana kierunku przypadająca na 37 s symulacji zbiegła się w czasie z kontynuacją ruchu postępowego robota (wstawanie). Spowodowało to, widoczny na wykresie gwałtowny wzrost siły (Graf. 4.6).

4.4 Drugi wariant symulacji – zmodyfikowany:

W wariantcie tym do pierwotnego modelu poddanego symulacji wprowadzone zostały nogi (N1 i N2) o skorygowanych długościach. W efekcie, długość kończyn wynosi 34,5 mm (Wysokość w pozycji stojącej (wariant 2): 85,58 mm).

Ponieważ do przeprowadzenia symulacji dla tego wariantu model został jedynie zmodyfikowany a nie zbudowany od początku, charakterystyki połączeń pomiędzy modułami pozostały niezmienione a do utworzenia połączeń pomiędzy kończynami a modułami wykorzystane zostały te same punkty koordynacyjne („coord”).

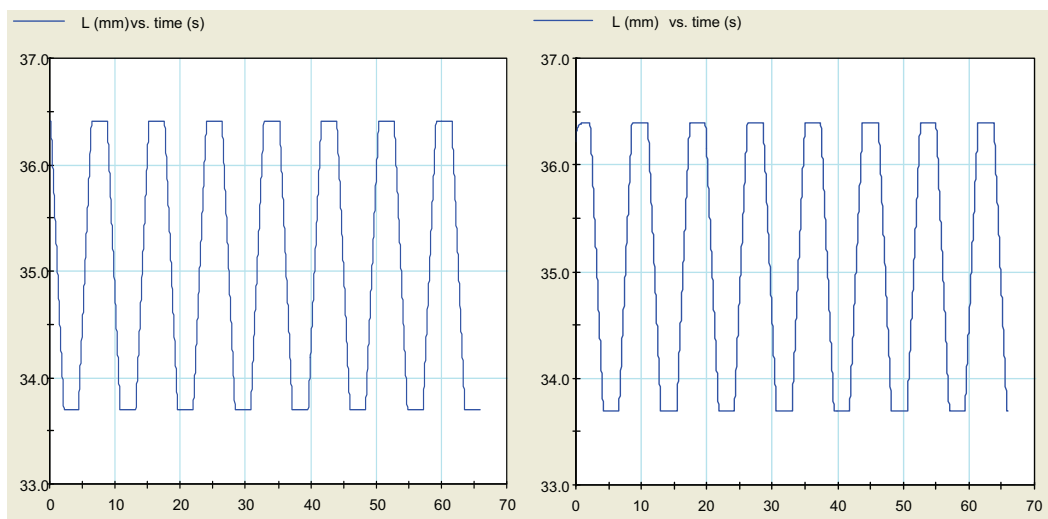


Rys. 4.3 Robot – wariant 2.

Wyniki – wariant 2:

Długości napędów linowych:

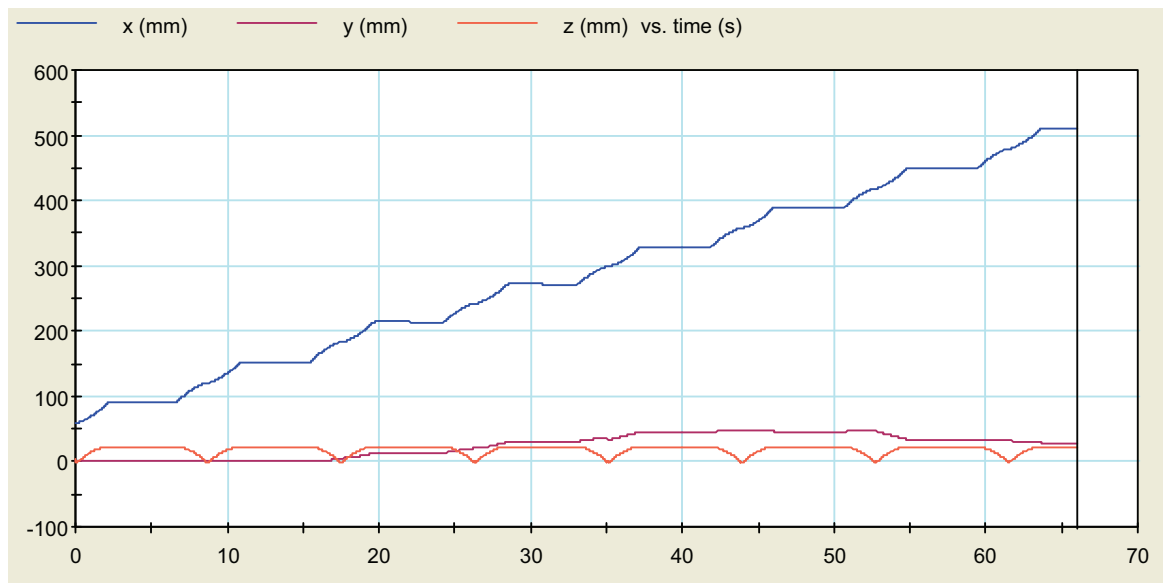
Ponieważ obserwacja tych parametrów miała jedynie na celu kontrolę poprawności realizacji programu symulacji, wykresy wygenerowane dla tych napędów dla drugiego wariantu (Graf. 4.7) symulacji są identyczne z wykresami widocznymi (Graf. 4.1).



Graf. 4.7 Długości siłowników sterujących ruchem tylnych i przednich i nóg modułów.

Zastosowanie tego samego sygnału sterującego umożliwiło uwzględnienie w dalszych analizach wpływu zmiany zadanych parametrów konstrukcji na charakterystyki czasowe robota.

Przemieszczenie:



Graf. 4.8 Przemieszczenie łącza pomiędzy modułami 1 i 2.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Pokonany pokonywany w jednym kroku: 43,2 mm
- Czas trwania jednego kroku: 8,6 s
- Średnia prędkość: 7,74 mm/s
- Przebyta droga po X: 511 mm
- Maksymalne oddalenie się od osi Y: 48,7 mm

Porównanie i wnioski:

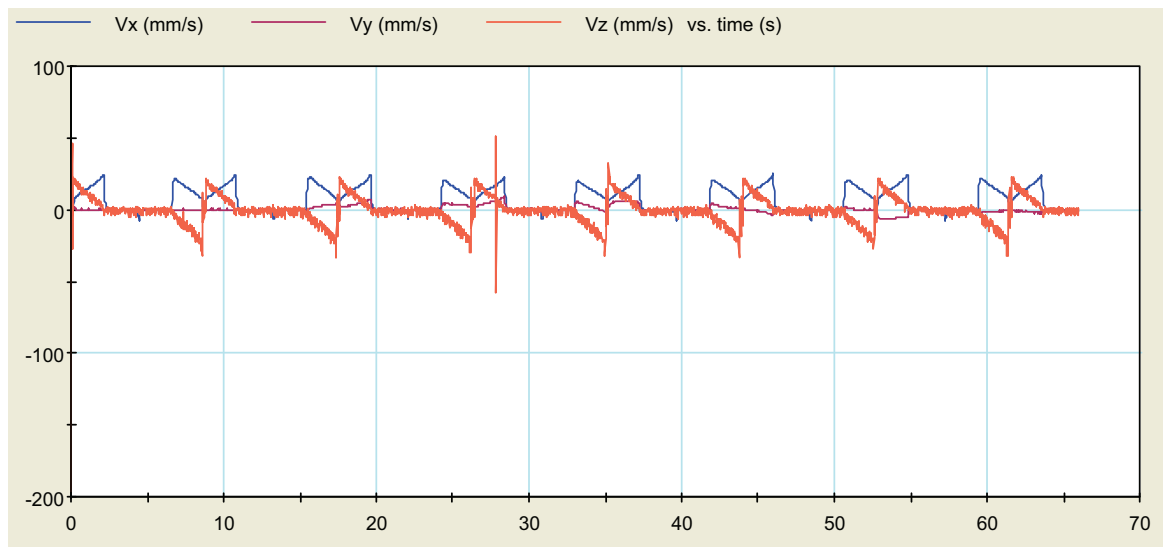
Przemieszczenie względem Z i X:

- Skrócenie kończyn o 35 mm każdej spowodowało skrócenie drogi przebytej w jednej sekwencji o 79,8 mm (pierwotnie 123 mm), czyli prawie do 1/3 pierwotnie pokonywanego dystansu.
- Spadek wartości uzyskiwanej na wykresie dla osi Z jest wprost proporcjonalny do zmiany długości kończyn w zmodyfikowanej konstrukcji.

Przemieszczenie względem Y:

- Znacznie mniejsze niż sugerowałyby parametry dla osi X i Z odchylenie od osi Y (w porównaniu z wariantem 1) wskazuje, iż długość kończyn robota jest mniej istotna niż kąt odchylenia pomiędzy modułami.

Prędkości:



Graf. 4.9 Przesunięcie łącza pomiędzy modułami 1 i 2.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna prędkość po x: 24,8 mm/s
- Maksymalna prędkość po y: 9,1 mm/s
- Maksymalna prędkość po z: -198 mm/s

Powyższy wykres (Graf. 4.9) w porównaniu z (Graf. 4.3) różni się jedynie skrajnymi wartościami. Sama charakterystyka zmian dla poszczególnych osi pozostała niezmienną.

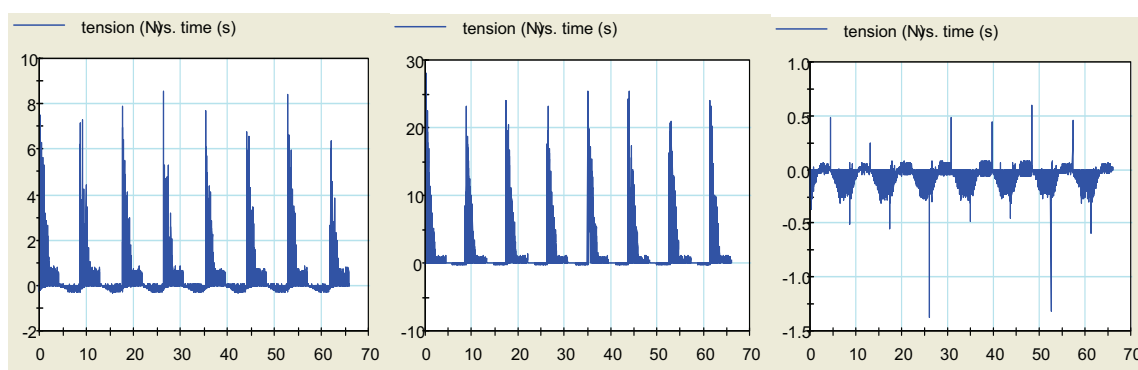
Prędkość przemieszczenia względem Z:

- Widoczne na początku wykresu gwałtowny wzrost prędkości wynikał z konieczności umieszczenia modelu minimalnie nad powierzchnią podparcia, posiada niemalże identyczną wartość jak analogiczny efekt dla pierwszego wariantu (Graf. 4.3). Sugeruje to poprawność uzyskanych wyników symulacji.

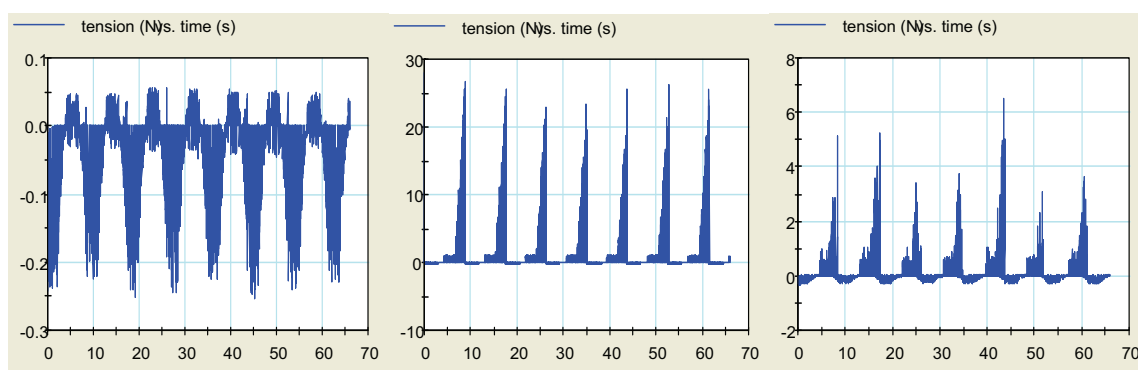
Prędkość przemieszczenia względem X i Y:

- W porównaniu z wynikami poprzedniej symulacji (Graf. 4.3), uzyskane wartości są odpowiednio mniejsze. Ponieważ parametry zadane (Graf. 4.7) pozostały niezmienną, a co za tym idzie i charakterystyka czasowa ruchu, zmiany te wynikać mogą jedynie ze zmian w konstrukcji.
- Wpływ zmian w konstrukcji na prędkość w osi Y, spowodował zmniejszenie uzyskanej prędkości o ponad połowę.

Siły:



Graf. 4.10 Wykresy siły dla nóg tylnych.

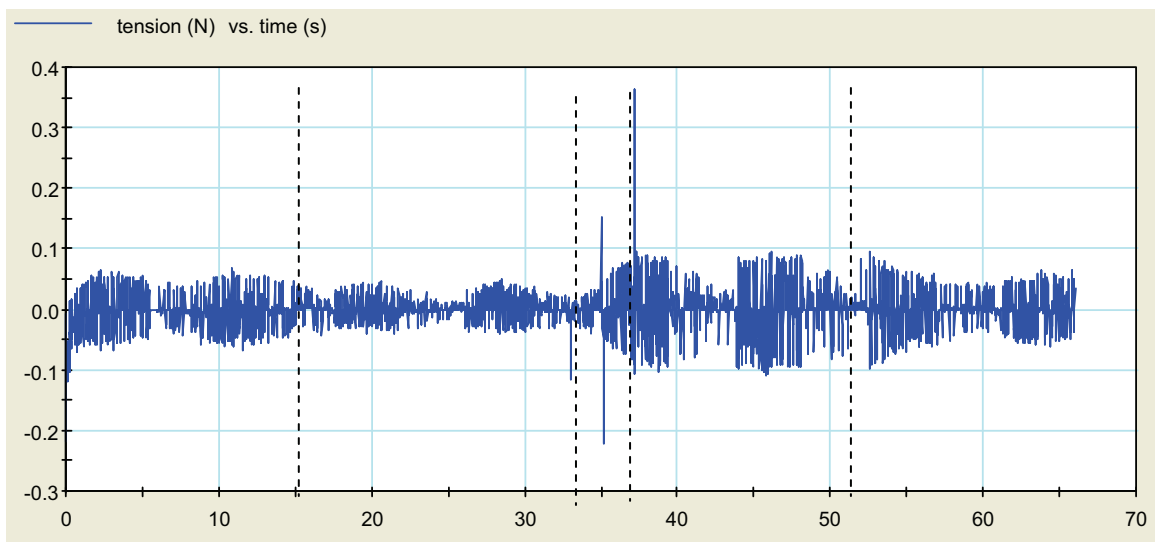


Graf. 4.11 Wykresy siły dla nóg przednich.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna siła na nogach pierwszego modułu: 8,55 N
- Maksymalna siła na nogach drugiego modułu: 28 N
- Maksymalna siła na nogach trzeciego modułu: 6,53 N

Zestawienie wykresów (Graf. 4.10 i 4.11) prezentujących zależności siły od czasu na poszczególnych napędach linowych, w porównaniu z wynikami poprzedniej symulacji (Graf. 4.4 i 4.5) świadczą o znaczącym zmniejszeniu stopnia obciążenia konstrukcji. Widocznie zmniejszyła się też dysproporcja obciążenia, jednak w dalszym ciągu największa część obciążenia przenoszona jest przez układ ruchu centralnego modułu (2). Wynika z tego, że pomimo modyfikacji modelu niezgodność nie została wyeliminowana.



Graf. 4.12 Wykresy siły dla napędu kierunku.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna siła oddziaływująca na napęd kierunku ruchu: 0,363 N

Źródła siły oddziaływujące na napęd kierunku ruchu pochodzą pozostają takie same jak dla pierwszego wariantu symulacji:

- Niezgodności geometrycznych konstrukcji.
- Oddziaływania tarcia pomiędzy nogami a podłożem (przyjęty czynnik tarcia 0,5).

Dla porównania, na powyższym wykresie (Graf. 4.12) podobnie jak dla (Graf. 4.6) naniesione zostały zmiany kierunku ruchu przypadające na 15; 33 i 52 s. Porównując bezpośrednio odczytane wyniki symulacji nie zauważalna jest inna zmian niż zmiana wartości. Oznacza to, że także w tym przypadku modyfikacja konstrukcji nie zmieniła samej charakterystyki czasowej, a jedynie uzyskiwane wartości sił.

Podobieństwo występuje także dla wartości maksymalnej siły wynikającej ze zmiany kierunku oraz kontynuacji ruchu postępowego robota (wstawanie) przypadającego na 37 s symulacji. Spowodowany przez to, gwałtowny wzrost siły widoczny jest bardzo wyraźnie na obu wykresach (Graf. 4.6 i 4.12).

5. Analiza wytrzymałościowa konstrukcji robota:

Do przeprowadzenia analizy wykorzystany został pakiet oprogramowania CATIA v5 – moduł Analysis & Simulation – Generative Structural Analysis.

5.1 Parametry symulacji:

- Obciążenie (Wariant 1): 80 N
- Obciążenie (Wariant 2): 28 N
- Siatka: Czworoboczna – paraboliczna – wyznaczona automatycznie.
- Wyznaczanie wartości naprężeń – rozkładu naprężeń zredukowanych HMH (*Huber-Misses-Hencky*).
- Wyznaczenie odkształceń – przemieszczenie elementów skończonych zgodnie z prawem Younga.

5.2 Materiały zastosowane w symulacjach:

- Drewno sosnowe – własności [16]:
 - $R_e = 104 \text{ MPa}$
 - $E = 12 \text{ GPa}$
 - $\nu = 0,45$
 - $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$
- Aluminium 2024 – T3:
 - $R_e = 345 \text{ MPa}$
 - $E = 73,1 \text{ GPa}$
 - $\nu = 0,33$
 - $\rho = 2770 \text{ kg/m}^3$

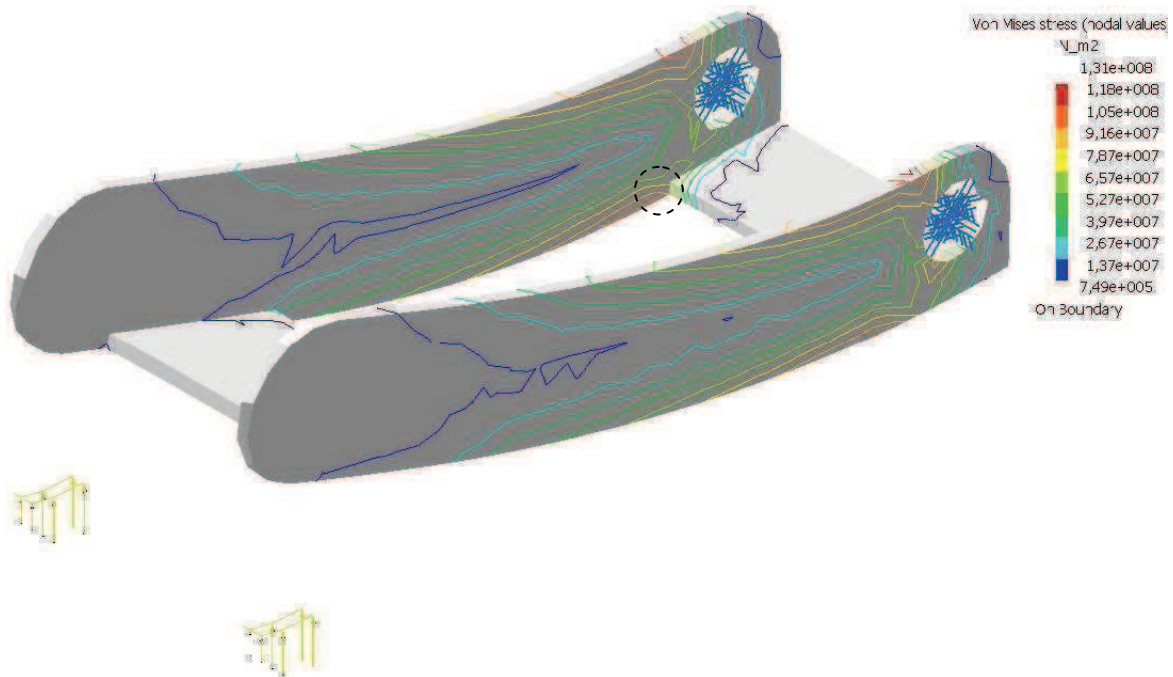
5.3 Pierwszy wariant symulacji:

Symulacji wytrzymałościowej MES poddane zostały jedynie elementy wykonawcze robota. Poddano je maksymalnemu obciążeniu wynikającemu z symulacji kinematycznej, zaokrąglonej do pełnej wartości.

Element – Noga N1:

Materiał: drewno sosnowe.

Analiza naprężeń:



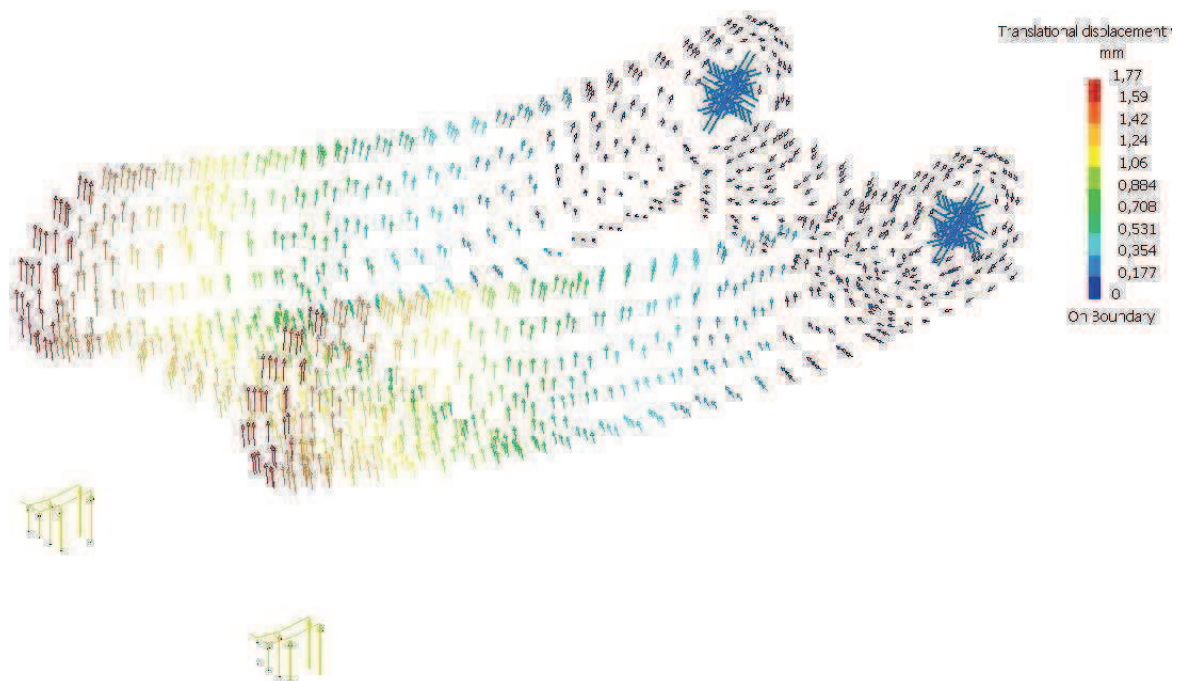
Rys. 5.1 Naprężenia w nodze N1. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 131 MPa

Wyniki symulacji wyraźnie wskazują, iż przy aktualnym stanie konstrukcji występujące naprężenia będą znacznie przekraczać wytrzymałość materiału, doprowadzając tym samym do jego zniszczenia. Należy jednak wziąć poprawkę na fakt, iż wartość ta wystąpiła na karbie. Jak wiadomo, jest to miejsce koncentracji naprężeń, co oznacza że możliwe jest zminimalizowanie niekorzystnego oddziaływania naprężeń w tym miejscu poprzez wprowadzenie promienia zaokrąglenia.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.2 Odkształcenia nogi N1. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

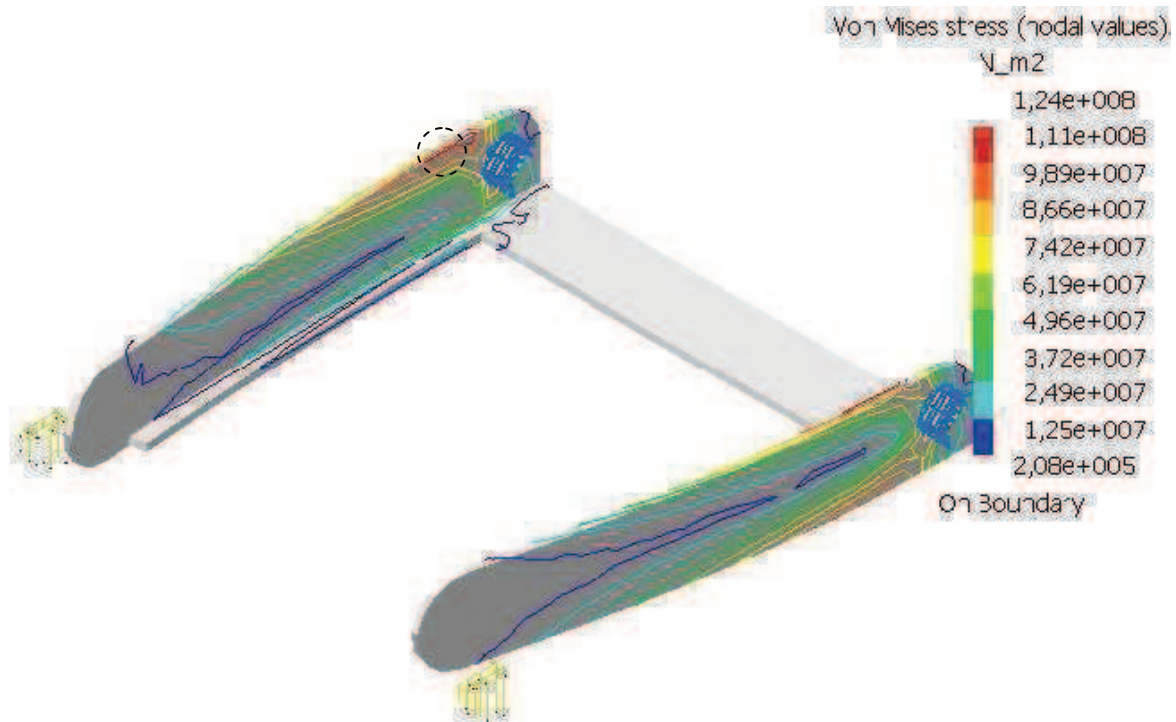
- Maksymalna odkształcenie elementu: 1,77 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

W wyniku działających na element obciążeń uległ on znaczącemu odkształceniu. Ze względu na ich wartość można założyć nawet, że były by one dostrzegalne podczas pracy gołym okiem.

Element – Noga N2:

Materiał: drewno sosnowe.

Analiz naprężeń:



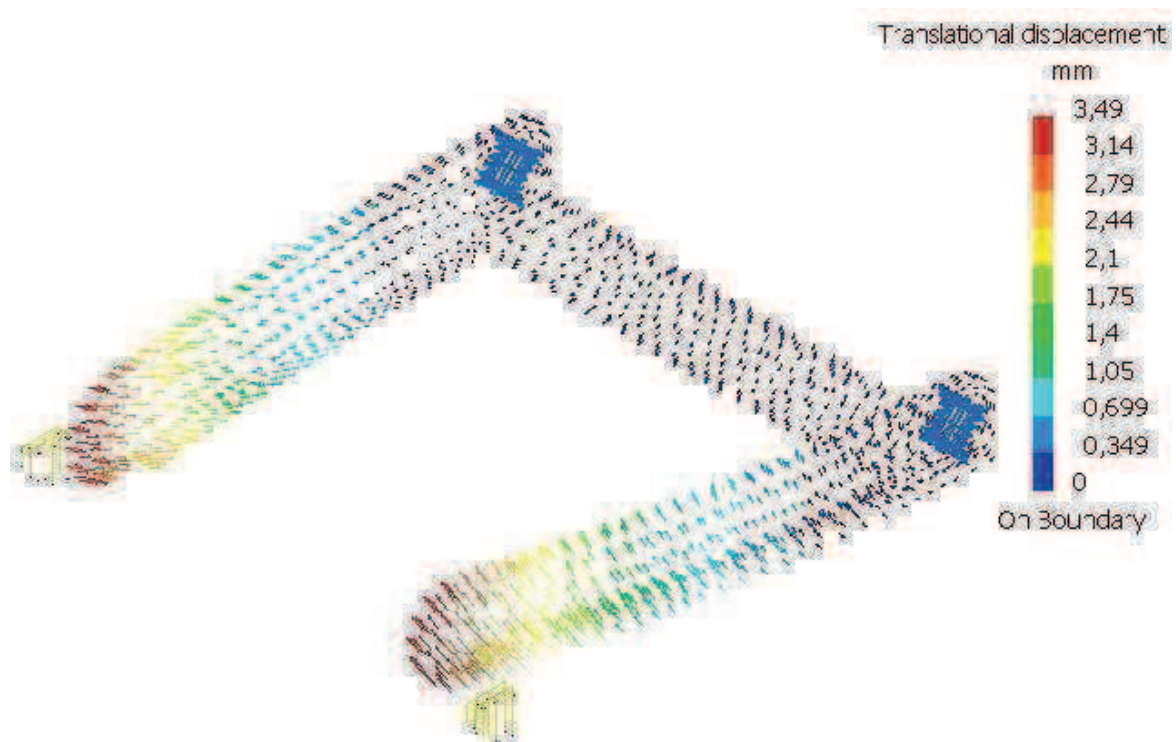
Rys. 5.3 Naprężenia w nodze N2. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odształcenie zwiększone 2x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 124 MPa

Podobnie jak w poprzednim przypadku, i tutaj wartość naprężeń znacząco przekracza wartość krytyczną. Jednak lokalizacja miejsca koncentracji naprężeń skazuje na konieczność zmniejszenia wartości siły obciążającej, bądź przeprojektowania elementu.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.4 Odkształcenia nogi N2. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 2x.

Dane uzyskane z pomiaru:

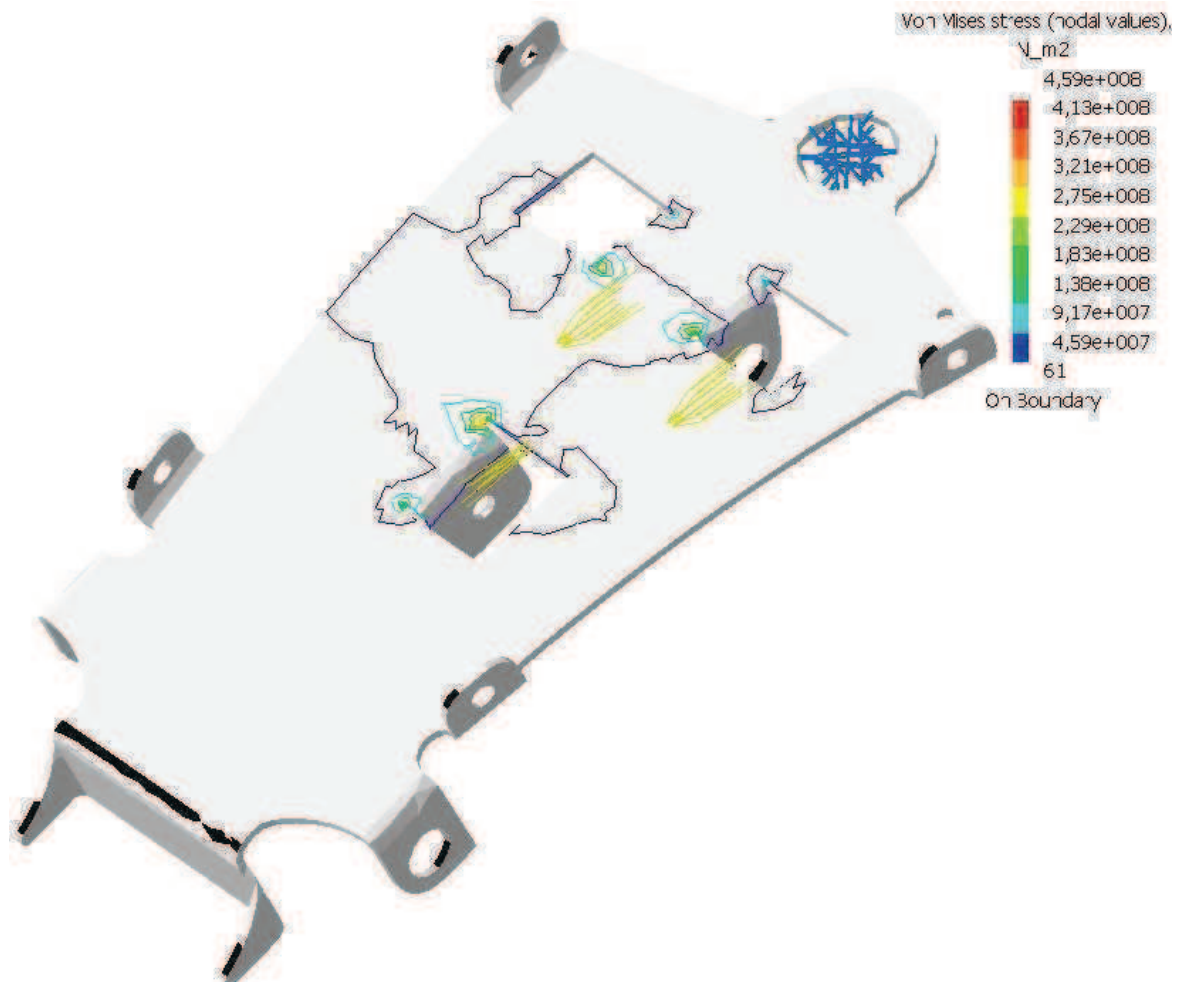
- Maksymalna odkształcenie elementu: 3,49 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

Uzyskane wyniki (Rys. 5.4) jednoznacznie sugerują, iż element ten, w tym stanie jest zbyt wiotki by zagwarantować poprawną pracę całej konstrukcji. Oznacza to, że element ten w obecnej postaci, przy zadanym obciążeniu, konstrukcji i materiale nie spełni stawianych przed nim wymagań.

Element – Platforma pierwszego modułu:

Materiał: Aluminium 2024-T3.

Analiz naprężeń:



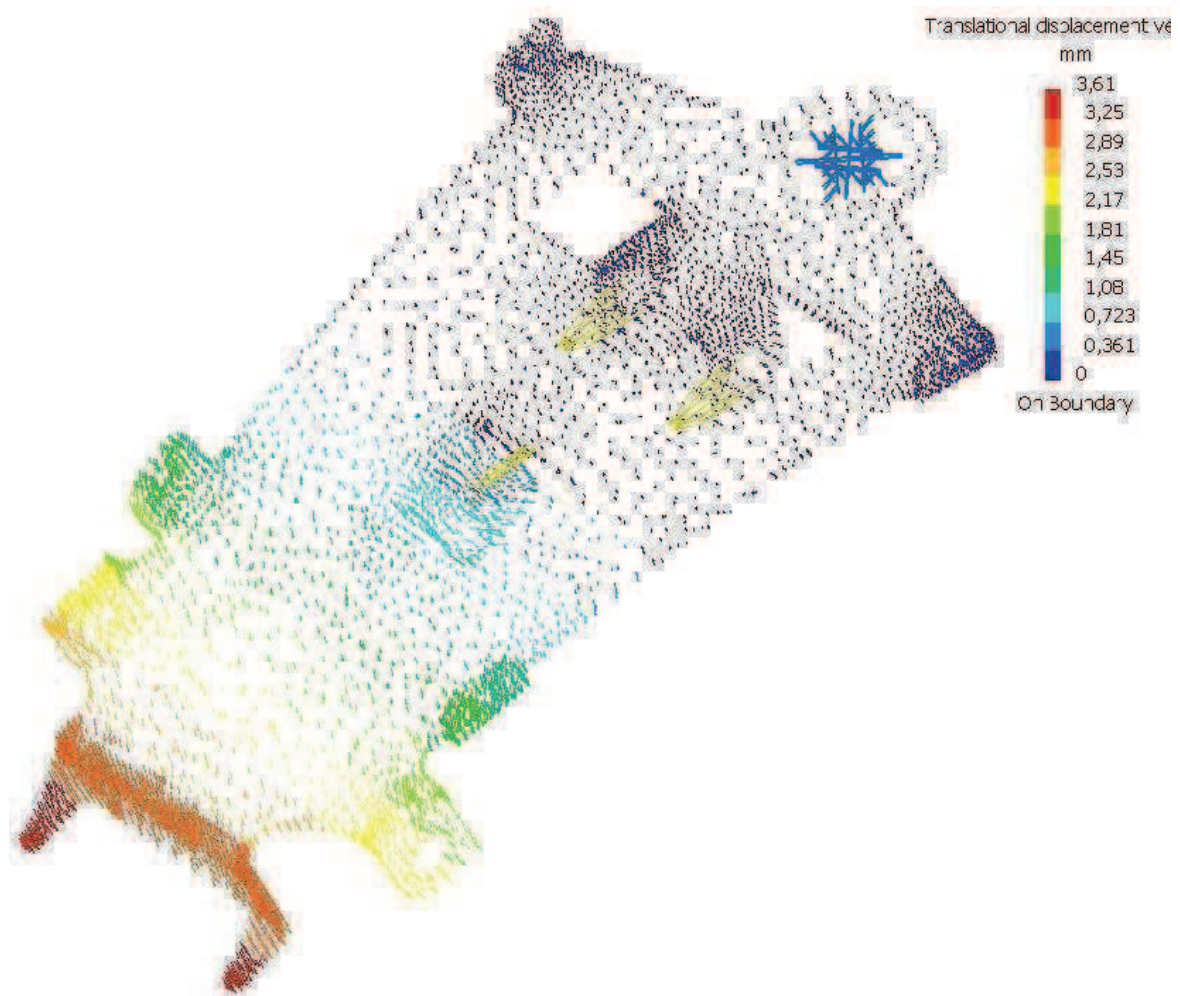
Rys. 5.5 Naprężenia w platformie pierwszego modułu. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 5x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 459 MPa

W przypadku tym wartość naprężeń znacząco przekracza wartość naprężenia uplastyczniającego materiału. Lokalizacja miejsca koncentracji naprężeń skazuje na konieczność zmniejszenia wartości siły obciążającej, bądź przeprojektowania elementu.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.6 Odkształcenia platformy pierwszego modułu. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 5x.

Dane uzyskane z pomiaru:

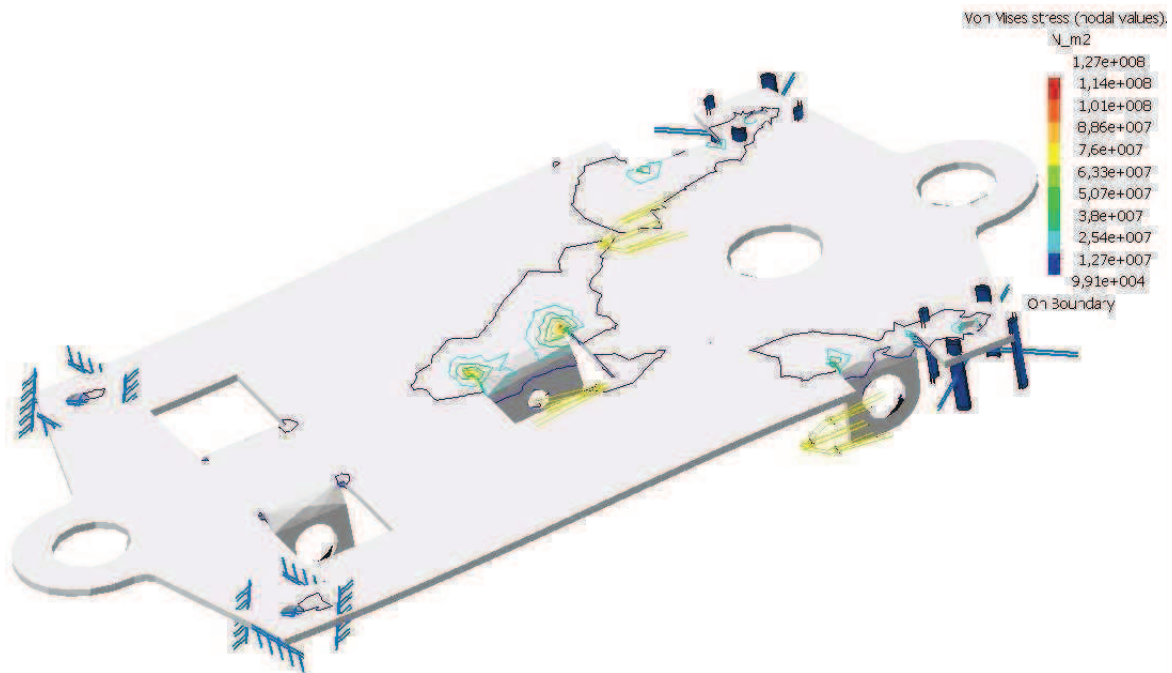
- Maksymalna odkształcenie elementu: 3,61 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

Uzyskane wyniki sugerują, iż element ten, w tej postaci jest poddawany dużym odkształceniom. Zważywszy na charakter jego pracy można uznać, że nie wpłynie to w znaczący sposób na zachowanie konstrukcji w trakcie pracy. Wskazany jest jednak, aby wartość siły obciążającej uległa zmniejszeniu.

Element – Platforma drugiego modułu:

Materiał: Aluminium 2024-T3.

Analiz naprężeń:



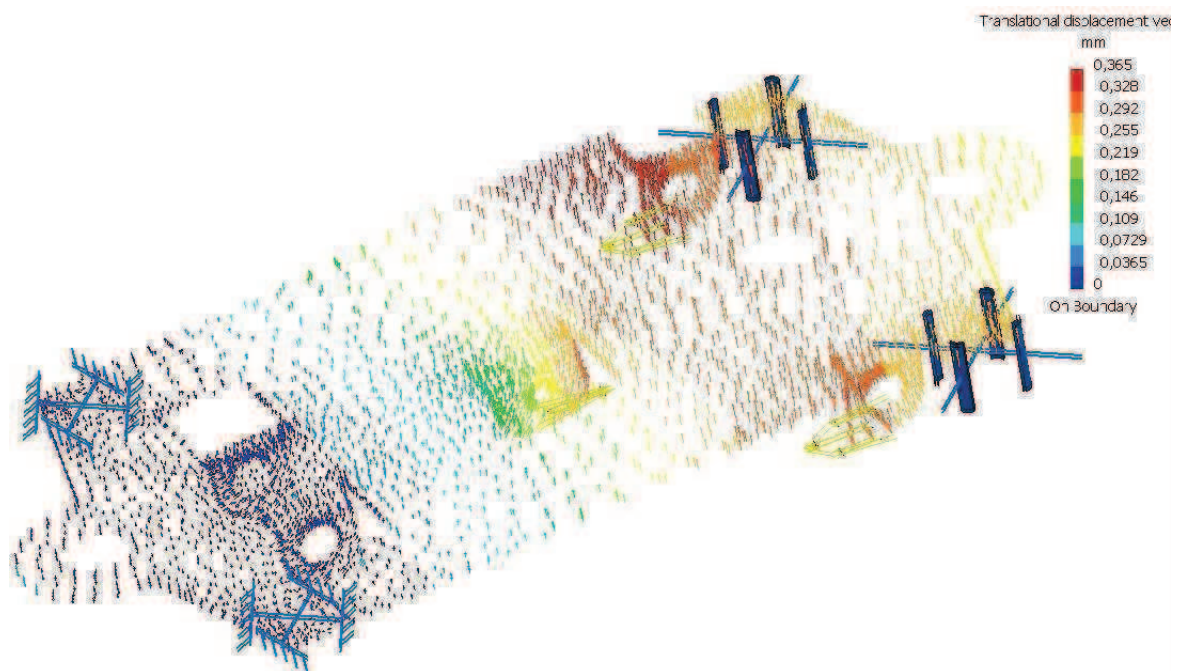
Rys. 5.7 Naprężenia w platformie drugiego modułu. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 127 MPa

W przypadku tym wartość występujących naprężeń gwarantuje wytrzymałość elementu z dużą rezerwą. Na tak małą w porównaniu do poprzedniej symulacji (Rys. 5.5), wartość naprężenia ma wpływ fakt, iż oddziaływujące na element siły przenoszone są przez dwie, połączone ze sobą platformy. Fakt ten został w symulacji uwzględniony poprzez wykorzystanie dodatkowej pary więzów typu „surface slider”.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.8 Odkształcenia platformy drugiego modułu. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

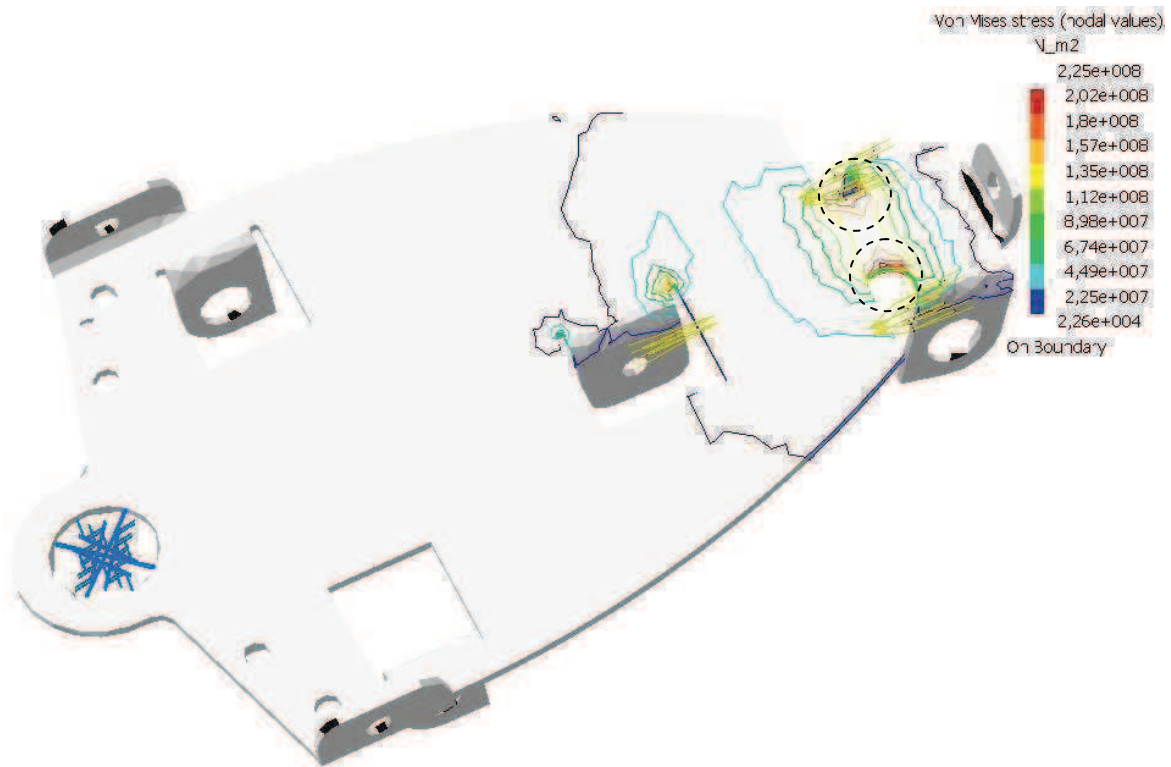
- Maksymalna odkształcenie elementu: 0,365 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

Podobnie jak dla symulacji wartości naprężenia (Rys. 5.7) tak i tutaj przyczyną niskiej wartości odkształcenia elementu jest fakt przenoszenia obciążeń przez dwa równoległe elementy.

Element – Platforma trzeciego modułu:

Materiał: Aluminium 2024-T3.

Analiz naprężeń:



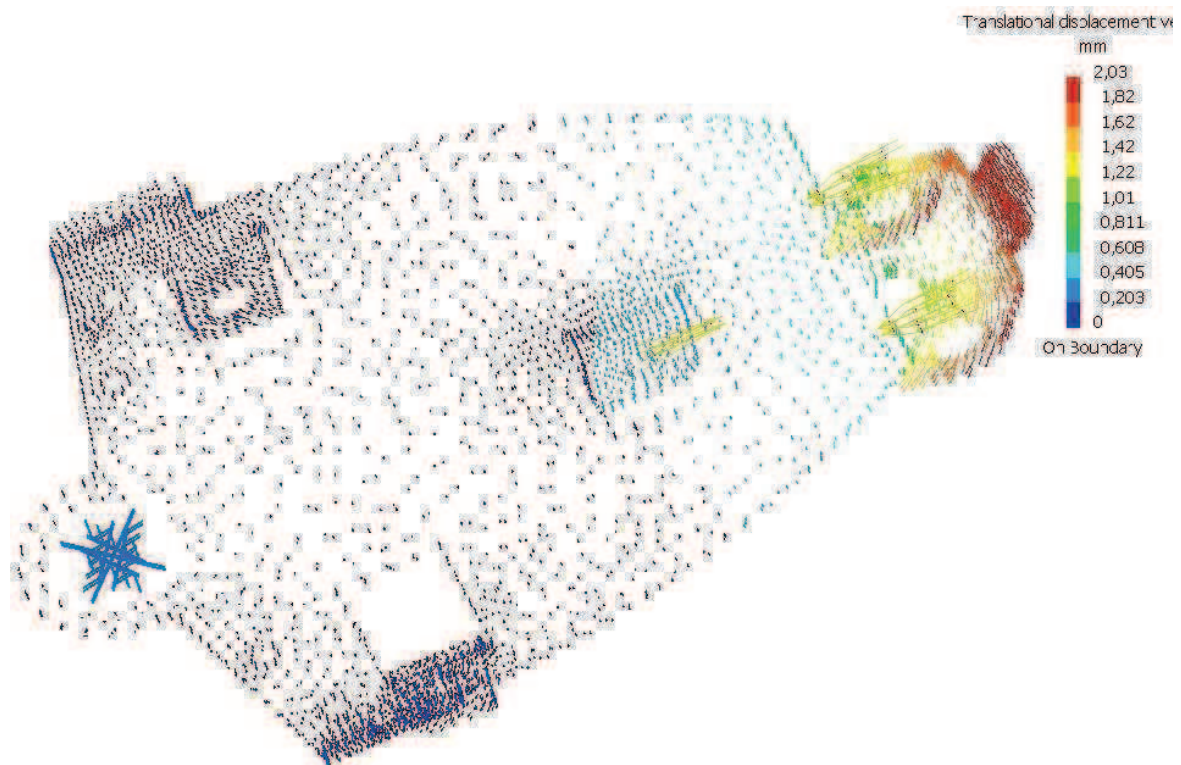
Rys. 5.9 Naprężenia w platformie trzeciego modułu. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odształcenie zwiększone 5x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 225 MPa

Ponownie wartość naprężeń w elemencie (Rys. 5.9) nie przekracza wartość naprężenia uplastyczniającego materiału. Jednak lokalizacje miejsc koncentracji największych naprężeń sugeruje konieczność wzmocnienia elementu w tych miejscach.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.10 Odkształcenia platformy trzeciego modułu. Na grafice uwidocznione zostały wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 5x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna odkształcenie elementu: 2,03 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

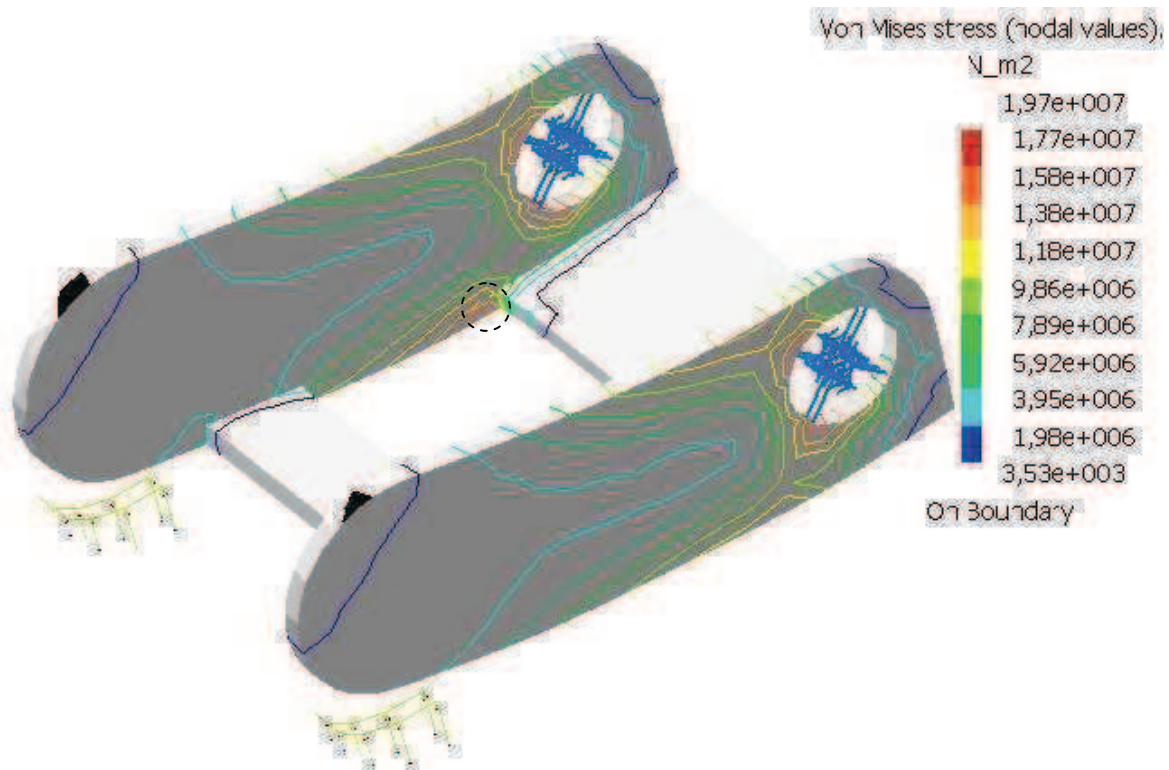
Uzyskane wyniki sugerują, iż element ten, w tej postaci jest podatny na duże odkształcenia oraz uszkodzenia spowodowane przez sytuacje nieprzewidziane. Należy uznać, że wskazane jest skorygowanie konstrukcji w miejscu odpowiedzialnym za tak znaczącą wartość odkształcenia.

5.4 Drugi wariant symulacji:

Element – Noga N1:

Materiał: drewno sosnowe.

Analiza naprężeń:



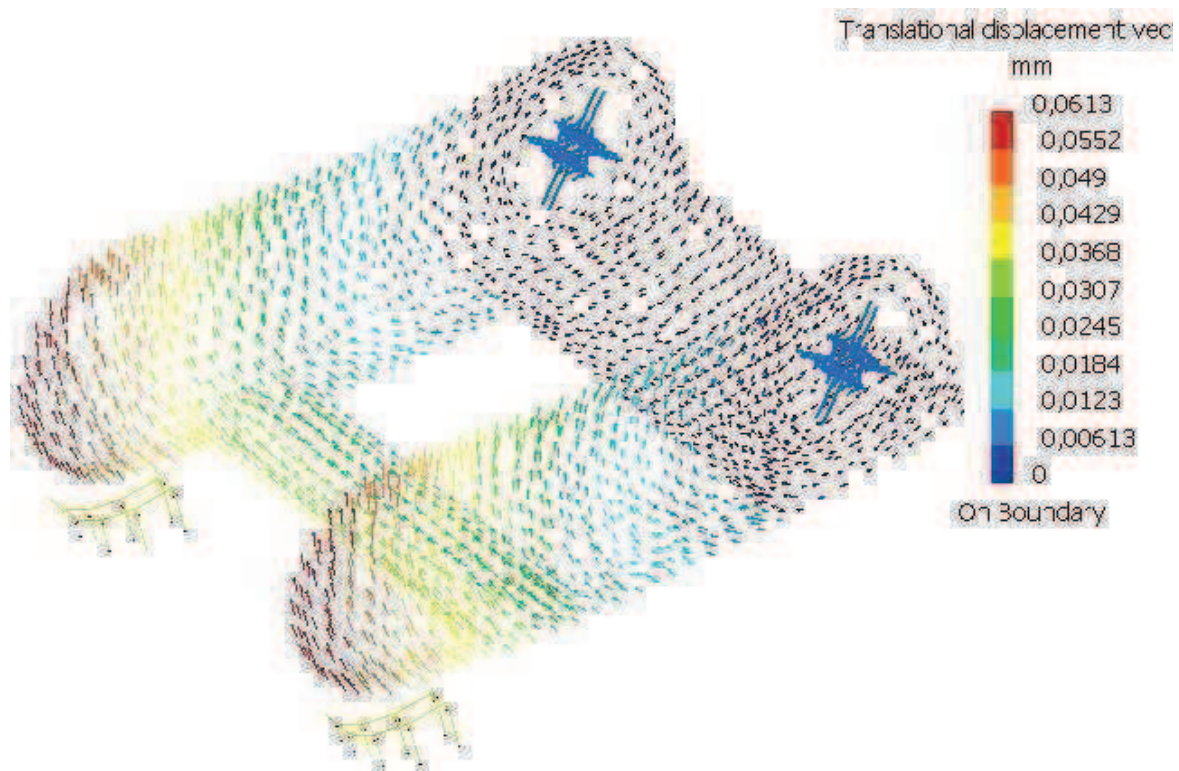
Rys. 5.11 Naprężenia w nodze N1. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 100x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 19,7 MPa

Wynik symulacji jednoznacznie pokazuje, że zastosowana modyfikacja konstrukcji spowodowała bardzo istotny spadek naprężenia w elemencie. Fakt, iż wartość ta wystąpiła na karbie świadczy o jak istotną mamy to do czynienia zmianą. Oznacza to, że element ten przy takich wartościach działających sił będzie w stanie poprawnie pracować bez dalszych modyfikacji.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.12 Odkształcenia nogi N1. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 100x.

Dane uzyskane z pomiaru:

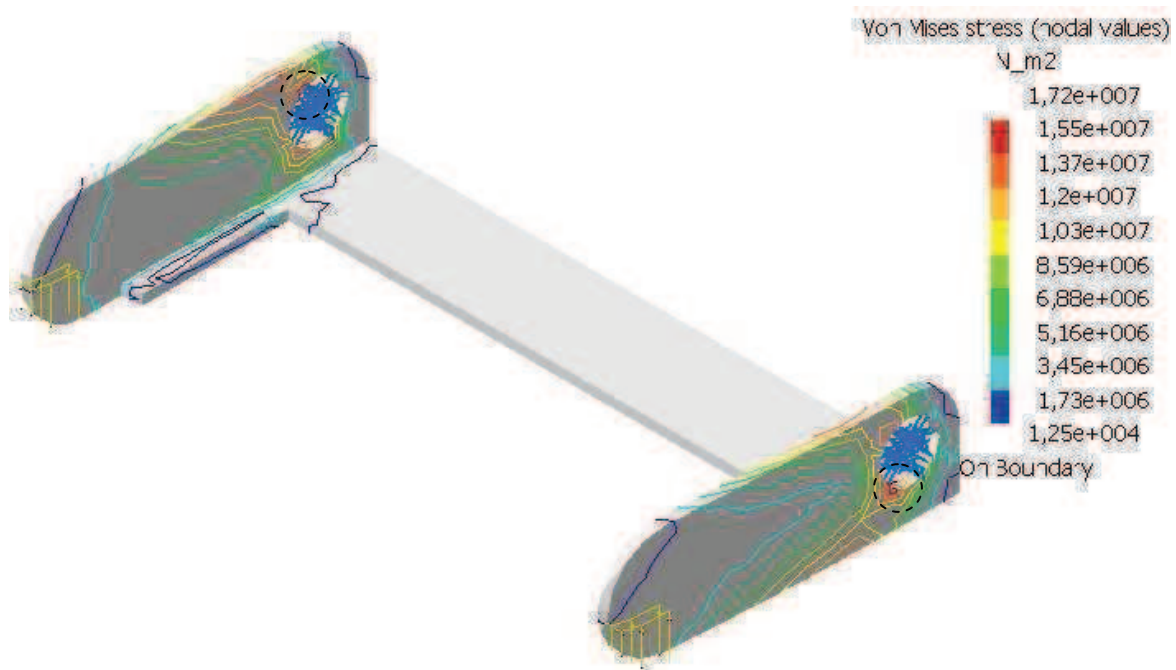
- Maksymalna odkształcenie elementu: 0,0613 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

W porównaniu z analogicznym elementem i jego odkształceniom (Rys. 5.2) w tym przypadku, aby uwidocznić odkształcenia konieczne było zastosowanie 100x wzmacnienia tego efektu (Rys. 5.12). Należy przyjąć, że element ten przy zadanym obciążeniu nie będzie odkształcał się w sposób dostrzegalny gołym okiem. A ze względu na niewielką wartość samego odkształcenia, przyjąć można, że element ten będzie pracował jak element sztywny.

Element – Noga N2:

Materiał: drewno sosnowe.

Analiz naprężeń:



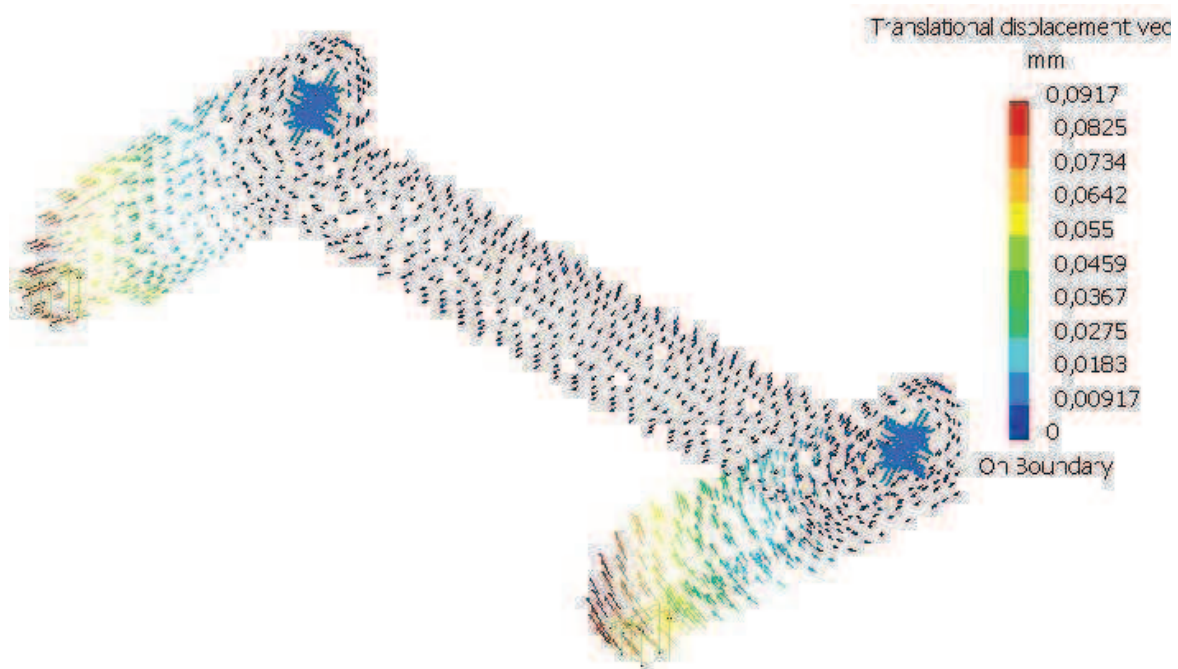
Rys. 5.13 Naprężenia w nodze N2. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 17,2 MPa

Podobnie jak w poprzednim przypadku, i tutaj wartość występujących w elemencie naprężeń uległa znaczącemu zmniejszeniu. Co prawda, pomimo przeprojektowania elementu, nie uległa też zmianie lokalizacja miejsca koncentracji naprężeń. Należy jednak uznać, że element ten po przeprojektowaniu jest w stanie bezpiecznie pełnić swoją funkcję w konstrukcji.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.14 Odkształcenia nogi N2. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

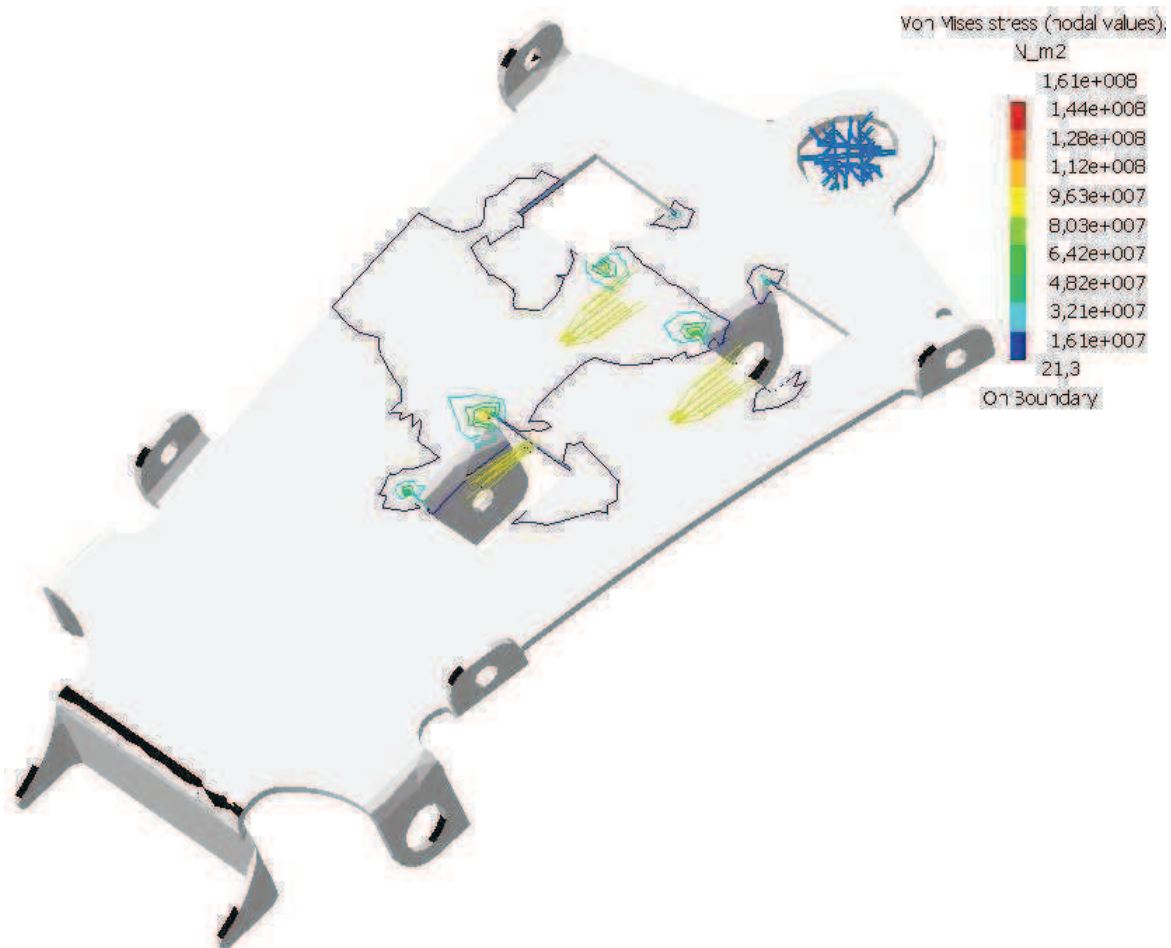
- Maksymalna odkształcenie elementu: 0,0917 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

W konfrontacji z uzyskanymi z poprzedniej symulacji wynikami (Rys. 5.4) w elemencie ten (Rys. 5.14) doszło do bardzo dużej minimalizacji odkształcenia. Przeprojektowany element jest teraz w stanie zagwarantować poprawną pracę całej konstrukcji. Występujące wartości odkształceń nie powinny zakłócać pracy konstrukcji w istotny sposób. Można więc założyć, że element ten będzie w stanie sprostać stawianym przed nim wymaganiom bez dalszych zmian w projekcie.

Element – Platforma pierwszego modułu:

Materiał: Aluminium 2024-T3.

Analiz naprężeń:



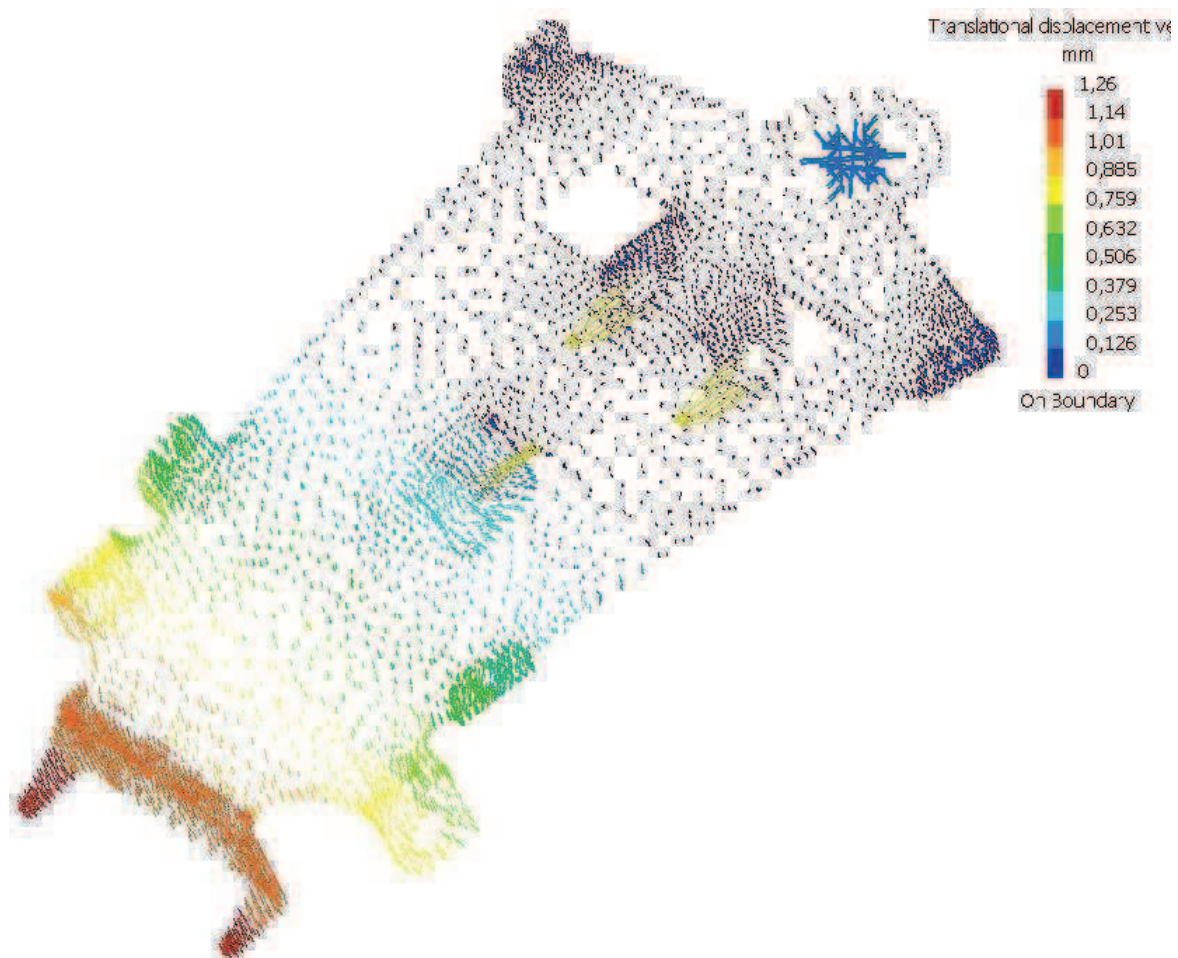
Rys. 5.15 Naprężenia w platformie pierwszego modułu. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 161 MPa

Po przeprojektowaniu kończyn, zmniejszenie obciążeń działających na ten element (Rys. 5.15) ograniczyło wartość naprężeń do poziomu pozwalającego na swobodną jego pracę bez konieczności jego przeprojektowania.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.16 Odkształcenia platformy pierwszego modułu. Na grafice uwidocznione zostały wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

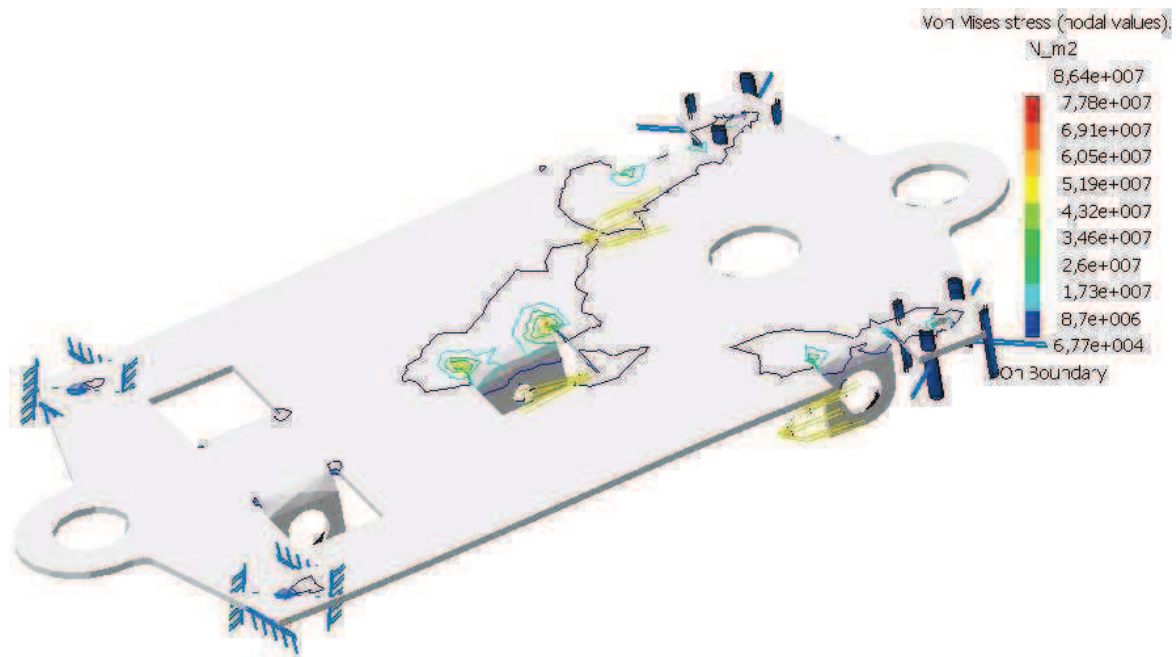
- Maksymalna odkształcenie elementu: 1,26 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

W wyniku zmniejszenia obciążeń wyniki symulacji (Rys. 5.16), silnie ograniczone zostały odkształcenia elementu. Podobnie jak dla pierwszego wariantu (Rys. 5.6) można uznać, że nie wpłynie to w znaczący sposób na zachowanie konstrukcji w trakcie pracy. Przy aktualnym stanie obciążenia element ten nie wymaga dalszych istotnych poprawek w projekcie.

Element – Platforma drugiego modułu:

Materiał: Aluminium 2024-T3.

Analiz naprężeń:



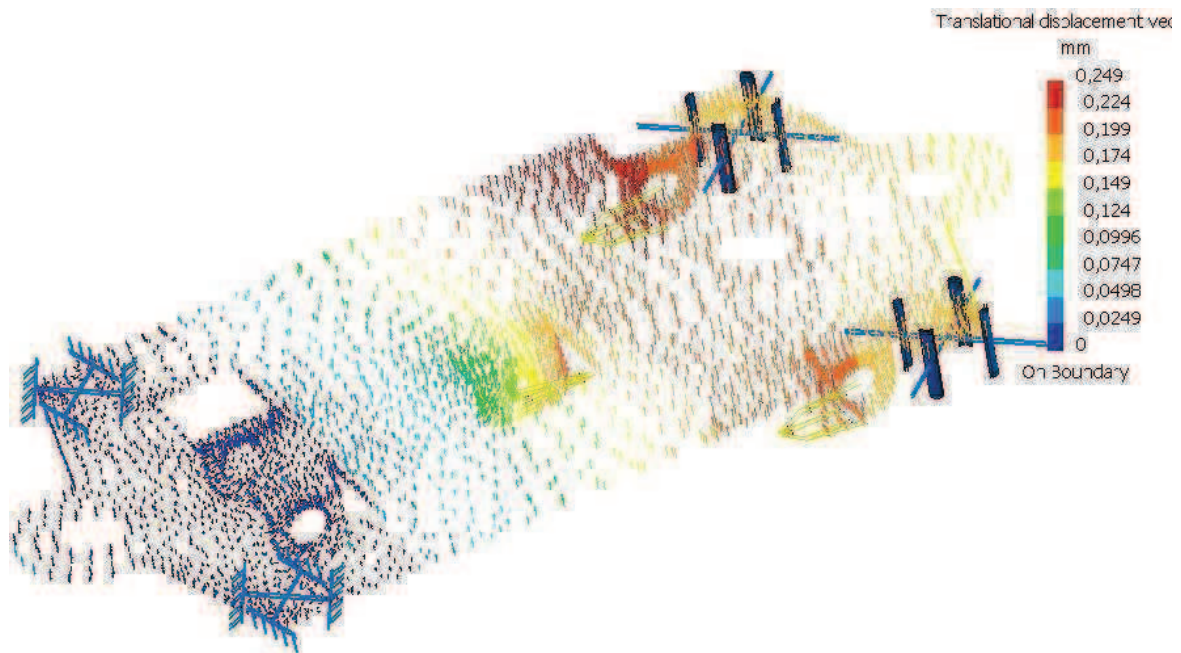
Rys. 5.17 Naprężenia w platformie drugiego modułu. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 86,4 MPa

Podobnie jak w przypadku poprzedniej symulacji (Rys. 5.7), na wartość naprężenia ma wpływ fakt, iż oddziaływujące na element siły przenoszone są przez dwie, połączone ze sobą platformy. Jednak w efekcie zmniejszenia obciążenia, zapas wytrzymałości tego elementu został znacząco zwiększony. W obecnym stanie, element ten wykorzystuje $\frac{1}{4}$ możliwości materiałowych. Biorąc pod uwagę, iż kończyny drugiego modułu podczas symulacji przenosiły największe obciążenia. Można założyć, że element ten przy obecnym stanie projektu zagwarantuje w pełni poprawną pracę konstrukcji.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.18 Odkształcenia platformy drugiego modułu. Na grafice uwidocznione zostały: wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

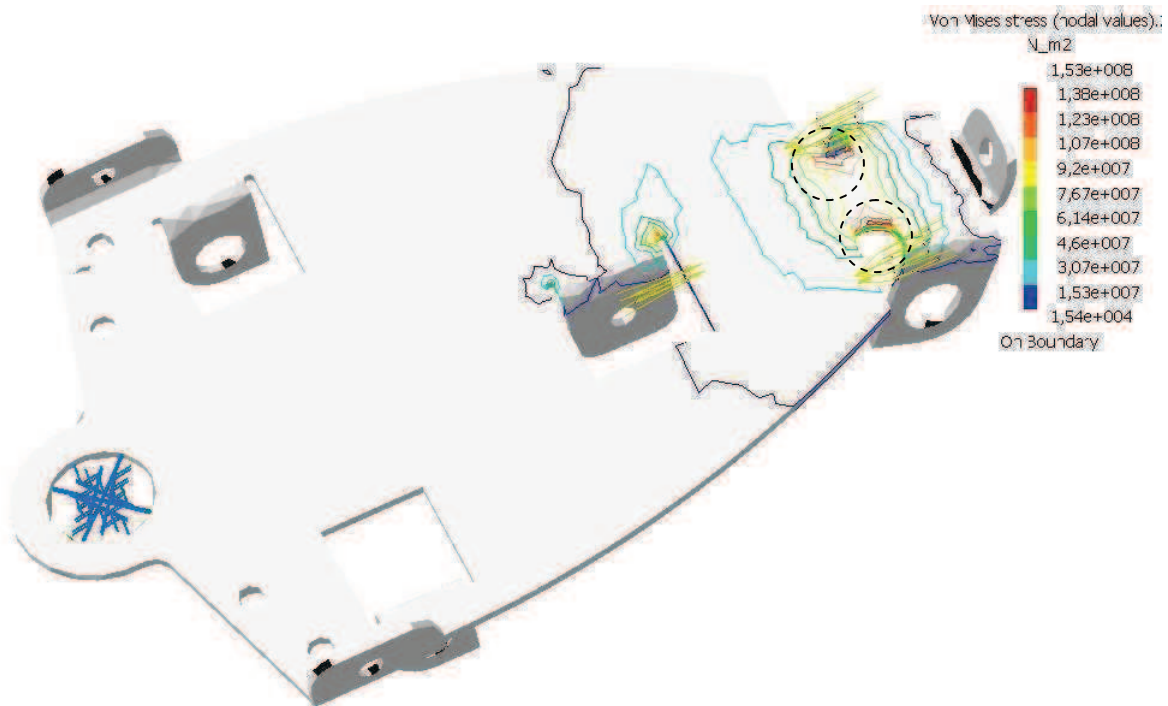
- Maksymalna odkształcenie elementu: 0,249 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

Podobnie jak dla wcześniejszych symulacji wysoka sztywność zagwarantowana została przez zastosowanie dwóch połączonych, równoległych elementów jako platformy modułu. Jednak w porównaniu z pierwszym wariantem (Rys. 5.8), także i w tym przypadku wartości odkształceń pozostają bardzo niskie. Utwierdza to w przekonaniu o poprawności zastosowanego rozwiązania.

Element – Platforma trzeciego modułu:

Materiał: Aluminium 2024-T3.

Analiz naprężeń:



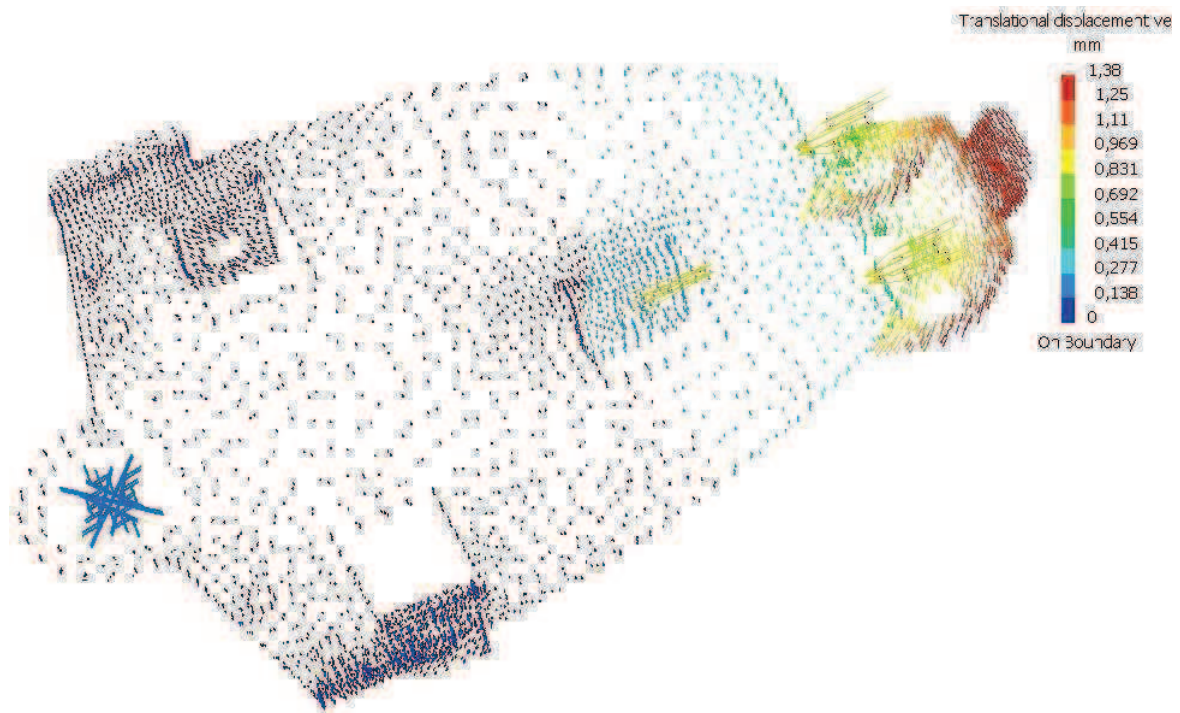
Rys. 5.19 Naprężenia w platformie trzeciego modułu. Na grafice uwidocznione zostały wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna naprężenie w elemencie: 153 MPa

W porównaniu z pierwszym wariantem symulacji (Rys. 5.9) przy obecnej konstrukcji, wartości obciążenia konstrukcji nie przekraczają możliwości materiału do przenoszenia obciążeń. W dalszym ciągu lokalizacje miejsc koncentracji największych naprężeń sugerują konieczność wzmocnienia elementu w tych miejscach. Jednak przy aktualnym stanie obciążenia nie stanowi to już tak istotnego problemu jak uprzednio.

Analiza odkształceń:



Rys. 5.20 Odkształcenia platformy trzeciego modułu. Na grafice uwidocznione zostały wektory obciążenia i więzy. Odkształcenie zwiększone 10x.

Dane uzyskane z pomiaru:

- Maksymalna odkształcenie elementu: 1,38 mm
(w odniesieniu od bryły pierwotnej)

W porównaniu z poprzednim wariantem symulacji (Rys. 5.10) uzyskane wyniki w dalszym ciągu pozostają niepokojące w odniesieniu do możliwych uszkodzeń w skutek sytuacji nieprzewidzianych. Jednak skala wartości odkształcenia w odniesieniu do wymiarów całej konstrukcji sugeruje, że wpływ aktualnego stanu odkształcenia nie powinien bardzo znacząco wpłynąć na poprawność pracy konstrukcji.

6. Układ sterowania:

6.1 Dobór mikrokontrolera i środowiska programowania:



Na podstawie przeprowadzonych poszukiwań i analizy porównawczej, do realizacji programu realizującego algorytm ruchu robota wytypowany został mikrokontroler firmy ATMEL. ATmega8-16PU (Rys. 6.1). Dzięki zabudowanemu w konstrukcji zegarowi, dużej pamięci wewnętrznej, możliwości dowolnego definiowania wejść i wyjść oraz szerokiej gamie innych peryferiów procesor ten praktycznie gwarantuje zdolność realizacji nawet wielokrotnie bardziej złożonych programów.

Rys. 6.1 Mikrokontroler ATMEL ATmega8 [17].

Parametry mikrokontrolera wymienione zostały w tabeli (Tab. 6.1). Dobranie mikrokontrolera musiało się odbyć jeszcze przed rozpoczęciem prac nad programem sterującym.

Główną przyczyną był fakt, iż zarówno algorytm programu jak i sama treść kodu wymaga optymalizacji i zastosowania komend typowych dla danego środowiska procesora.

Ponadto, podczas kompilacji kodu programu do postaci binarnej, warunkiem jego poprawnej interpretacji jest obsługiwanie przez kompilator bibliotek charakterystycznych dla konkretnego urządzenia.

Podczas analizy dostępnych środowisk programistycznych

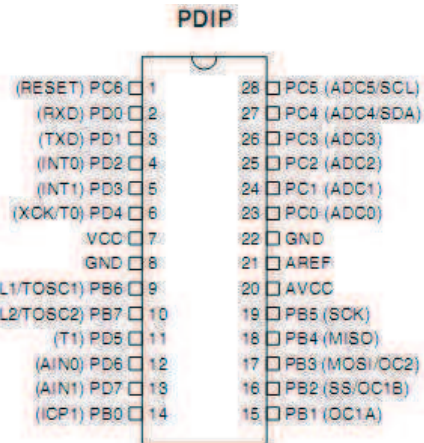
FLASH	8 KB
SRAM	1 KB
EEPROM	512 B
Peryferia	<ul style="list-style-type: none">• Dwa 8-bitowe liczniki,• Jeden 16-bitowy licznik• Licznik czasu rzeczywistego z oddzielnym oscylatorem• 3 kanały PWM• 10-bitowy przetwornik ADC• Interfejs I2C• USART• Interfejs SPI• Komparator analogowy,• SPI,• Programowalny licznik• Watchdog z zintegrowanym oscylatorem.• Wewnętrzny oscylator RC• 5 trybów uśpienia
Napięcie zasilania	4.5V – 5.5V
Częstotliwość taktowania	0-16 MHz
Zakres temperatur	-40° ÷ + 85°C
Obudowa	28-pin PDIP

Tab. 6.1 Parametry procesora [18].

wyбір padł na program WinAVR (Rys. 6.3). Środowisko to umożliwia pisanie programów dla dowolnych mikrokontrolerów firmy ATMEL w wielu językach.

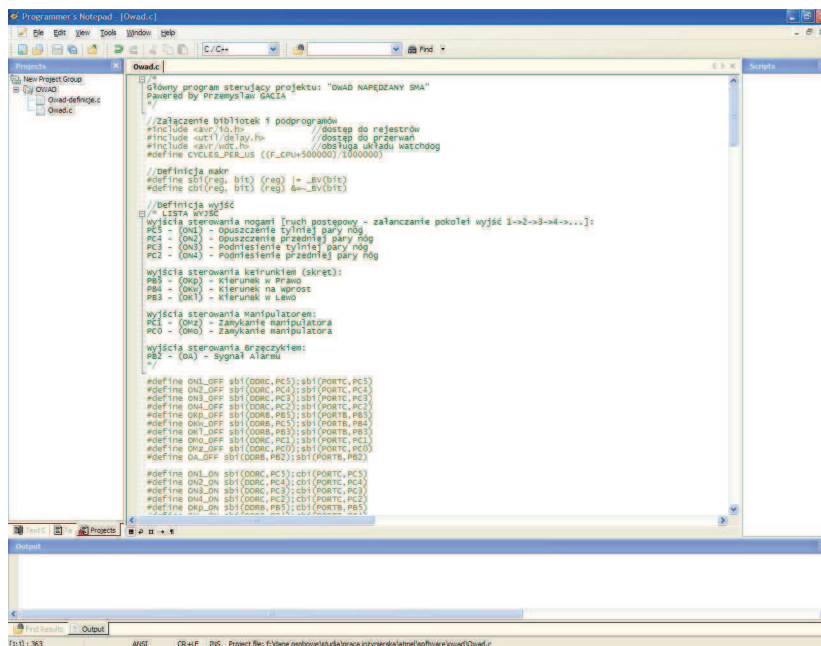
6.2 Wybór języka programowania:

Ze względu na szeroką gamę dostępnych pomocy i samouczków. Oraz prężnie działające środowisko programistów, którzy chętnie dzielą się swoimi uwagami i radami przy wykorzystaniu Internetu. Ostatecznie do napisania programu wyselekcjonowany został język C/C++.



Rys. 6.2 Rozkład połączeń mikrokontrolera ATMEL ATmega8 [18].

Język ten, Dzięki za wszystko i swojej przejrzystości oraz jak się okazało powszechności w podobnych rozwiązaniach stanowił doskonale rozwiązanie. Dając się łatwo modyfikować oraz korzystając z już gotowych makr i funkcji udostępnianych w sieci przez innych programistów.

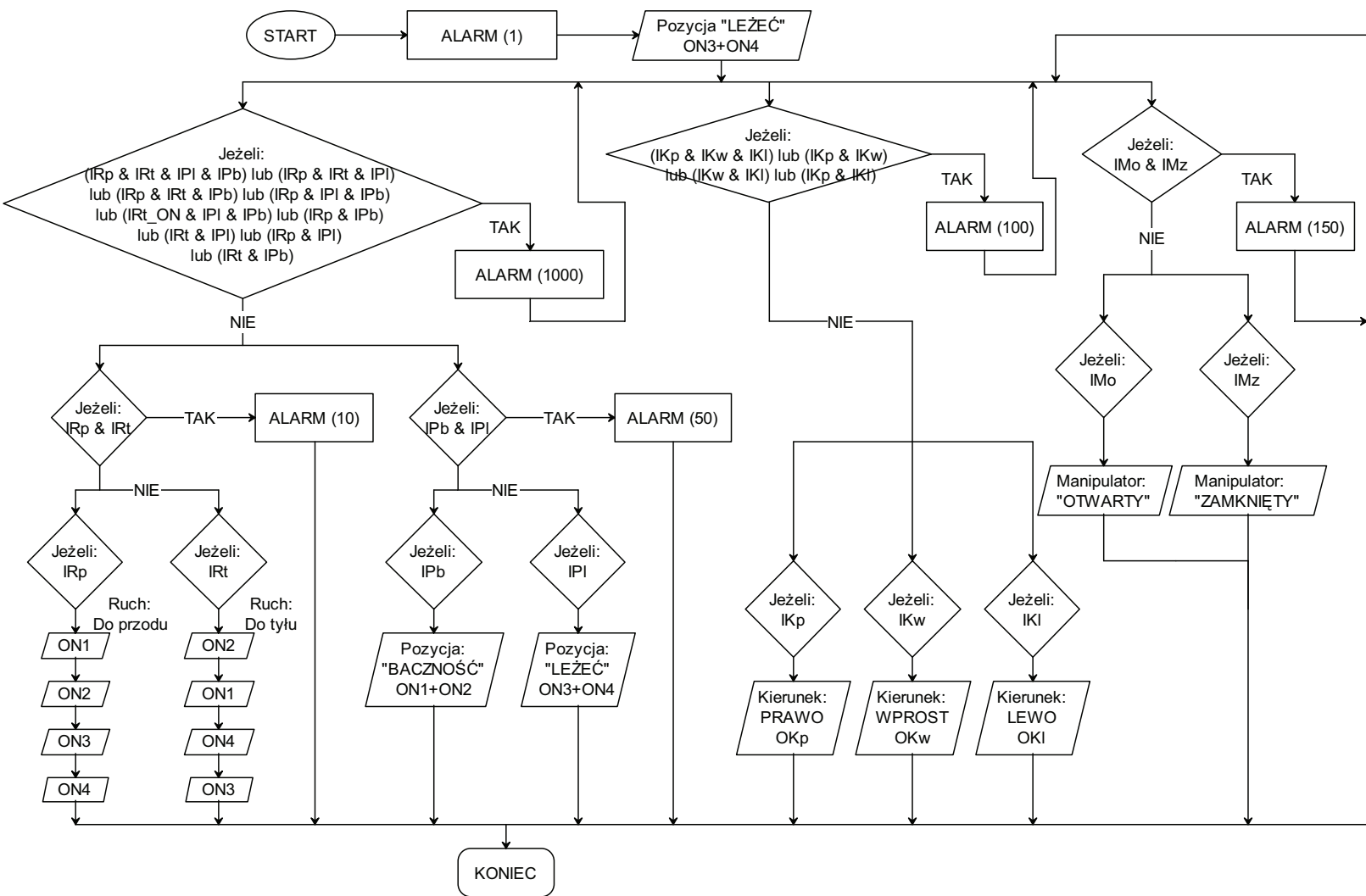


Rys. 6.3 Okno główne programu WinAVR.

w programie. W połączeniu z możliwościami kompilatora WinAVR, takimi jak aktywny tekst czy debugger wykorzystywany bezpośrednio podczas kompilacji, pisanie programu było prostsze a efekty pewniejsze.

Podsumowując, stosując podczas tworzenia programu nowoczesnych rozwiązań inżynierskich do problemu programowania, możliwe było w stosunkowo krótkim czasie napisanie prostego i co najważniejsze gwarantującego poprawne działanie programu.

Rys. 6.4 Algorytm programu mikrokontrolera.



6.3 Algorytm programu sterującego:

6.4 Program sterujący w Języku C:

Poniższy skrypt został przedstawiony dokładnie tak samo jak treść programu poddana kompilacji.

```
//Załączenie bibliotek i podprogramów
#include <avr/io.h>           //dostęp do rejestrów
#include <util/delay.h>       //dostęp do przerw
#include <avr/wdt.h>          //obsługa układu Watchdog
#define CYCLES_PER_US ((F_CPU+500000)/1000000)

//Definicja makr
#define sbi(reg, bit) (reg) |= _BV(bit)
#define cbi(reg, bit) (reg) &=~ _BV(bit)

//Definicja wyjść
/* LISTA WYJŚĆ
Wyjścia sterowania nogami [ruch postępowy - załączanie pokolei wyjść 1->2->3->4->...]:
PC5 - (ON1) - Opuszczenie tylnej pary nóg
PC4 - (ON2) - Opuszczenie przedniej pary nóg
PC3 - (ON3) - Podniesienie tylnej pary nóg
PC2 - (ON4) - Podniesienie przedniej pary nóg

Wyjścia sterowania keirunkiem (skręt):
PB5 - (OKp) - Kierunek w Prawo
PB4 - (OKw) - Kierunek na Wprost
PB3 - (OKl) - Kierunek w Lewo

Wyjścia sterowania Manipulatorem:
PC1 - (OMz) - Zamykanie manipulatora
PC0 - (OMo) - Zamykanie manipulatora

Wyjścia sterowania Brzęczykiem:
PB2 - (OA) - Sygnał Alarmu
*/
```

```
#define ON1_OFF sbi(DDRC,PC5);sbi(PORTC,PC5)
#define ON2_OFF sbi(DDRC,PC4);sbi(PORTC,PC4)
#define ON3_OFF sbi(DDRC,PC3);sbi(PORTC,PC3)
#define ON4_OFF sbi(DDRC,PC2);sbi(PORTC,PC2)
#define OKp_OFF sbi(DDRB,PB5);sbi(PORTB,PB5)
#define OKw_OFF sbi(DDRB,PC5);sbi(PORTB,PB4)
#define OKl_OFF sbi(DDRB,PB3);sbi(PORTB,PB3)
#define OMo_OFF sbi(DDRC,PC1);sbi(PORTC,PC1)
#define OMz_OFF sbi(DDRC,PC0);sbi(PORTC,PC0)
#define OA_OFF sbi(DDRB,PB2);sbi(PORTB,PB2)
```

```
#define ON1_ON sbi(DDRC,PC5);cbi(PORTC,PC5)
#define ON2_ON sbi(DDRC,PC4);cbi(PORTC,PC4)
#define ON3_ON sbi(DDRC,PC3);cbi(PORTC,PC3)
#define ON4_ON sbi(DDRC,PC2);cbi(PORTC,PC2)
#define OKp_ON sbi(DDRB,PB5);cbi(PORTB,PB5)
#define OKw_ON sbi(DDRB,PB4);cbi(PORTB,PB4)
#define OKl_ON sbi(DDRB,PB3);cbi(PORTB,PB3)
#define OMo_ON sbi(DDRC,PC1);cbi(PORTC,PC1)
#define OMz_ON sbi(DDRC,PC0);cbi(PORTC,PC0)
#define OA_ON sbi(DDRB,PB2);cbi(PORTB,PB2)
```

//Definicja Wejść

/* LISTA WEJŚĆ

Wejścia sterowania ruchem:

PB1 - (IRp) - Otwarcie manipulatora

PB2 - (IRt) - Otwarcie manipulatora

Wejścia sterowania Pozycjami Specjalnymi:

PB3 - (IPb) - Pozycja "Bacność"

PB4 - (IPl) - Pozycja "Leżeć"

Wejścia sterowania kerunkiem ruchu:

PD1 - (IKp) - Kierunek w Prawo

PD2 - (IKw) - Kierunek na Wprost

PD3 - (IKl) - Kierunek w Lewo

Wejścia sterowania manipulatorem:

PD4 - (IMz) - Zamknięcia manipulatrora

PD5 - (IMo) - Otwarcie manipulatora

*/

```
#define IRp_ON bit_is_clear(PORTB,PD6)
```

```
#define IRt_ON bit_is_clear(PORTB,PD7)
```

```
#define IPb_ON bit_is_clear(PORTB,PB6)
```

```
#define IPl_ON bit_is_clear(PORTB,PB7)
```

```
#define IKp_ON bit_is_clear(PORTD,PD1)
```

```
#define IKw_ON bit_is_clear(PORTD,PD2)
```

```
#define IKl_ON bit_is_clear(PORTD,PD3)
```

```
#define IMz_ON bit_is_clear(PORTD,PD4)
```

```
#define IMo_ON bit_is_clear(PORTD,PD5)
```

/*Definicje znaczników:

z - znacznik

P - pozycja

B - Baczość

L - Leżeć

K - Kierunek

P - prawo

W - wporst

L - lewo

M - manipulator

O - otwarty

Z - zamknięty

*/


```

//znaczniki Pętli 1
char zPB;
char zPL;

//Znaczniki pętli 2
char zKP;
char zKW;
char zKL;

//Znaczniki pętli 3
char zMO;
char zMZ;

//Funkcja specjalne
void delay(unsigned int us)
{
    unsigned int delay_loops;
    register unsigned int i;
    delay_loops = (us+3)/5*CYCLES_PER_US; // +3 for rounding up (dirty)
    for (i=0; i < delay_loops; i++) {};
}

void delayms(unsigned int ms)
{
    unsigned int i;
    for (i=0;i<ms;i++)
    {
        delay(999);
        asm volatile ("WDR");
    }
}

void Alarm(unsigned int t)
{
    unsigned int WW;

```

```

for (WW=0;WW<100;WW++)
{
    OA_ON;
    delayms(t);
    OA_OFF;
    delayms(t);
};
}
void delay01s(unsigned int t)
{
    uint8_t i;
    for(i=0;i<100;i++)
    {
        _delay_ms(t);
    };
}

int main(void) //Początek programu
{
//definicja wartości początkowych znaczników
//znaczniki Pętli 1
zPB=0;
zPB=0;

//Znaczniki pętli 2
zKP=0;
zKW=0;
zKL=0;

//Znaczniki pętli 3
zMO=0;
zMZ=0;

//Alarm początkowy t=1s

```

```
Alarm(1);
```

```
//Pozycja startowa => Leżeć
```

```
ON3_ON;
```

```
ON4_ON;
```

```
delay01s(30);
```

```
ON3_OFF;
```

```
ON4_OFF;
```

```
zPL=1;
```

```
//Początek pętli
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
//Watchdog na czas ok 2s
```

```
wdt_enable(WDTO_2S);
```

```
//Pętla 1 => kontrola ruchów postępowych i póż specjalnych
```

```
if ((IRp_ON && IRt_ON && IPl_ON && IPb_ON) || (IRp_ON && IRt_ON && IPl_ON) || (IRp_ON && IRt_ON && IPb_ON) || (IRp_ON && IPl_ON && IPb_ON) || (IRt_ON && IPl_ON && IPb_ON) || (IRp_ON && IPb_ON) || (IRt_ON && IPl_ON) || (IRp_ON && IPl_ON) || (IRt_ON && IPb_ON))
```

```
{
```

```
Alarm(1000);
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
//Podpętla 1.1 => Ruch postępowy
```

```
if (IRp_ON && IRt_ON)
```

```
{
```

```
Alarm(10);
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
if (IRp_ON)//Przód (1-2-3-4)
```

```

    {
        switch (1)
        {
        case 1:
            {
                ON1_ON;
                delay01s(30);
                ON1_OFF;
            };
        case 2:
            {
                ON2_ON;
                delay01s(30);
                ON2_OFF;
            };
        case 3:
            {
                ON3_ON;
                delay01s(30);
                ON3_OFF;
            };
        case 4:
            {
                ON4_ON;
                delay01s(30);
                ON4_OFF;
            };
        break;
        };
    };
if (IRt_ON)//Tył (2-1-4-3)
    {
        switch (1)
        {

```

```

        case 1:
            {
                ON4_ON;
                delay01s(30);
                ON4_OFF;
            };
        case 2:
            {
                ON3_ON;
                delay01s(30);
                ON3_OFF;
            };
        case 3:
            {
                ON2_ON;
                delay01s(30);
                ON2_OFF;
            };
        case 4:
            {
                ON1_ON;
                delay01s(30);
                ON1_OFF;
            };
        break;
    };
};

//Podpętla 1.2 => Pozy specjalne
if (IPb_ON && IPl_ON)
    {
        Alarm(50);
    }
else

```

```

    {
    //Bacność
    if ((zPB==0) && IPb_ON) //Jeżeli znacznik + wejście poprawne >>
realizuj algorytm ...

        {
        zPL=0;
        ON1_ON;
        ON2_ON;
        delay01s(30);
        ON1_OFF;
        ON2_OFF;
        zPB=1;
        };

    //Leżeć
    if ((zPL==0) && IP1_ON)
        {
        zPB=0;
        ON3_ON;
        ON4_ON;
        delay01s(30);
        ON3_OFF;
        ON4_OFF;
        zPL=1;
        };
    };

//Pętla 2 => kontrola kierunku ruchu
    if ((IKp_ON && IKw_ON && IKl_ON) || (IKp_ON && IKw_ON) || (IKw_ON &&
IKl_ON) || (IKp_ON && IKl_ON))
        {
        Alarm(100);
        }
    else
        {

```

```

//Podpętla 2.1 => W prawo
    if ((zKP==0) && IKp_ON)
    {
        zKW=0;
        zKL=0;
        OKp_ON;
        delay01s(30);
        OKp_OFF;
        zKP=1;
    };

```

```

//Podpętla 2.2 => Prosto
    if ((zKW==0) && IKw_ON)
    {
        zKP=0;
        zKL=0;
        OKw_ON;
        delay01s(30);
        OKw_OFF;
        zKW=1;
    };

```

```

//Podpętla 2.3 => W lewo
    if ((zKL==0) && IKl_ON)
    {
        zKP=0;
        zKW=0;
        OKl_ON;
        delay01s(30);
        OKl_OFF;
        zKL=1;
    };

```

```
};
```

```
//Pętla 3 => kontrola manipulatora
```

```

    if (IMo_ON && IMz_ON)
    {

```

```

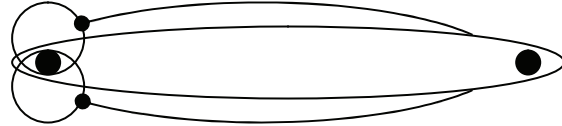
        Alarm(150);
    }
else
    {
        //Podpętla 3.1 => Manipulator otwarty
        if ((zMO==0) && IMo_ON)
            {
                zMZ=0; //znacznik - kasacja znacznika zakmnięcia
                manipulatora

                OMo_ON;
                delay01s(30);
                OMo_OFF;
                zMO=1; //znacznik - manipulator zostaje otwarty
            };
        //Podpętla 3.2 => Manipulator zamknięty
        if ((zMZ==0) && IMz_ON)
            {
                zMO=0; //znacznik - kasacja znacznika otwarcia manipulatora
                OMz_ON;
                delay01s(30);
                OMz_OFF;
                zMZ=1; //znacznik - manipulator zostaje zamknięty
            };
    };
};
return 0;
}
Koniec programu.

```


7. Dobór cięgien SMA:

Do doboru cięgien wykorzystana została dokumentacja rozpowszechniana w ramach oferty handlowej firmy SMARTPOL. Niestety, siłowniki te wykorzystują efekt zmiany średnicy wskutek rozciągania. Oznacza to, że przy bardzo dużej długości takiego siłownika uzyskujemy bardzo niewielkie skoki (rzędu kilku milimetrów na metr) oraz bardzo małe siły.



Rys. 7.1 Schemat mocowania cięgna w konstrukcji robota

Założenia:

- Zasilanie: 4,5V
- Siła: 0,4 i 28 N (Siłowniki skrętne i napędzające)
- Skompensowanie nadmiernej długości poprzez wielokrotne nawinięcie cięgna pomiędzy mocowaniami.

Siłownik skrętny:

- Nazwa handlowa: F0080V045
- Siła uciągu: 80 g = 0,785 N
- Napięcie zasilające: 4,5 V
- Pobór prądu: 0,1 A
- Średnica: 0,0762 mm
- Długość: 229 mm
- Skok: 6,9 mm

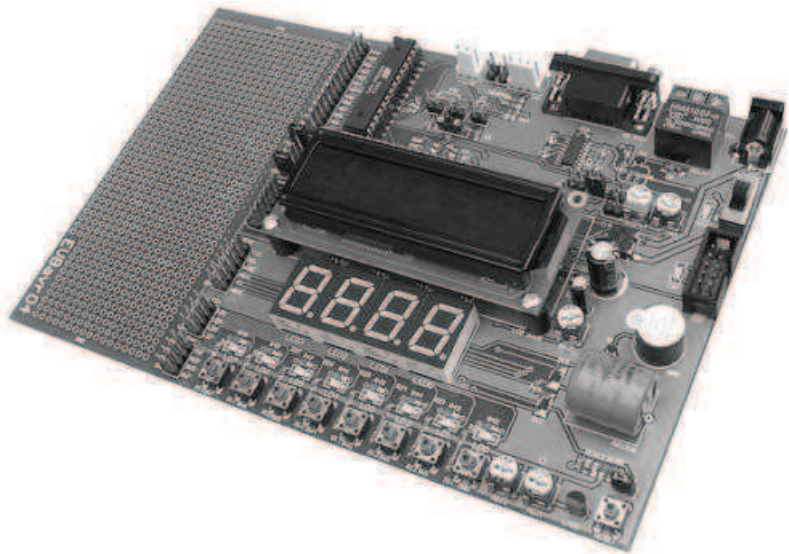
Siłownik napędowy:

- Nazwa handlowa: F3560V045
- Siła uciągu: 3560 g = 34,912 N
- Napięcie zasilające: 4,5 V
- Pobór prądu: 4 A
- Średnica: 0,508 mm
- Długość: 238 mm
- Skok: 7,1 mm

Z oferty firmy SMATRPOL możliwe było dobranie siłownika napędzającego, który zagwarantuje niezbędną siłę i skok. Niestety w przypadku siłownika skrętnego, konieczne było ograniczenie wymagań dotyczących skoku siłownika, a co za tym idzie także zdolności robota do wykonywania ruchów skrętnych.

8. Test poprawności programu:

Aby sprawdzić poprawność działania programu jeszcze przed budową właściwego układu sterowania wykorzystana została płyta testowa PROPOX EVBavr04. Jest to płyta ewaluacyjna dla mikrokontrolerów AVR serii ATmega8 oraz ATmega48/88/168.



Rys. 8.1 Płyta testowa PROPOX EVBavr04.

Dzięki jej zastosowaniu możliwe było wykonanie szeregu testów poprawności, zarówno części jak i całości

programu. Dzięki wykorzystaniu portu ISP zabudowanego na powierzchni płyty, możliwe było bezproblemowe połączenie z programatorem.

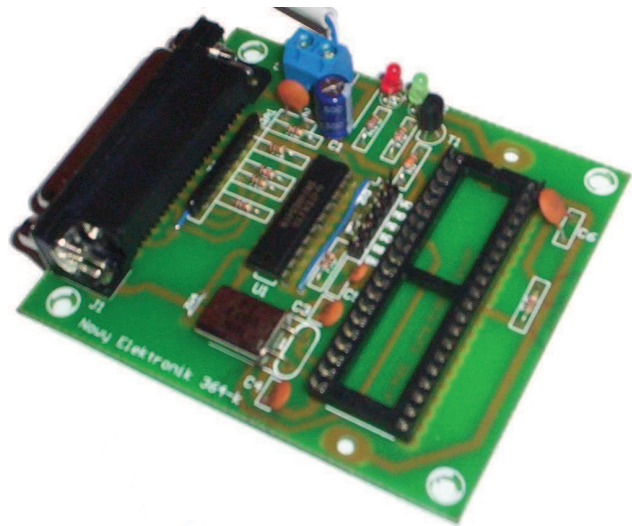
W konstrukcji płyty EVBavr04 zabudowane zostały [19]:

- Procesor ATmega8
- Wszystkie złącza (wyprowadzenia od wszystkich elementów znajdujących się na płycie, w tym wszystkich zakończeń wyjść mikrokontrolera).
- Cztery wyświetlacze 7-segmentowe LED
- Diody led i przyciski
- Dwa potencjometry
- Przekaznik
- Sygnalizator akustyczny (speaker)
- Termometr LM35
- Zegar czasu rzeczywistego DS1307 oraz akumulator 3.6V

Dzięki dużemu polu testowemu (Rys. 8.1) możliwe jest także podłączanie własnych elementów obwodów do obwodu testowego.

9. Programator:

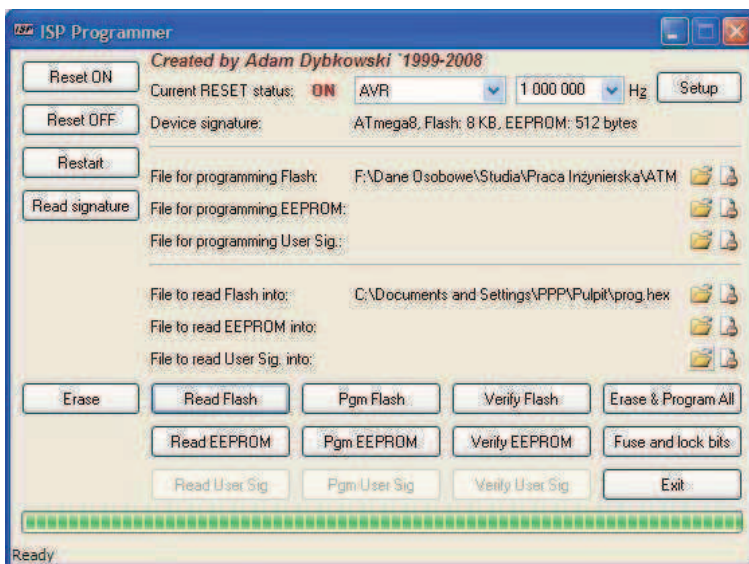
Do realizacji projektu zastosowany został zestaw do samodzielnego składania „Rozwojowy programator ATMEL’i” 364-K opracowany i rozpowszechniany w formie KIT’u przez wydawnictwo pisma „Nowy elektronik”.



Rys. 9.1 Zmontowany programator ATMEL’i 264-K.

Zestaw ten w połączeniu z programem sterującym ISP Programmer 1.2.0.46 autorstwa Adama Dybkowskiego, udostępnionego w sieci na licencji freeware, posłużył do

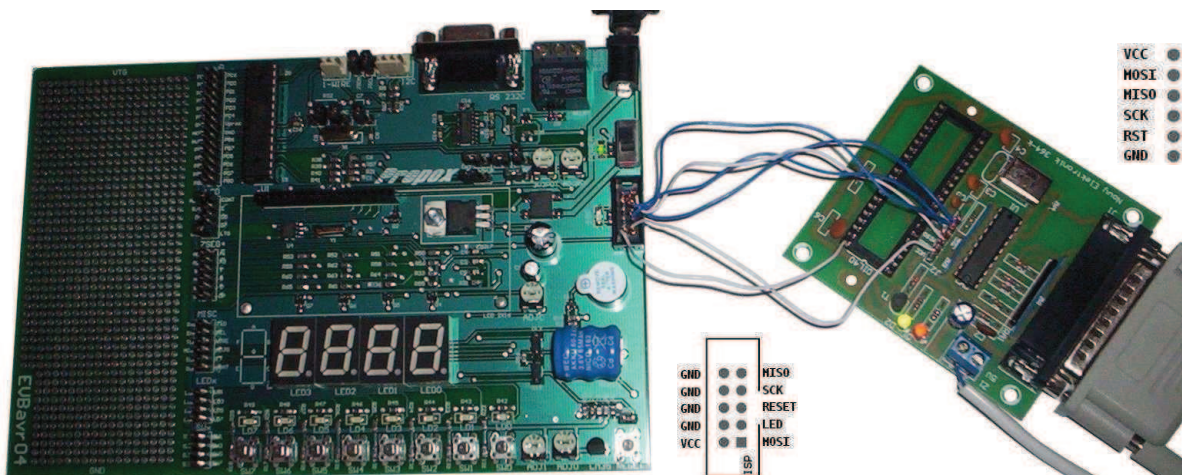
wprowadzenia do pamięci mikrokontrolera programu sterującego.



Rys. 9.2 Okno dialogowe programu ISP Programmer w trakcie pracy.

9.1 Proces programowania:

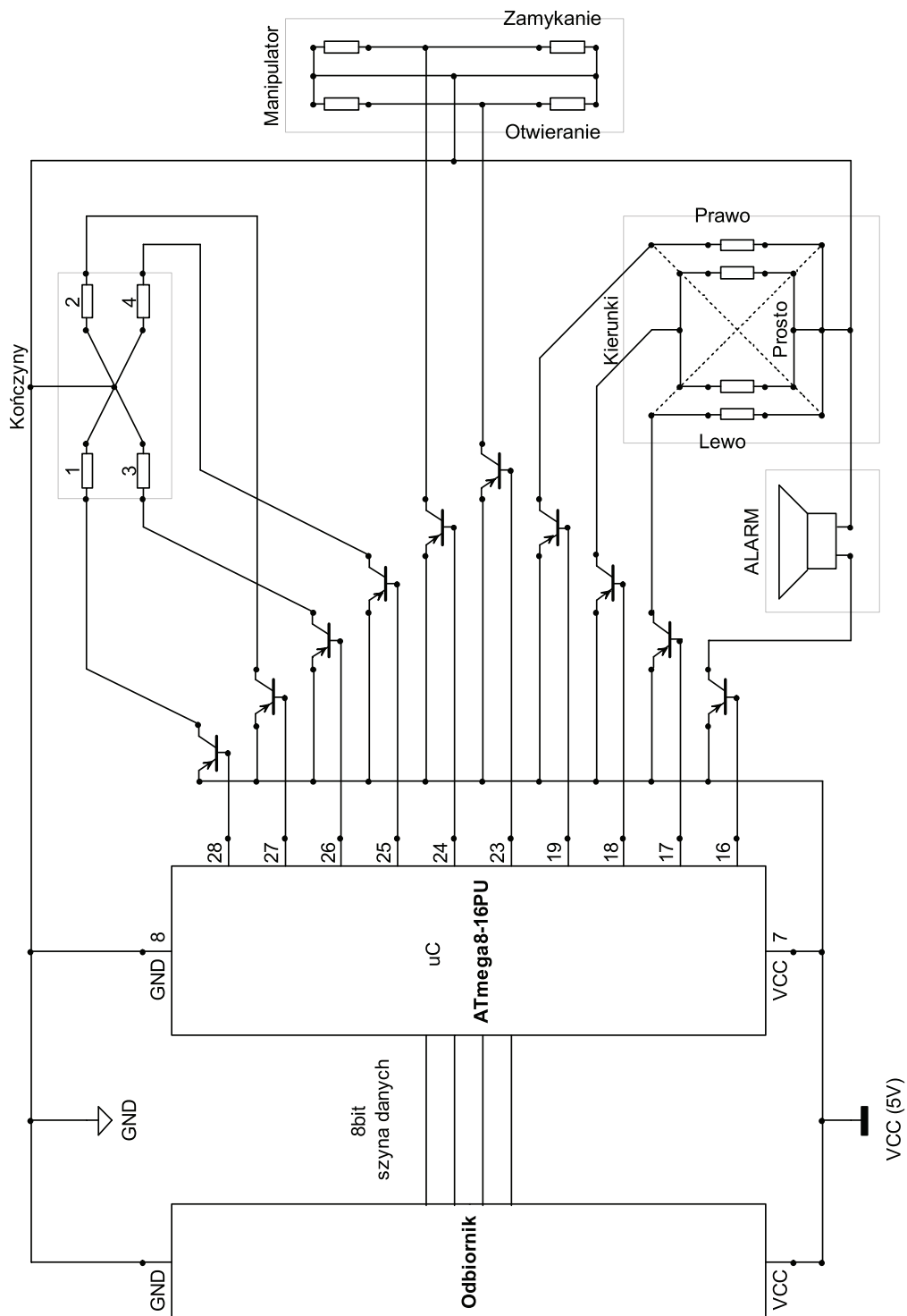
Mikrokontroler podłączony został do programatora za pomocą płyty testowej. W tym celu wykorzystane zostało zabudowane na płycie złącze ISP (Rys. 9.3).



Rys. 9.3 Programator podłączony do płyty testowej w trakcie programowania procesora.

11. Schemat sugerowanej instalacji elektrycznej robota:

Poniższy schemat prezentuje poglądowo strukturę instalacji elektrycznej robota. Symbole oporników prezentują lokalizację ciągów SMA w obwodzie. Z kolei bloki odpowiadają poszczególnym układom robota: Kończyny; Manipulatora; Kierunku i Alarmu.



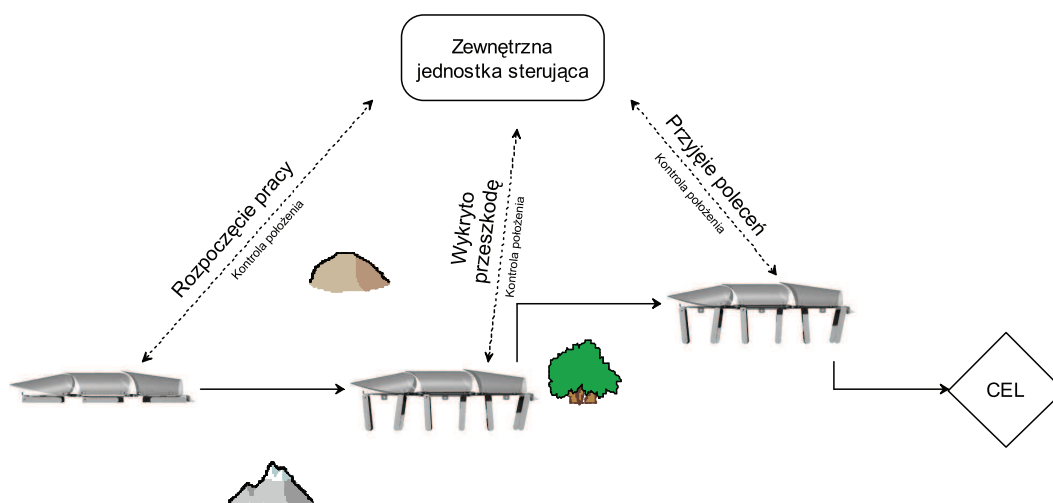
Rys. 11.1 Schemat ideowy instalacji elektrycznej robota.

12. Perspektywy rozwoju konstrukcji:

Dalszy rozwoju konstrukcji wymaga opracowania następujących rzeczy:

- Modelu matematycznego uwzględniającego charakterystykę ruchową robota,
- Układu odbiornik – nadajnik umożliwiającego wymianę danych pomiędzy sterownikiem a zewnętrzną jednostką kontrolującą pracę robota,
- Układu czujników umożliwiających konstrukcji:
 - Wykrywanie przeszkód,
 - Orientację w przestrzeni,
 - Ustalenie położenia i orientacji względem siebie potencjalnego manipulowanego przedmiotu,
- Opcjonalnie: Układu czujników umożliwiającego obserwację przez mikrokontroler stanu położenia kończyn i manipulatora.

Włączenie w konstrukcje powyższych elementów pozwoli na kontrolę i automatyzację pracy robota (Rys. 12.1). W miarę dopracowywania układu sterowania możliwe będzie zapewnienie robotowi pewnej autonomii, np. poprzez uniezależnienie od zewnętrznej jednostki sterującej w trakcie przemieszczania pomiędzy dwoma punktami przestrzeni (w takim zakresie, na jaki pozwoli wprowadzona do mikrokontrolera inteligencja maszynowa). Lub przez zdolność do zabezpieczenia swojego bezpieczeństwa w trakcie braku kontaktu z zewnętrzną jednostką sterującą.



Rys. 12.1 Idea łączności robota w trakcie pracy z zewnętrzną jednostką sterującą.

13. Podsumowanie:

1. W wyniku działań projektowych opracowana została konstrukcja robota napędzanego materiałem z efektem pamięci kształtu wraz z manipulatorem, programem sterowania ruchem oraz koncepcją układu sterowania.
2. W ramach tworzenia programu sterowania ruchem robota, zbudowany został obwód testujący wykorzystany do przeprowadzenia testu poprawności opracowanego programu.
3. Wykorzystanie w trakcie prac, oprogramowania typu CAD (CATIA), pozwoliło na:
 - a. Zminimalizowanie czasu koniecznego na zaprojektowanie konstrukcji,
 - b. Dobór parametrów geometrycznych poszczególnych parametrów konstrukcji,
 - c. Eliminację kolizji.
4. Zastosowanie oprogramowania typu CAE (MSC vNastran 4D 2004), pozwoliło na:
 - a. Analizę zachowania konstrukcji w ruchu,
 - b. Analizę sił występujących podczas pracy konstrukcji,
 - c. Wyznaczenie wartości sił niezbędnych do przeprowadzenia dalszych symulacji.
5. Zastosowanie w trakcie prac, funkcji typu CAE oprogramowania CATIA (Analiza MES), pozwoliło na:
 - a. Przeprowadzenie analizy stanu naprężeń poszczególnych elementów konstrukcji,
 - b. Zlokalizowanie newralgicznych punktów każdego z elementów,
 - c. Ustalenie parametrów niezbędnych do modyfikacji konstrukcji.
6. Wykorzystanie oprogramowania typu CAD (KiCAD), pozwoliło na:
 - a. Szybkie i poprawne opracowanie dokumentacji obwodu testowego,
 - b. Oszczędność czasu związaną z automatyzacją pracy.
7. Wykorzystanie oprogramowania typu CAD (AutoCAD), pozwoliło na:
 - a. Szybkie i poprawne opracowanie dokumentacji konstrukcji robota, zarówno jego poszczególnych części jak i złożenia,
 - b. Oszczędność czasu związaną z automatyzacją pracy.

14. Wnioski:

1. Możliwy jest dalszy rozwój konstrukcji poprzez wyposażenie go w elementy zdalnego sterowania.
2. W celu dalszego rozwoju konstrukcji, konieczne jest opracowanie modelu matematycznego uwzględniającego charakterystykę ruchu robota.
3. Zastosowane podczas procesu projektowania rozwiązania pozwalają na wyposażenie robota w układy czujników, wstępnej interpretacji wyników oraz łączności do ich dalszego przekazywania.
4. Ze względu na znaczną złożoność charakterystyki poruszania się robota, aby umożliwić sterowanie poprzez zadawanie współrzędnych punktu docelowego, do obsługi modelu odwrotnego konieczne będzie zastosowanie jednostki o dużej mocy obliczeniowej.
5. Ze względu na przyjęte założenia, konstrukcja robota nie jest przystosowana do zainstalowania w układzie w pełni samodzielnej jednostki obliczeniowej umożliwiającej mu uzyskanie pełnej autonomii w działaniu.
6. Wskazane jest wykonanie siłowników w formie sprężyn ze względu na możliwość uzyskania znacznie większych sił i skoków przy mniejszej długości i masie elementu.

15. Bibliografia:

- 1) L. A. Dobrzyński: Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe; Warszawa 2006: WNT; strony 1328-1338; ISDN 83-204-3249-9
- 2) F. Wojtku, J. P. Solcew: Materiały specjalnego przeznaczenia; Politechnika Radomska 2001; rozdział 13.2; ISDN 83-88001-77-9;
- 3) A. Ziółkowski: Pseudosprężystkość stopów z efektem pamięci kształtu badania doświadczalne i opis teoretyczny;
http://www.ippt.gov.pl/~prace/IFTR_Reports_6_2006.pdf; dostępny w sieci: 11.08.2008.
- 4) <http://pl.wikipedia.org/wiki/Nitinol>, dostępny w sieci: 13.07.2008
- 5) I. Domonik: Sterowanie liniowym napędem wykorzystującym efekt pamięci kształtu – rozprawa doktorska; Kraków 2007: AGH,
- 6) Michael W. Hannan and Ian D. Walker: Kinematics and the Implementation of an Elephant's Trunk Manipulator and other Continuum Style Robots;
http://www.ces.clemson.edu/~ianw/Hannan_Walker_JRS.pdf,
dostępny w sieci: 09.06.2008,
- 7) <http://www.ces.clemson.edu/~ianw/>; dostępny w sieci: 23.06.2008
- 8) http://pegasus.me.jhu.edu/%7Erwebster/index_files/projects/elephant_files/wam.htm,
dostępny w sieci: 14.02.2008
- 9) Qin Chang-jun, Ma Pei-sun, Yao Qin.: A prototype micro-wheeled-robot using SMA actuator; Sensors and Actuators A: Physical Volume: 113, Issue: 1, June 15, 2004, pp. 94-99
- 10) Z.W. Zhong, C.K. Yeong: Development of a gripper using SMA wire
Sensors & Actuators: A. Physical Volume: 126, Issue: 2, February 14, 2006, pp. 375-381
- 11) M. Kohl, B. Krevet, E. Just: SMA microgripper system
Sensors and Actuators A: Physical Volume: 97-98, April 1, 2002, pp. 646-652
- 12) Maria Chiara Carrozza, Alberto Arena, Dino Accoto, Arianna Menciassi, Paolo Dario:
A SMA-actuated miniature pressure regulator for a miniature robot for colonoscopy
Sensors and Actuators A: Physical Volume: 105, Issue: 2, July 15, 2003, pp. 119-131
- 13) Byungkyu Kim, Moon Gu Lee, Young Pyo Lee, YongIn Kim, GeunHo Lee:
An earthworm-like micro robot using shape memory alloy actuator
Sensors & Actuators: A. Physical Volume: 125, Issue: 2, January 10, 2006, pp. 429-437;

- 14) Zhenlong Wang, Guanrong Hang, Jian Li, Yangwei Wang, Kai Xiao:
A micro-robot fish with embedded SMA wire actuated flexible biomimetic fin
Sensors & Actuators: A. Physical Volume: 144, Issue: 2, June 15, 2008, pp. 354-360
- 15) http://www.cs.ualberta.ca/~database/MEMS/sma_mems/flap.html
dostępny w sieci: 12.06.2008.
- 16) <http://www.lech-bud.org/technologie/drewno/wlasciwosci%20drewna.html>
dostępny w sieci: 3.12.2008.
- 17) <http://triindia.co.in/shop/images/mega8.jpg> dostępny w sieci: 5.12.2008
- 18) Dokumentacja mikrokontrolera ATMEL ATMmega8-16PU
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/2486S.pdf
dostępny w sieci: 5.12.2008
- 19) Dokumentacja płyty testowej PROPOX EVBavr04
http://www.propox.com/download/docs/EVBavr04_pl.pdf; dostępny w sieci:
5.12.2008

16. Spis aplikacji wykorzystanych przy tworzeniu pracy:

- 1) CATIA v5 – Licencja AGH, Katedra Robotyki i Mechatroniki
- 2) MSC visualNastran 4D 2004 – Licencja AGH, Katedra Robotyki i Mechatroniki
- 3) WinAVR v20081205 – Licencja GNU
- 4) ISP Programmer 1.2.0.46 autorstwa Adama Dybkowskiego – Licencja Freeware
- 5) Diagram Designer 1.20 firmy MeeSoft – Licencja Freeware
- 6) KiCAD v20080825 – Licencja GNU
- 7) GIMP 2.6.3 – Licencja GNU
- 8) OpenOffice.org 3.0 – Licencja GNU
- 9) AutoCAD 2007 – Licencja Edukacyjna wystawiona na Przemysław GACIA

17. Spis załączników:

- 1) Rysunki techniczne:
 000. Widok Izometryczny
 001. Wymiary gabarytowe konstrukcji
 002. Manipulator
 003. Kończyny – Zestawienie wariantów
 004. Moduł 1
 005. Moduł 2a
 006. Moduł 2b

007. Moduł 3

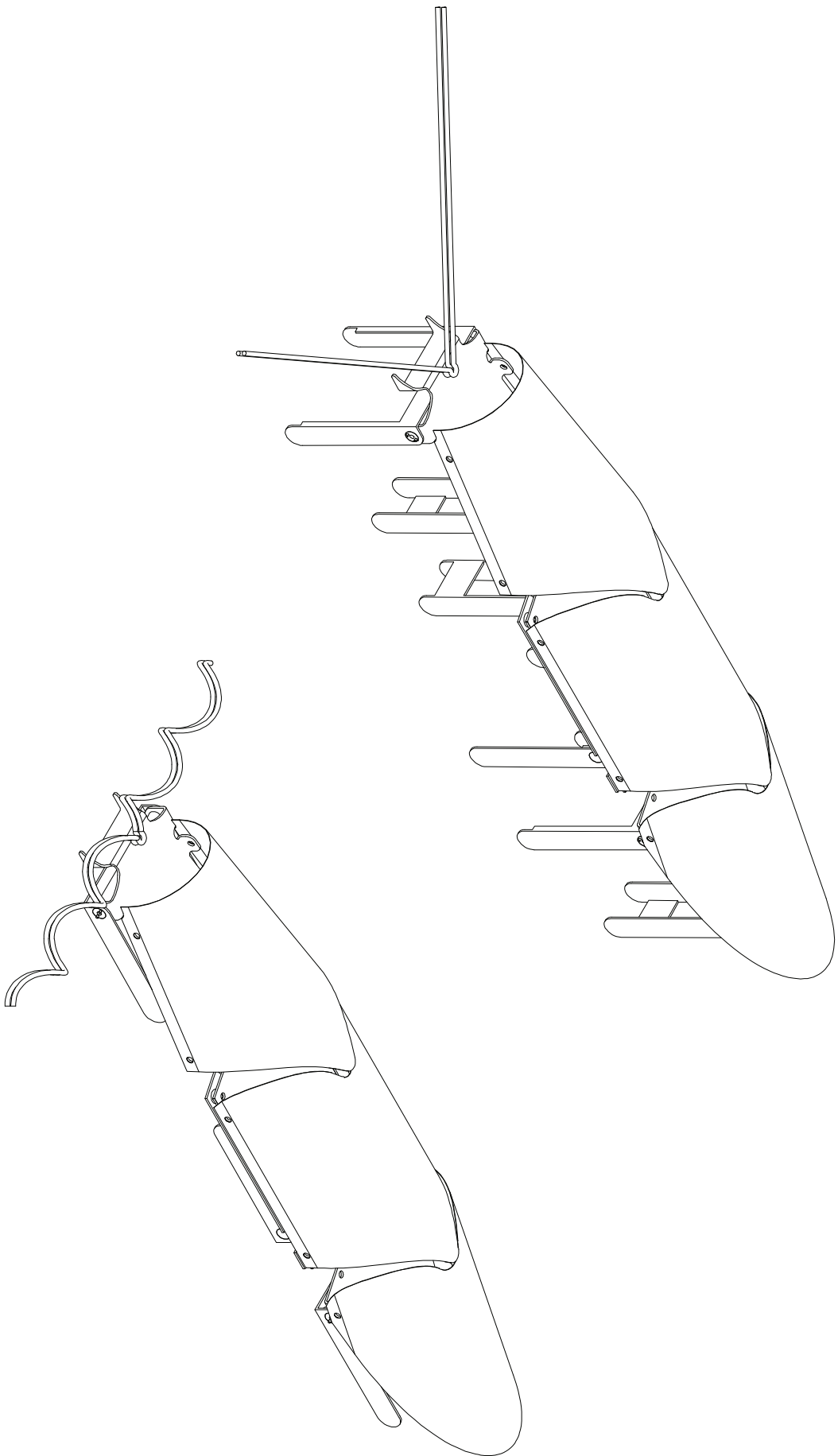
008. Poszycie 1

009. Poszycie 2

010. Poszycie 3

011. Schemat obwodu testowego

- 2) Zestawienie parametrów technicznych siłowników Nitinolowych oferowanych przez firmę SMATRPOL.



UTWORZONY PRZEZ PROGRAM EDUKACYJNY FIRMY AUTODESK

UTWORZONY PRZEZ PROGRAM EDUKACYJNY FIRMY AUTODESK

Konstruował	P. GACIA	11.01.09
Sprawdził	P. GACIA	25.01.09

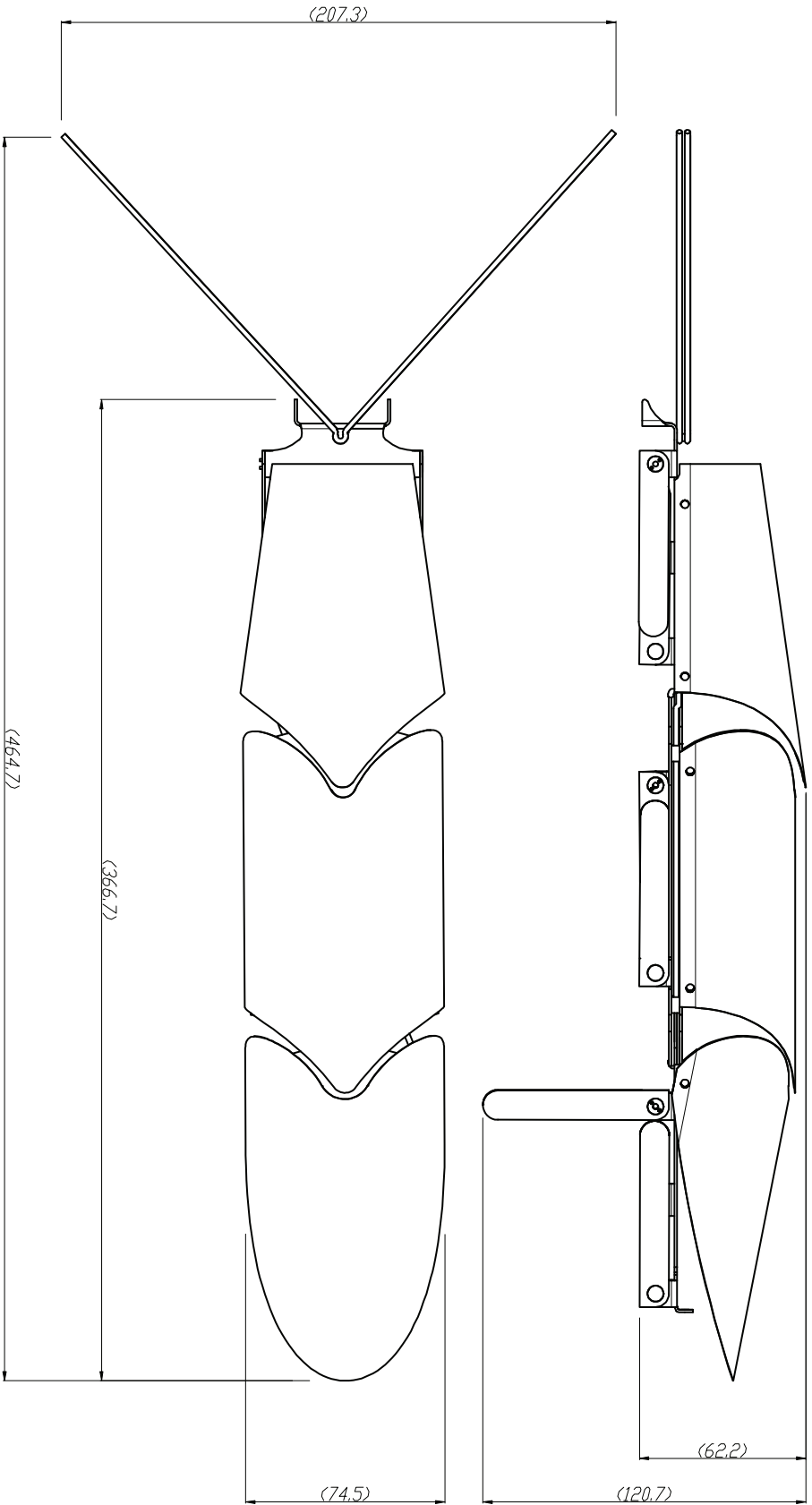
Podzielka Nazwa

AGH	Wydział	IMiR
Materiał	Masa	Nr Rysunku

-

1.2 Widok ISO

000



Konstruował	P. GON	11.01.09
Sprawdził	P. GON	25.01.09

Podpiszka Nazwa

AGH	Wydział	IMIR
-----	---------	------

Materiał Masa

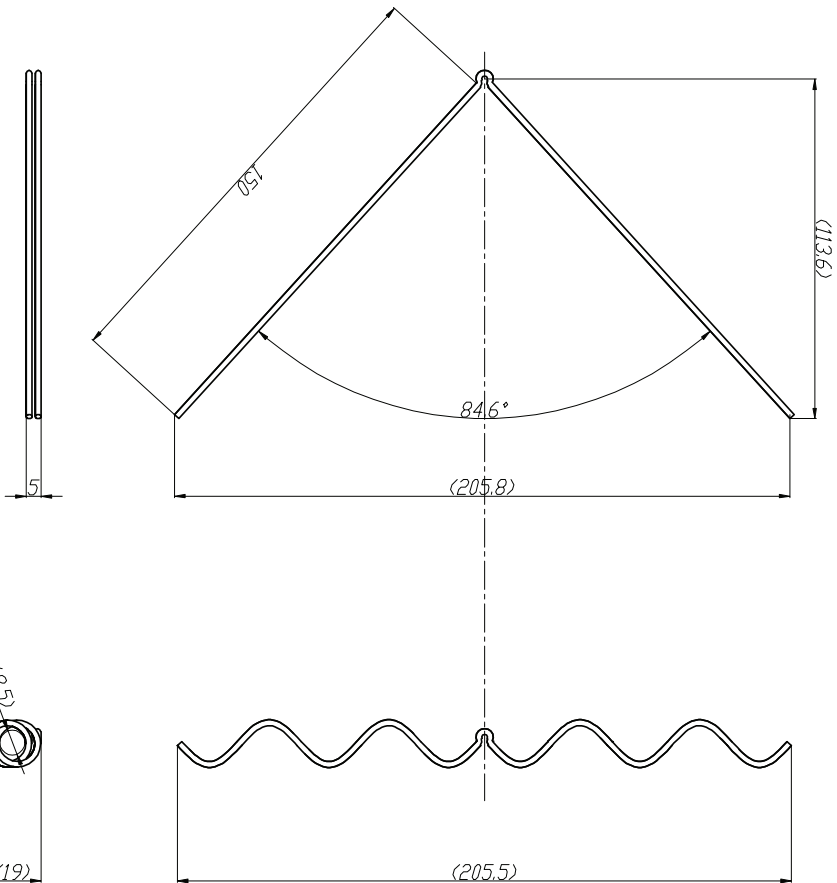
1:2

OWAD

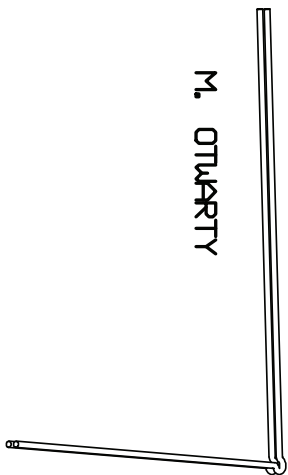
001

Nr rysunku

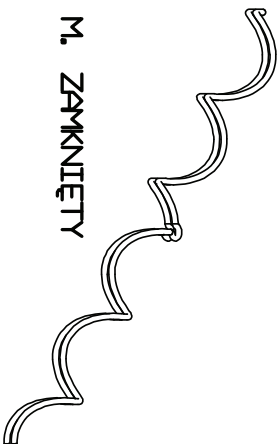
001



M. OTWARTY



M. ZAMKNIĘTY



Konstruował	P. GCM	11.01.09
Sprawił	P. GCM	25.01.09

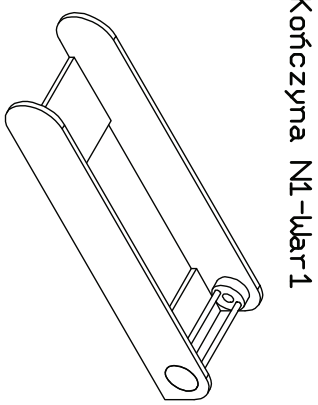
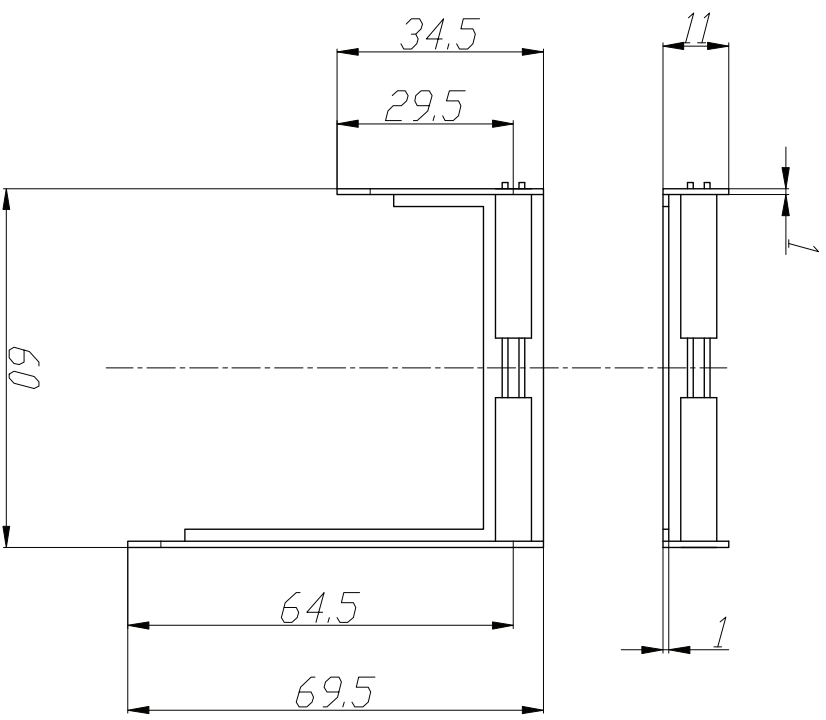
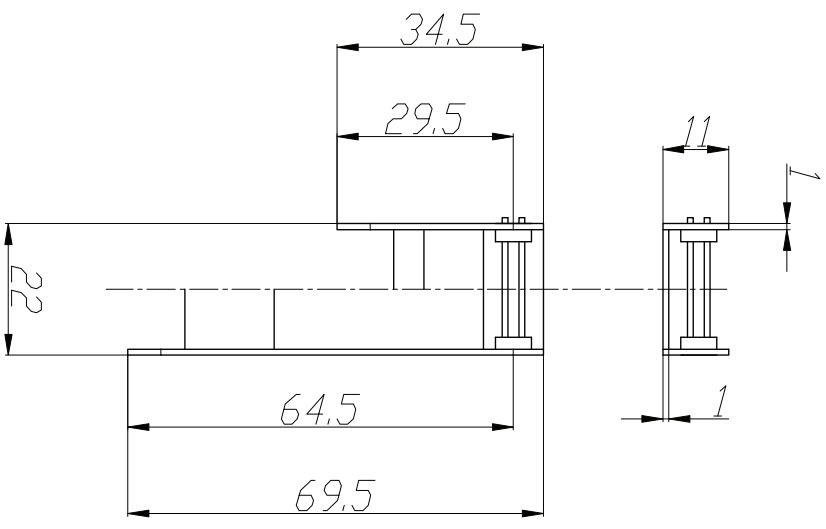
AGH	Wydział	IMIR
-----	---------	------

1:1

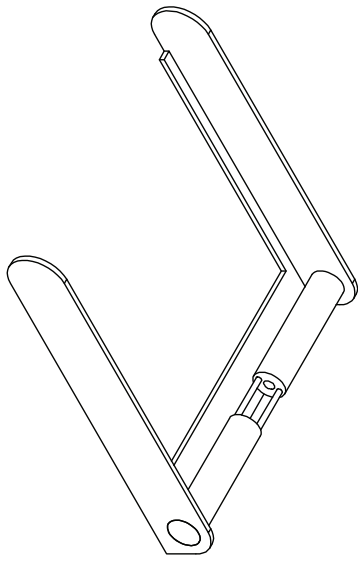
Manipulator

17.32 g

002



Kończyna N1-War1



Kończyna N2-War1

Zestawienie kończyn
Wariant 2 / Wariant 1

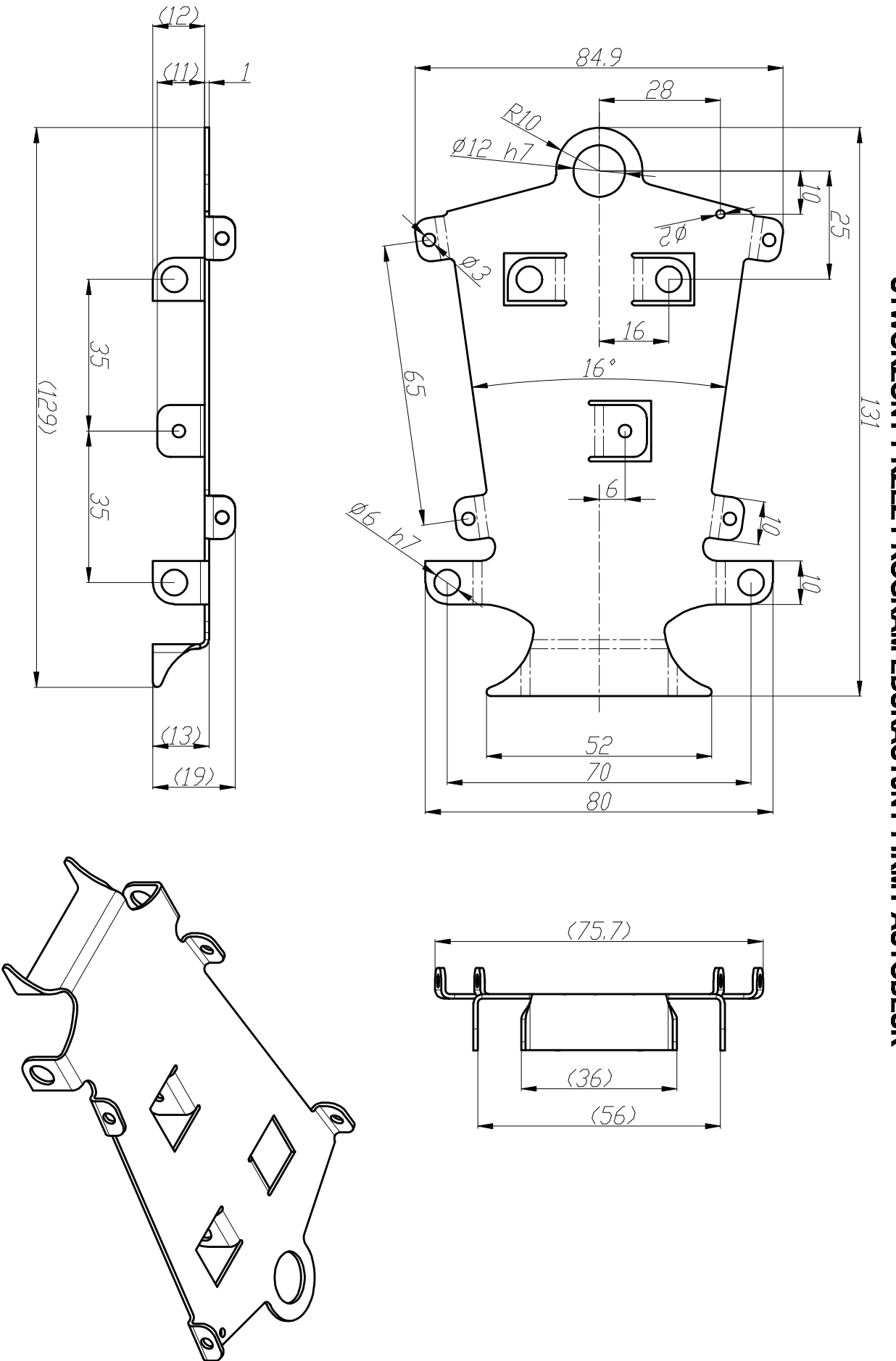
UTWORZONY PRZEZ PROGRAM EDUKACYJNY FIRMY AUTODESK

UTWORZONY PRZEZ PROGRAM EDUKACYJNY FIRMY AUTODESK

Konstruował	P. GACIA	11.01.09
Sprawdził	P. GACIA	25.01.09

Podzika	Nazwa	Materiał	Wydziel	Nr rysunku
		AGH		IMIR

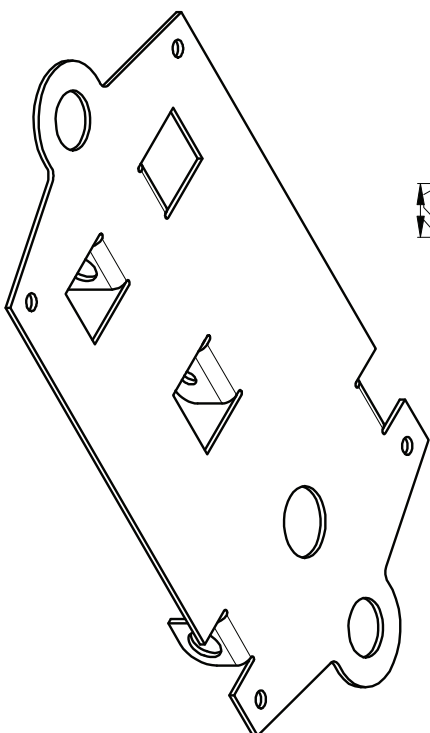
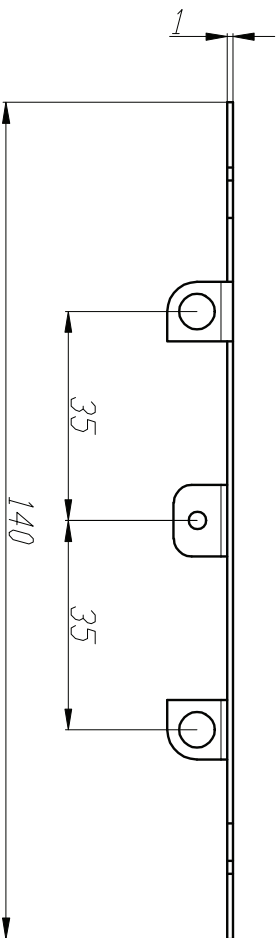
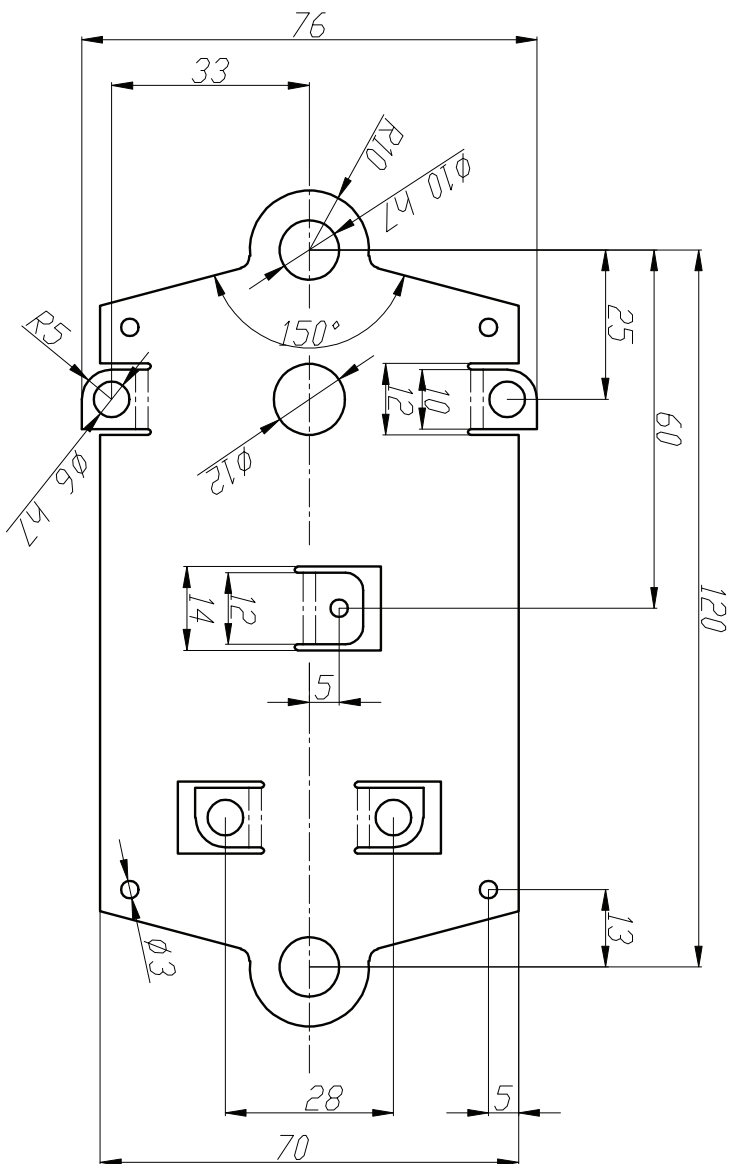
1:1 Kończyny-zestawienie
 Wymiary: 1200/1200
 1200/1200
003



Konstruował	P. GACIA	11.01.09
Sprawił	P. GACIA	25.01.09

AGH	Wydział	IMiR
-----	---------	------

Podzielka	Nazwa	Materiał	Masa	Nr. Rysunku
1:1	Moduł 1	Aluminium	18,789 g	004



Konstruował	P. GACIA	11.01.09
Sprawdził	P. GACIA	25.01.09

AGH	Wydział	IMiR
-----	---------	------

Podzielka Nazwa

Materiał

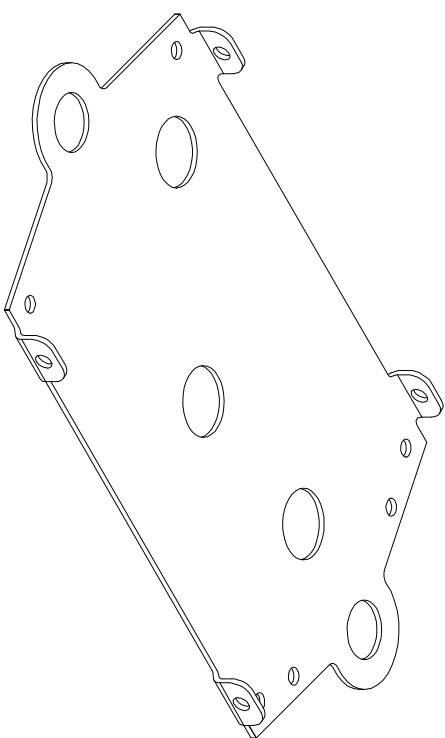
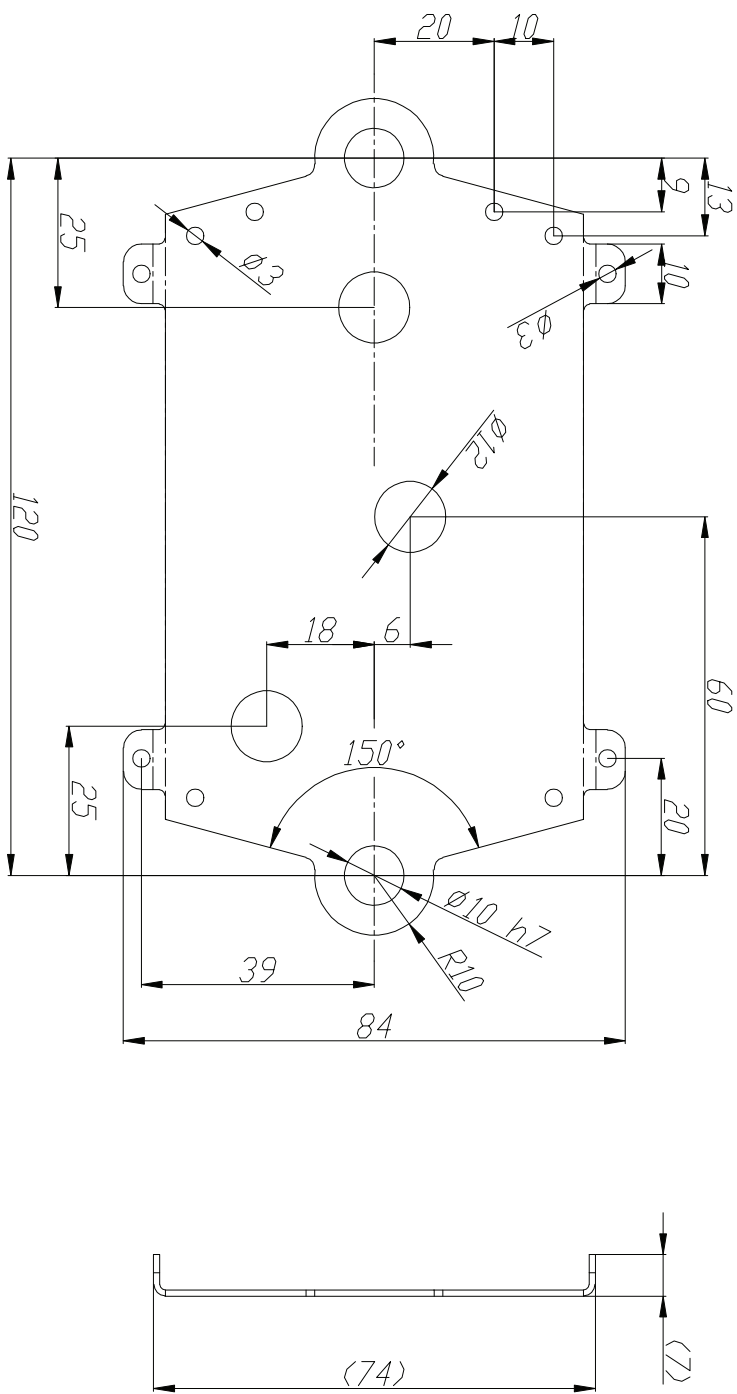
Masa

Nr Rysunku

1:1 Moduł 2a

Aluminium 20,859 g

005



Konstruował	P. GACIA	11.01.09
Sprawdził	P. GACIA	25.01.09

Podzielka Nazwa

AGH

Wydział

IMiR

Materiał

Aluminium

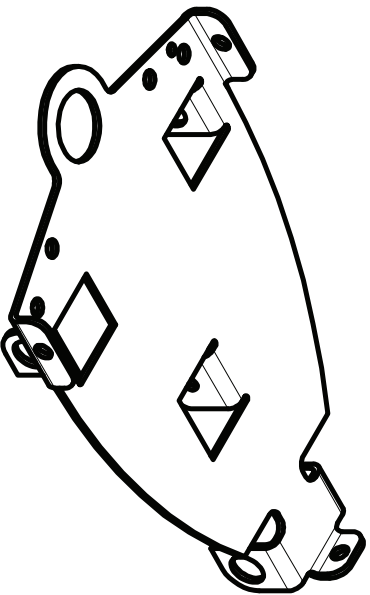
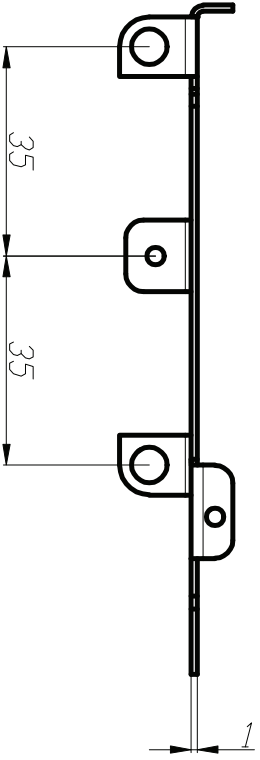
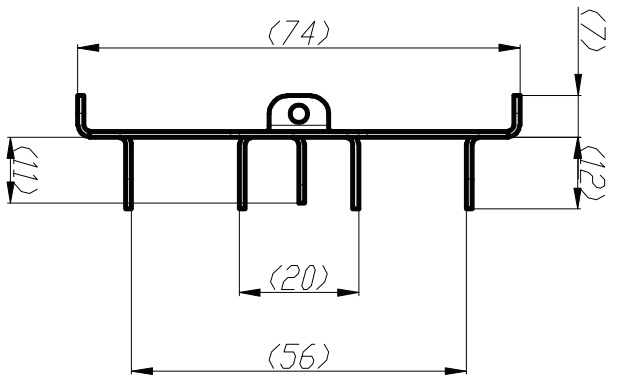
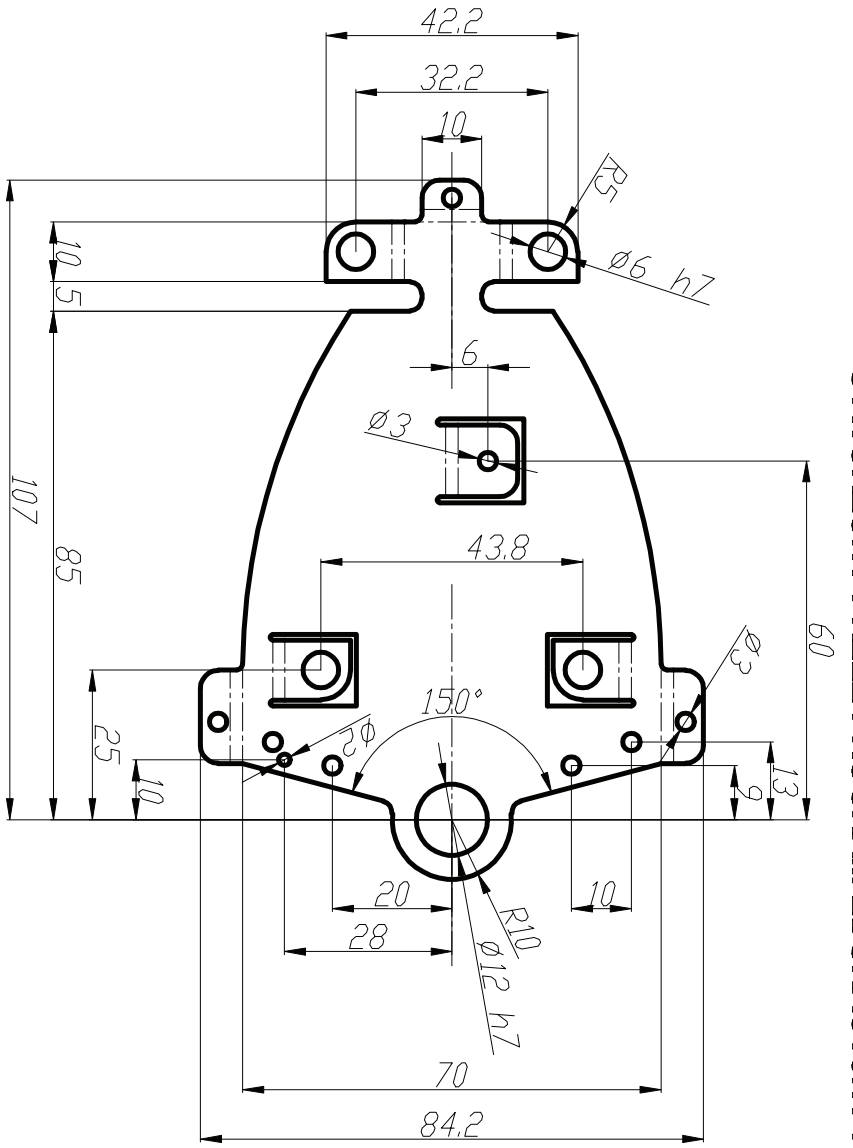
Masa

21,203 g

Nr Rysunku

006

1:1	Moduł 2b
------------	-----------------



Konstruował	P. GCM	11.01.09
Sprawdził	P. GCM	25.01.09

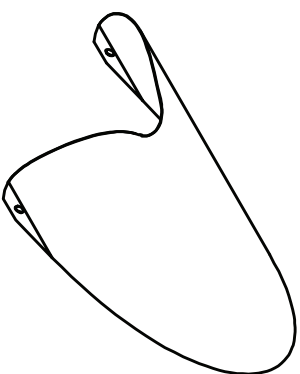
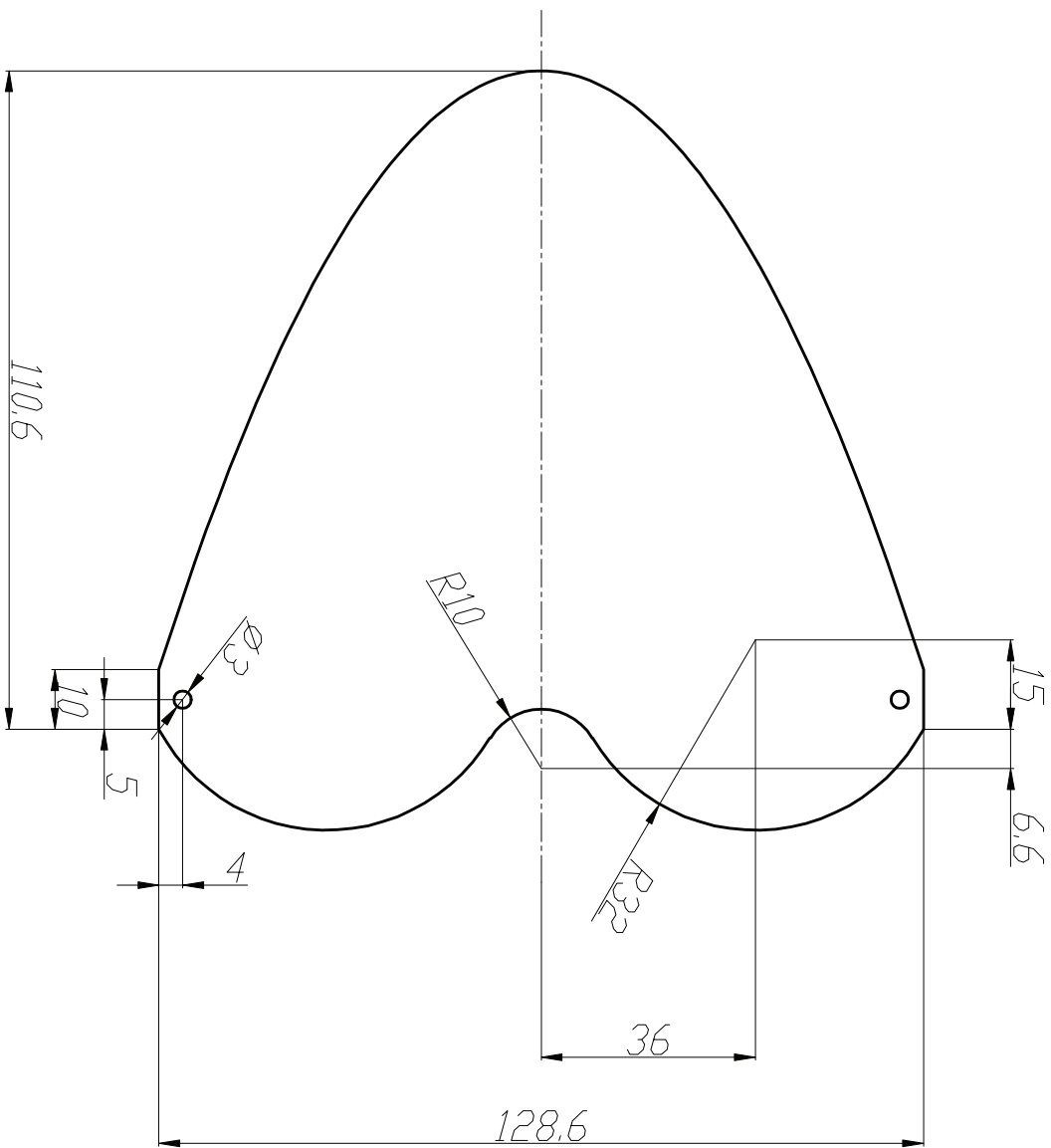
AGH	Wydział	IMiR
-----	---------	------

Podzika	Nazwa	1:1	Moduł 3
---------	-------	-----	---------

Material	Masa	14.31 g	Nr rysunku	007
----------	------	---------	------------	-----

Promień zagięcia:

R 37 mm

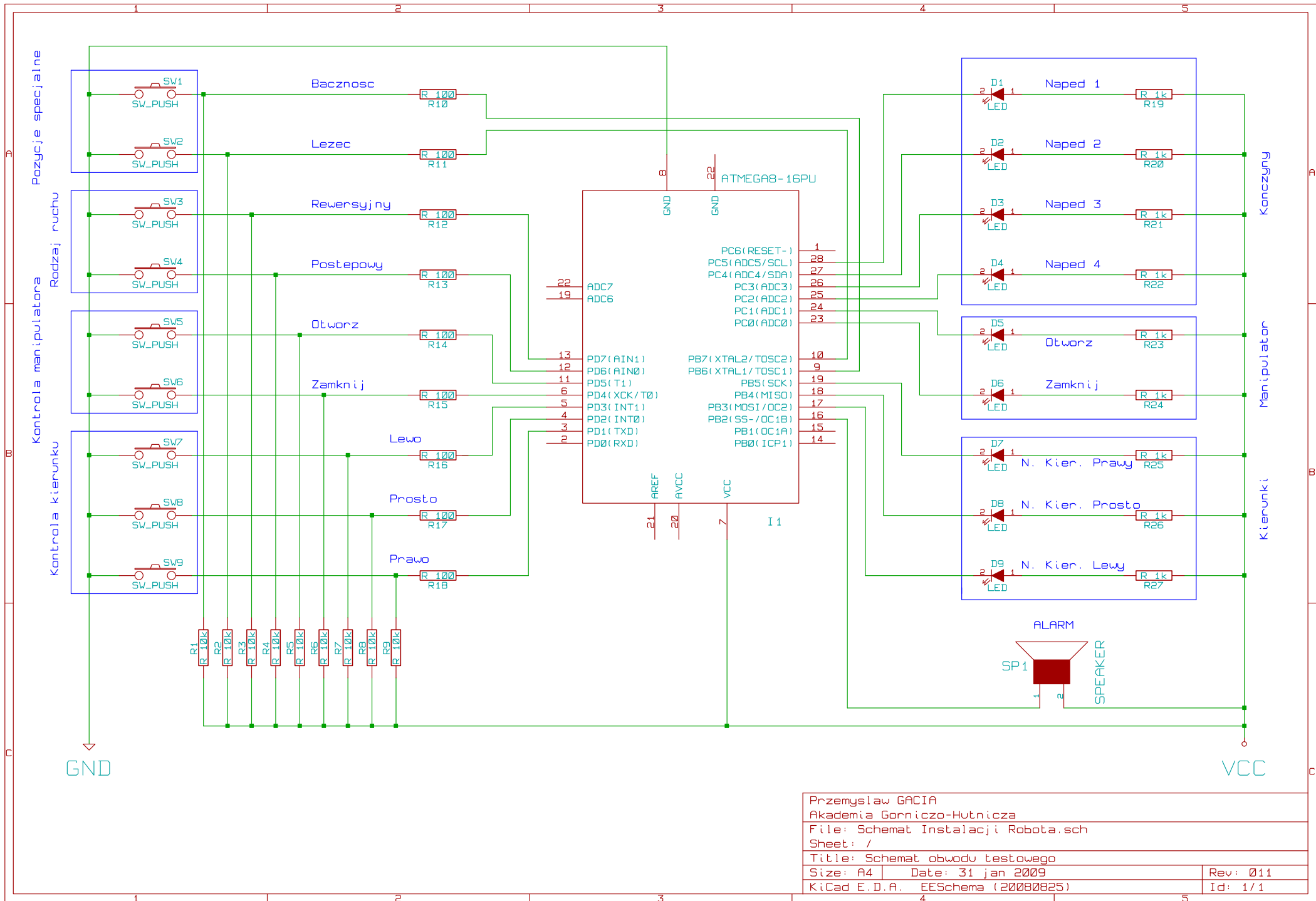


IZOMETRIA 1:2

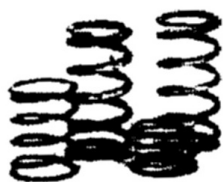
Konstruował	P. GACIA	11.01.09
Sprawdził	P. GACIA	25.01.09

AGH	Wydział	IMiR
-----	---------	------

Podzika	Nazwa	Materiał	Masa	Nr. Rysunku
1:1	Poszycie 3	Papier	1,84 g	010



Przemyslaw GACIA
 Akademia Gorniczo-Hutnicza
 File: Schemat Instalacji Robota.sch
 Sheet: /
 Title: Schemat obwodu testowego
 Size: A4 Date: 31 jan 2009 Rev: 011
 KiCad E.D.A. EESchema (20080825) Id: 1/1



SMARTPOL

materiały inteligentne

ul. Kochanowskiego 35/827

44-100 Gliwice

tel.: 032 7186124

tel. kom. : 606884964

e-mail: office@smartpol.pl

Cennik siłowników z Flexinolu

Typ siłownika	Siła uciagu [g]	Napięcie zasilające [V]	Pobór prądu [A]	Srednica [mm]	Długość [mm]	Skok [mm]	Cena netto [zł]*
F0007V015	7	1,5	0,01	0,0254	85	2,5	11,3
F0017V015	17	1,5	0,03	0,0381	60	1,8	7,3
F0035V015	35	1,5	0,05	0,0508	64	1,9	7,6
F0080V015	80	1,5	0,1	0,0762	76	2,3	8,7
F0230V015	230	1,5	0,25	0,127	85	2,5	9,4
F0330V015	330	1,5	0,4	0,1524	76	2,3	8,7
F0590V015	590	1,5	0,61	0,2032	78	2,3	8,9
F0930V015	930	1,5	1	0,254	76	2,3	8,7
F1250V015	1250	1,5	1,75	0,3048	66	2,0	8,2
F2000V015	2000	1,5	2,75	0,381	69	2,1	8,6
F3560V015	3560	1,5	4	0,508	79	2,4	10,4
F0007V030	7	3,0	0,01	0,0254	169	5,1	20,7
F0017V030	17	3,0	0,03	0,0381	121	3,6	12,6
F0035V030	35	3,0	0,05	0,0508	127	3,8	13,2
F0080V030	80	3,0	0,1	0,0762	152	4,6	15,4
F0230V030	230	3,0	0,25	0,127	169	5,1	16,9
F0330V030	330	3,0	0,4	0,1524	152	4,6	15,4
F0590V030	590	3,0	0,61	0,2032	156	4,7	15,7
F0930V030	930	3,0	1	0,254	152	4,6	15,4
F1250V030	1250	3,0	1,75	0,3048	132	4,0	15,5
F2000V030	2000	3,0	2,75	0,381	139	4,2	15,1
F3560V030	3560	3,0	4	0,508	159	4,8	18,7
F0007V045	7	4,5	0,01	0,0254	254	7,6	30,0
F0017V045	17	4,5	0,03	0,0381	181	5,4	18,0
F0035V045	35	4,5	0,05	0,0508	191	5,7	18,8
F0080V045	80	4,5	0,1	0,0762	229	6,9	22,1
F0230V045	230	4,5	0,25	0,127	254	7,6	24,3
F0330V045	330	4,5	0,4	0,1524	229	6,9	22,1
F0590V045	590	4,5	0,61	0,2032	234	7,0	22,6
F0930V045	930	4,5	1	0,254	229	6,9	22,1
F1250V045	1250	4,5	1,75	0,3048	198	5,9	20,7
F2000V045	2000	4,5	2,75	0,381	208	6,2	21,7
F3560V045	3560	4,5	4	0,508	238	7,1	27,1
F0007V060	7	6,0	0,01	0,0254	339	10,2	39,3
F0017V060	17	6,0	0,03	0,0381	242	7,3	23,3
F0035V060	35	6,0	0,05	0,0508	254	7,6	24,3
F0080V060	80	6,0	0,1	0,0762	305	9,1	28,8
F0230V060	230	6,0	0,25	0,127	339	10,2	31,8
F0330V060	330	6,0	0,4	0,1524	305	9,1	28,8
F0590V060	590	6,0	0,61	0,2032	312	9,4	29,5
F0930V060	930	6,0	1	0,254	305	9,1	28,8
F1250V060	1250	6,0	1,75	0,3048	264	7,9	27,0
F2000V060	2000	6,0	2,75	0,381	277	8,3	28,2
F3560V060	3560	6,0	4	0,508	318	9,5	35,4