



**AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA  
Im. STANISŁAWA STASZICA  
W KRAKOWIE**



---

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,  
INFORMATYKI I ELEKTRONIKI**

**Jan Biela-Abreu**

**Autonomiczny mobilny robot  
zdolny wykonywać wybrany zbiór zadań w terenie**

**Praca dyplomowa magisterska**

**Autonomical mobile robot able to perform chosen  
tasks in the selected area.**

STUDIA DZIENNE  
kierunek: **Automatyka i Robotyka**  
specjalność: **Komputerowe systemy sterowania**

**PROMOTOR**  
**dr Adrian Horzyk**

**RECENZENT**

.....

.....

Kraków, 2007r.

*Składam serdeczne podziękowania Panu  
dr Adrianowi Horzykowi za opiekę  
i pomoc przy pisaniu pracy dyplomowej  
oraz wszystkim, którzy w jakikolwiek  
sposób przyczynili się do jej powstania*

*Autor*

## SPIS TREŚCI

<b>1. WSTĘP.....</b>	<b>5</b>
<b>2. NURT MINIMALISTYCZNY- ROBOTY ‘BEAM’ .....</b>	<b>8</b>
2.1. WPROWADZENIE- PRZYSZŁOŚĆ MAŁYCH ROBOTÓW .....	8
2.2. ROBOTY ‘BEAM’ .....	9
2.3. ROBOT ‘PHOTOVORE’ .....	9
2.3.1. Źródło energii .....	10
2.3.2. Napęd.....	10
2.3.3. Działanie.....	11
2.3.4. Schemat układu.....	12
2.3.5. Wnioski.....	12
<b>3. NURT MAKSYMALISTYCZNY – DEDYKOWANE ROBOTY WYSOKIEGO POZIOMU KOMPLIKACJI NA PRZYKŁADZIE POJAZDU SOJOURNER. ....</b>	<b>14</b>
3.1. ROBOTY WYSOKIEGO POZIOMU KOMPLIKACJI .....	14
3.2. POJAZD SOJOURNER .....	14
3.2.1. Źródło energii .....	16
3.2.2. Napęd.....	17
3.2.3. Działanie.....	18
3.2.4. Wnioski.....	19
<b>4. AUTORSKA KONSTRUKCJA - ROBOT ‘LONELY EXPLORER’ .....</b>	<b>20</b>
4.1. ZAŁOŻENIA PROJEKTU .....	20
4.2. HARDWARE .....	21
4.2.1. Konstrukcja.....	21
4.2.2. Napęd.....	23
4.2.3. Moduł fotowoltaiczny z układem śledzącym.....	25
4.3. ELEKTRONIKA .....	27
4.3.1. CPU .....	28
4.3.2. Sterownik silników napędowych robota.....	30
4.3.3. Sterownik silnika panelu ,ruch góra-dół.....	32
4.3.4. Sterownik silnika panelu ,ruch obrotowy.....	33
4.3.5. Układ CHARGE PUMP .....	35
4.3.6. Układy zasilania logiki/napędu.....	36
4.3.7. Czujniki/dalmierze/krańcówki.....	37
4.4. SOFTWARE.....	40
4.4.1. Środowisko programistyczne .....	40

4.4.2.	<i>Struktura oprogramowania</i> .....	40
4.4.3.	<i>Blok funkcjonalny PANEL</i> .....	41
4.4.4.	<i>Blok funkcjonalny JAZDA</i> .....	43
<b>5.</b>	<b>EKSPERYMENTY</b> .....	<b>46</b>
5.1.	TESTY PANELU FOTOWOLTAICZNEGO ORAZ UKŁADU NADAŻNEGO.....	46
5.2.	TESTY UKŁADU JEZDNEGO.....	49
<b>6.</b>	<b>PODSUMOWANIE</b> .....	<b>51</b>
6.1.	MOŻLIWOŚCI ROZBUDOWY.....	52
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>53</b>

## 1. Wstęp

W wielu dziedzinach życia, konwencjonalne roboty mogą być za duże aby operować w dostępnej przestrzeni roboczej. Małe roboty mają dostęp do ciasnych przestrzeni, są lekkie i zużywają mniejsze ilości zasobów (mechanika, elektronika). Wykorzystywane są więc podczas akcji ratunkowych oraz poszukiwawczych, przeglądów miejsc niedostępnych bezpośrednio dla człowieka (rurociągi, studnie, miejsca skażone). Dużą niedogodnością małych robotów jest ograniczenie dostępnego miejsca przez co maleją możliwości przetwarzania oraz zbierania informacji. Niemożliwe staje się wykorzystanie rozwiązań technicznych stosowanych w większych konstrukcjach. Mimo niedogodności związanych z ww. ograniczeniami cały czas poszukuje się rozwiązań w zakresie wykorzystania małych robotów.

Celem niniejszego opracowania jest próba syntezy dwóch, rozwijających się w przeciwnych kierunkach, nurtów projektowania małych robotów. Syntezę zrealizowano poprzez porównanie obu kierunków i próbę połączenia najbardziej pożądanых cech w realizacji modelu trójkołowej platformy mobilnej. Czynniki o największym znaczeniu przy porównaniu są optymalizacja dostarczanej energii oraz stopień skomplikowania układu (z czego bezpośrednio wynika kolejny parametr – niezawodność). Wybór ww. czynników jako kluczowych uwarunkowany jest ich wysokim priorytetem. Celem pracy jest skonstruowanie robota, który łączyłby oba nurty projektowania robotów. Byłby stabilny energetycznie i jednocześnie autonomiczny, prosty w budowie przy możliwie jak największej funkcjonalności i niezawodności. Aby rozpocząć projektowanie i budowę urządzenia należy przyjąć pewne założenia co do branych pod uwagę parametrów.

Energia układu jest podstawowym parametrem brany pod uwagę podczas projektowania autonomicznego robota. Zużywanie dużych ilości energii w krótkim czasie, bez możliwości odzyskania choć części, dyskwalifikuje konstrukcję jako autonomiczną. Ograniczone możliwości przechowywania energii (np. ciężar akumulatorów, gabaryty) zmuszają projektantów do minimalizowania zużywanej przez roboty energii, aby wydłużyć czas ich działania do maksimum. Niektóre konstrukcje wykorzystują również dodatkowe elementy wspomagające bilans energetyczny. Najbardziej popularnym rozwiązaniem jest zastosowanie paneli słonecznych.

Dodatkowe źródło prądu w postaci ogniwa fotowoltaicznego pomagające zaspokoić bieżące potrzeby urządzenia lub ładujące akumulatory pomaga wydłużyć bezobsługowy czas pracy robota. Minusem tego typu rozwiązań jest niestety niska sprawność ogniw fotowoltaicznych w przetwarzaniu energii słonecznej na elektryczną. Wynosi ona obecnie od 7-20% w zależności od zastosowanej technologii i odmiany użytego krzemu. Problemem może być również wzrost wagi robota obciążonej dodatkowo ogniwami oraz dostępność miejsc na robocie w których takie ogniwa można byłoby umieścić.

Stopień skomplikowania układu stanowi drugi współczynnik ważny przy ocenie i ostatecznym wyborze konkretnego rozwiązania. Zaprojektowanie bardzo skomplikowanego mechanicznie lub elektronicznie elementu dla projektowanego urządzenia przyczynia się do wzrostu nakładów i generuje dodatkowe ryzyko związane ze spadkiem niezawodności (im bardziej urządzenie jest skomplikowane, tym większe prawdopodobieństwo, iż zawiedzie jeden z podzespołów). Użycie zbyt prostego rozwiązania może przyczynić się do spadku funkcjonalności i w rezultacie obniżyć efektywność pracy całego urządzenia.

W oparciu o oba ww. nurty projektowania robotów, biorąc pod uwagę jako kluczowe ww. czynniki, zaprojektowano i zbudowano model samowystarczalnego energetycznie pojazdu mogącego przez długi czas pracować autonomicznie i wykonywać przydzielone mu zadania.

W rozdziale 2 opisano pierwszy kierunek projektowania robotów oparty o styl projektowania 'BEAM' (*B*iology, *E*lectronics, *A*esthetics, and *M*echanics – Biologia, Elektronika, Asceza i Mechanika<sup>1</sup>). Styl 'BEAM' oznacza projektowanie robotów przy użyciu elementów analogowych, przy maksymalnym uproszczeniu konstrukcji elektronicznej, bez wykorzystania mikrokontrolerów<sup>2</sup>.

W rozdziale 3 opisano przeciwne podejście do projektowania robotów polegające na projektowaniu wysoce wyspecjalizowanych urządzeń, dedykowanych do danego typu zadania. Są to roboty o wysokim stopniu skomplikowania, kosztowne w zaprojektowaniu i wykonaniu oraz zużywające duże ilości energii. Jako przykładową

---

<sup>1</sup> Źródło tłumaczenia - Wikipedia® (<http://www.wikipedia.pl>)

<sup>2</sup> patrz [1]

konstrukcję dla tego typu projektowania robotów opisano zgrubnie pojazd ‘Sojourner’<sup>3</sup> - zaprojektowany przez NASA na potrzebę bezzałogowego lotu na Marsa w 1997 roku.

Rozdział 4 zawiera opis właściwego robota wraz ze schematami elektrycznymi oraz opisem programu. Prace przy tworzeniu robota można podzielić następująco:

- Prace mechaniczne:  
Polegają na zaprojektowaniu i wykonaniu trójkołowej platformy z dwoma kołami napędowymi, wykonanie osłon na elementy elektroniczne, elementów wspierających czujniki oraz w późniejszej fazie wykonanie obrotowej podstawy dla używanego w robocie panelu słonecznego własnej konstrukcji. Ze względu na ograniczony budżet przedsięwzięcia część mechaniczną stworzono samodzielnie przy użyciu złomu komputerowego, przez co może odbiegać jakościowo od ogólnie przyjętych standardów.
- Prace elektryczne/elektroniczne:  
Polegają na zaprojektowaniu i wykonaniu połączeń między poszczególnymi urządzeniami wykonawczymi oraz płytek drukowanych sterowników poszczególnych urządzeń wraz z elementami elektronicznymi. Płytki zaprojektowano i wykonano samodzielnie wykorzystując wersję demonstracyjną oprogramowania ‘Eagle Layout Editor’<sup>4</sup>.
- Prace programistyczne:  
Polegają na stworzeniu na mikrokontroler Atmega16 (będący sercem robota) oprogramowania sterującego pracą platformy mobilnej. Oprogramowanie odpowiada za przepływ danych między czujnikami a elementami wykonawczymi. Zawiera również algorytmy optymalizacji energii robota. Software napisano w języku basic dla mikrokontrolerów w wersji demonstracyjnej programu ‘Bascom AVR’<sup>5</sup>.

Rozdział 5 zawiera testy przeprowadzone na gotowej platformie. Przetestowano dogłębnie działanie programu, procedury optymalizacji energii i poruszania się platformy.

W rozdziale 6 zawarte są wnioski z wykonanej pracy i przeprowadzonych testów oraz ewentualne dalsze plany rozwojowe dla projektu.

---

<sup>3</sup> patrz [2]

<sup>4</sup> Oprogramowanie ‘Eagle Layout Editor’ znaleźć można na stronie producenta: <http://www.cadsoft.de/>

<sup>5</sup> Oprogramowanie ‘Bascom AVR’ znaleźć można na stronie producenta: <http://www.mcselec.com/>

## **2. Nurt minimalistyczny- roboty ‘BEAM’**

### **2.1. Wprowadzenie- przyszłość małych robotów**

Książki i filmy o charakterze science-fiction pozwalają nam dostrzec wykorzystanie mini robotów (oraz ich zespołów) w przyszłości. Spodziewany postęp pozwala stwierdzić, że wkrótce mini roboty dostępne będą w każdej dziedzinie naszego życia. Spodziewamy się, że roboty będą sprzątać nasze mieszkania, strzyc trawniki i zajmować się dziećmi. W przemyśle małe roboty będą badać urządzenia, składać części oraz przenosić komponenty. W ratownictwie roboty brać będą udział w lokalizowaniu potencjalnych niebezpieczeństw oraz znajdować ofiary kataklizmów. Spodziewamy się również robotów podróżujących w naszych krwiobiegach, lokalizujących i być może odbudowujących uszkodzone tkanki.

Małe roboty są tańsze i bardziej niezawodne (poprzez mniejszy stopień skomplikowania). Mniejsza waga i ilość zużytego do budowy materiału oznacza niższe koszty budowy. Za cenę jednego dużego robota będziemy w stanie zbudować całą drużynę małych odpowiedników. Pojedyncze zadanie będzie mogło zostać przyporządkowane całej grupie. Jeżeli więc jeden z robotów ulegnie uszkodzeniu, pozostałe będą mogły dalej wykonywać przydzielone zadanie. Miniaturyzacja robotów zmieni również sposób podejścia do konkretnych zadań. Przykładowo zamiast dużego autonomicznego odkurzacza, który nie poradzi sobie z zakamarkami domu, do pracy będziemy mogli przydzielić armię robotów wielkości mrówki, które będą w stanie oczyścić dom z najmniejszych nawet cząstek kurzu.

W rzeczywistości nadal istnieje duża rozbieżność między aktualnymi możliwościami małych robotów a naszymi oczekiwaniami. Małe roboty są wciąż ograniczone ilością dostępnego dla urządzeń miejsca oraz posiadanymi zasobami energetycznymi. Duży nacisk na rozwój tej dziedziny robotyki oraz postęp miniaturyzacji, pozwala jednak przypuszczać, że w ciągu najbliższych lat będziemy świadkami dynamicznych zmian w robotyce, a w szczególności w skali mikro i nano.



## 2.2. Roboty ‘BEAM’

Główną ideą robotów ‘BEAM’<sup>6</sup> jest autonomiczne działanie bez pomocy człowieka przez długi czas. Układ elektroniczny w robotach tego typu symuluje zachowanie biologicznego neuronu<sup>7</sup>. Roboty ‘BEAM’ budowane są więc na zasadzie wielu prostych zachowań łączących sensory z układami wykonawczymi. Za twórcę robotów ‘BEAM’ uważa się Marka W. Tildena, wybitnego specjalistę w dziedzinie robotyki. Roboty ‘BEAM’ spełniają, stworzone przez Tildena, prawa:

### 1. Robot musi chronić swoje istnienie za wszelką cenę.

Roboty Tildena wyposażone są zwykle w wąsy zamontowane na mikroprzyciskach, wyłączające selektywnie odpowiednie silniki, zapewniając w ten sposób możliwość omijania przeszkód.

### 2. Robot musi uzyskać i utrzymać dostęp do źródła energii.

Najpewniejszym źródłem energii dla robota jest energia słoneczna. Wyposażenie tych robotów w moduły fotowoltaiczne daje pewną przewagę nad istotami żyjącymi, ponieważ energia słoneczna przetwarzana jest bezpośrednio na energię elektryczną i ruch robota, bez udziału skomplikowanych reakcji chemicznych.

### 3. Robot musi nieustannie poszukiwać lepszego źródła energii.

Zamontowane na robotach fotorezystory lub fotodiody pozwalają na nieustanny ruch w stronę bardziej oświetlonego a więc energetycznie bogatszego terenu. Roboty ‘BEAM’ są więc pewnego rodzaju odpowiednikiem najniższych form życia, skupionymi na pozyskiwaniu energii, bez wyższych celów i zadań.

Przykładem konstrukcji w stylu projektowania ‘BEAM’ jest robot ‘Photovore’.

## 2.3. Robot ‘Photovore’<sup>8</sup>

Robot ‘Photovore’ jest autonomicznym robotem dwukołowym autorstwa Stevena Bolt’a, potrafiącym funkcjonować bez pomocy człowieka przez tygodnie a nawet

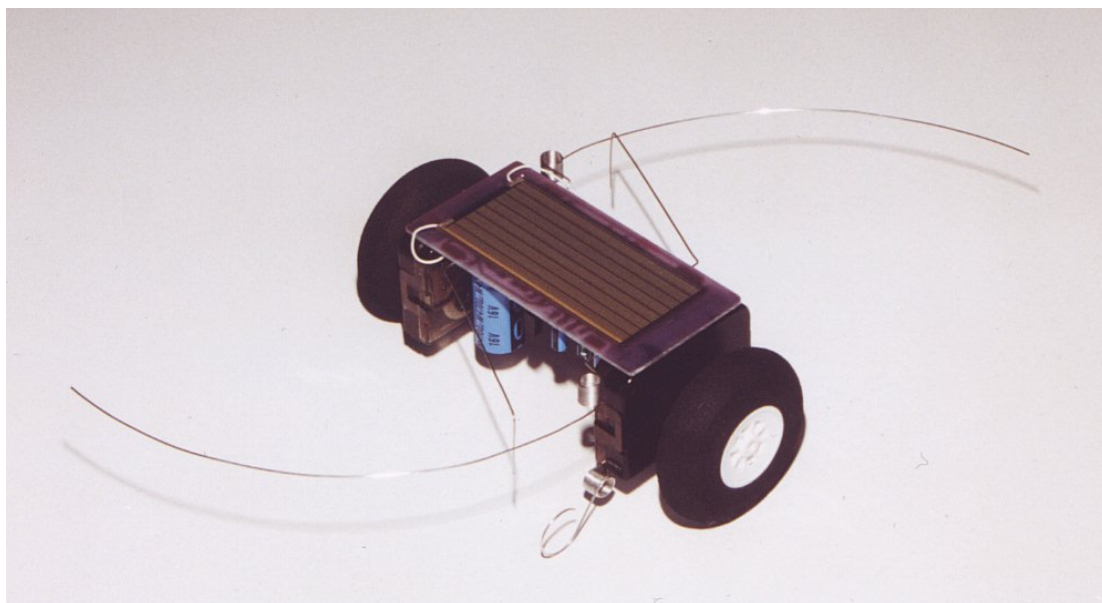
---

<sup>6</sup> patrz [3]

<sup>7</sup> patrz [4]

<sup>8</sup> Materiały zamieszczono za zgodą autora Stephena Bolta (<http://www.xs4all.nl/~sbolt/e-index.html>)  
patrz [5]

miesiące. Został zbudowany zgodnie z założeniami Tildena<sup>9</sup>, a jego główną zaletą jest minimalne zużycie energii.



Rysunek 1. Robot 'Photovore'

### 2.3.1. Źródło energii

Zgodnie z teorią Tildena, robot powinien być energetycznie niezależny, mieć stały dostęp do źródła energii. Najprostsze konstrukcje nie posiadają akumulatorów, a źródłem energii dla robota jest moduł fotowoltaiczny. 'Photovore' wyposażony jest w moduł słoneczny wielkości 1,6 x 3,1 cala firmy Panasonic o napięciu nominalnym 3,2V. Moduł taki posiada moc 3-5mW przy natężeniu prądu dostarczanego na poziomie 2mA.

### 2.3.2. Napęd

Napęd robota stanowią dwa miniaturowe silniki krokowe wraz z całym mechanizmem, pozyskane z budzików. Pozwala to, przy minimalnym poborze prądu (ok. 1mA), na ruch z prędkością 2 cali na minutę. Jest to ślimacze tempo, jednak

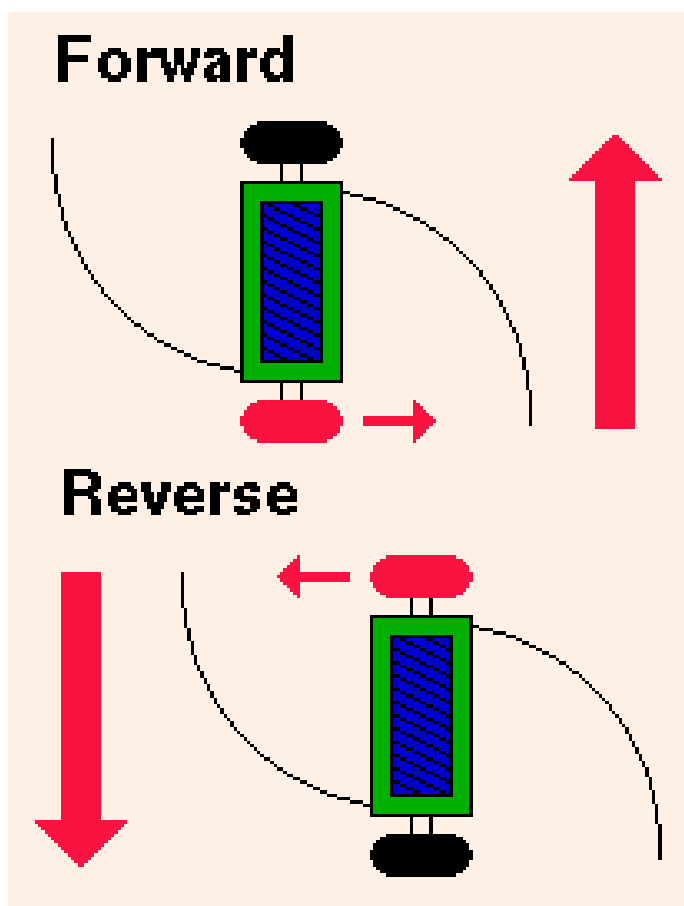
---

<sup>9</sup> patrz [6]

poprzez tak niskie zużycie energii robot jest w stanie poruszać się nawet przy niewielkim oświetleniu.

### 2.3.3. Działanie

‘Photovore’ zbudowany jest z naciskiem na oszczędność energii i prostotę. Jedynym zadaniem tego robota jest poszukiwanie jak najlepszego źródła światła. ‘Mózgiem’ robota ‘Photovore’ są 2 bramki NAND oraz 6 inwerterów (układy 74HC00). Oczami robota są dwie fotodiody. Silniki napędowe załączane są na zmianę, tak aby nie stracić z ‘oczu’ źródła światła. Rysunek 2 obrazuje sposób poruszania się robota przy jeździe w przód i w tył.



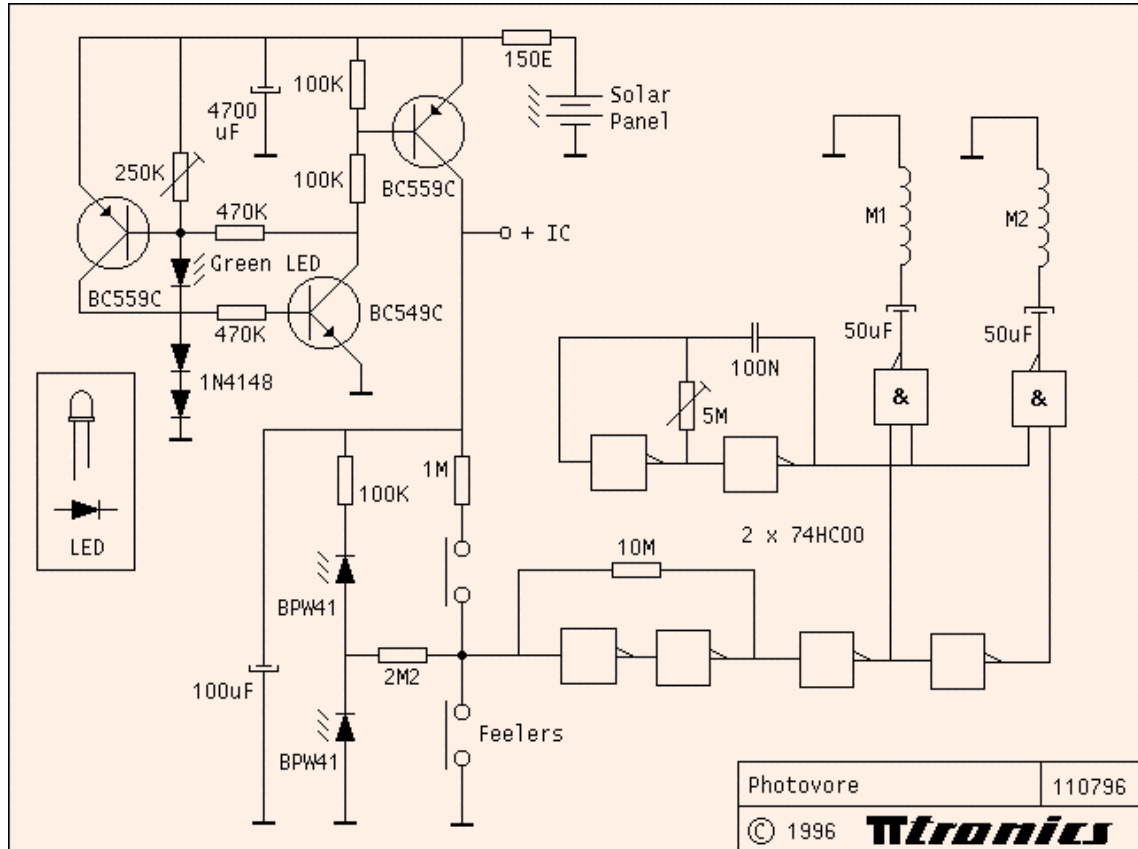
Rysunek 2. Sposób poruszania się robota ‘Photovore’

Robot wyposażony jest również w dwa czujniki dotykowe, pozwalające omijać napotkane przeszkody. Czujniki dotykowe mają wyższy priorytet niż fotodiody. Robot

będzie chciał więc najpierw wydostać się z opresji, a dopiero później kontynuować poszukiwania źródła światła.

### 2.3.4. Schemat układu

Na rysunku 3 przedstawiono schemat elektryczny robota 'Photovore'.



Rysunek 3. Schemat elektryczny robota 'Photovore'

Dwa kondensatory, o pojemności 50 $\mu$ F każdy, dokonują konwersji sygnału z oscylatora na impulsy sterujące dla silników krokowych. Układ oparty na 3 tranzystorach uruchamia robota w momencie gdy panel słoneczny naładuje kondensator ( 4700 $\mu$ F) do napięcia 2,7V oraz wyłącza gdy napięcie spadnie poniżej 2,2V. Diody 1N4148 oraz tranzystor BC559C ograniczają do 4V napięcie dostarczane przez panel słoneczny.

### 2.3.5. Wnioski

Robot 'Photovore' jest charakterystyczną dla 'BEAM' konstrukcją, która spełnia założenia tego stylu projektowania. Mimo niewielkich rozmiarów, użyciu podstawowej

sensoryki oraz braku większych magazynów energii, robot ten jest w stanie przetrwać bez pomocy człowieka przez dłuższy okres czasu. Jako przedstawiciela robotów ‘BEAM’, czyni go to ważnym ogniwem na drodze ewolucji robotów autonomicznych.

### **3. Nurt maksymalistyczny – dedykowane roboty wysokiego poziomu komplikacji na przykładzie pojazdu Sojourner.**

#### **3.1. Roboty wysokiego poziomu komplikacji**

Obecny stopień rozwoju w pełni autonomicznych nieskomplikowanych robotów wywodzących się z nurtu ‘BEAM’ nie pozwala nam ich jeszcze wykorzystywać w eksploracji miejsc wymagających, a z pewnością nie pozwala zbierać na danym terenie informacji i wykonywać jakichkolwiek zadań. Minie jeszcze sporo czasu zanim autonomiczne roboty wysyłane będą w najdalsze zakątki wszechświata, by tam, przystosowując się wstępnie do panujących warunków dokonywać samodzielnie pomiarów i przeszukiwać miejsca do których człowiek nie będzie mógł mieć nigdy dostępu. Na dzień dzisiejszy misje takie powierzane są pojazdom o wysokim stopniu komplikacji, dedykowanym dla danych warunków atmosferycznych oraz o skończonych zasobach energii. Przykładem tego typu pojazdu jest robot ‘Sojourner’, zbudowany na potrzeby misji na Marsa ‘Pathfinder’<sup>10</sup>.

#### **3.2. Pojazd Sojourner<sup>11</sup>**

Sojourner to ważący 11,4 kg , sześciokołowiec zbudowany i użyty podczas misji na Marsa - Pathfinder w 1997 roku. Jest to dedykowany robot najwyższej jakości w którym zastosowano najlepsze dostępne w XX wieku technologie i rozwiązania konstrukcyjne. Pojazd w trybie pracy ma 280mm wysokości, prześwit 180mm, długość 630mm, szerokość 480mm (patrz rys.4) Ograniczone miejsce w ładowniku nie pozwala na taką wysokość, pojazd w trybie transportu osiada więc na korpusie, co pozwala mu zaoszczędzić 100mm wysokości (patrz rys.5). Jest to urządzenie niepowtarzalne i nie zamierza się wprowadzić go do masowej produkcji z uwagi na ściśle zadaniowe

---

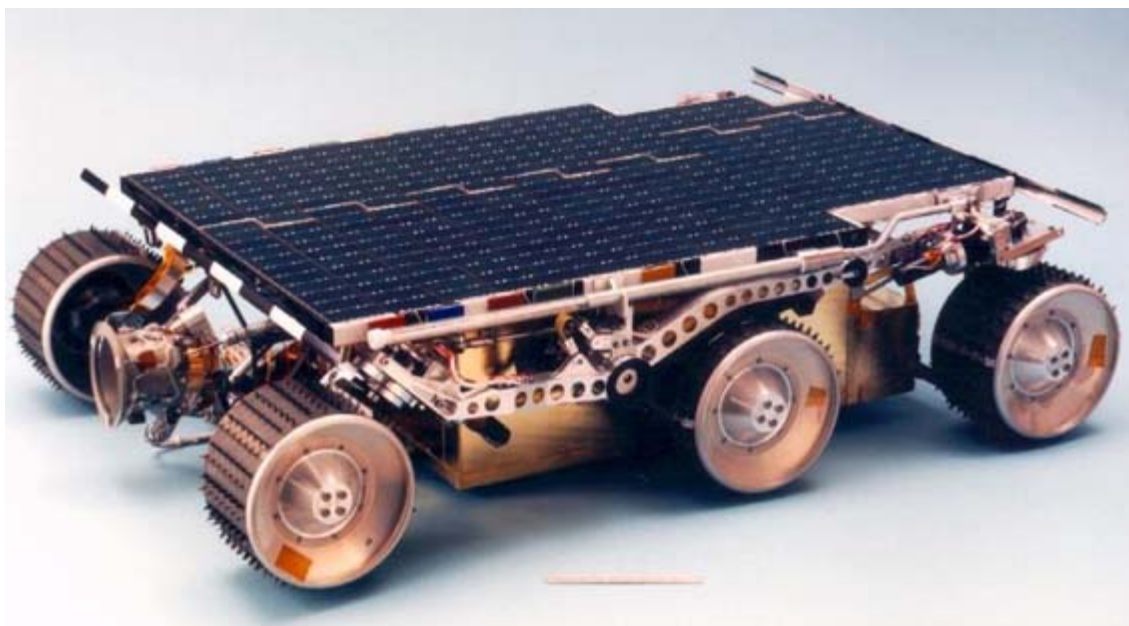
<sup>10</sup> patrz [7]

<sup>11</sup> patrz [2]

podejście projektowe. Zaprojektowany został z myślą o wykonaniu podczas misji konkretnie określonych zadań i przeprowadzeniu założonych wcześniej testów.



**Rysunek 4. Pojazd Sojourner w trybie pracy**



Rysunek 5. Pojazd Sojourner w trybie transportu

### 3.2.1. Źródło energii

Głównym źródłem energii dla pojazdu Sojourner jest matryca ultralekkich baterii słonecznych. 234 miniaturowe ogniwa połączone ciągami równoległe produkują szczytową moc 16 W. Moc taka wystarczy do zasilania wszystkich potrzebnych układów pojazdu i normalne funkcjonowanie. Tabela 1 przedstawia najważniejsze informacje na temat zastosowanego modułu solarnego.

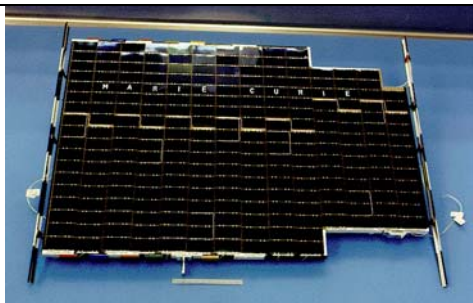
	<p><b>Ogniwo fotowoltaiczne</b>            Typ: Arsenek Galu + Arsenek (Ga/As As)            Wymiary: 2 x 4 cm, 5.5 mil grubości            Sprawność: &gt;18%</p>
	<p><b>Moduł solarny</b>            Konfiguracja: 13 równoległych ciągów,            18 ogniw szeregowo na każdy ciąg            Moc: 16,5W w marsjańskie południe            Napięcie: 14-18 V            Waga: 0.340 kg            Powierzchnia pracy: 0.22 m<sup>2</sup>            Temperatura pracy: -140 do +110 C</p>

Tabela 1. Parametry modułu solarnego i ogniw użytych do jego budowy

Zapasowym źródłem zasilania dla Sojournera w przypadku zbyt małej ilości docierającego do ogniwa światła jest matryca baterii. Baterie stanowią również zabezpieczenie w razie awarii ogniwa. Ich pojemność jest tak obliczona iż podstawowe



zakładane cele misji mogą zostać wykonane przy wykorzystaniu tylko i wyłącznie baterii, bez użycia panelu fotowoltaicznego. Dużym minusem baterii jest brak możliwości ładowania, podczas normalnej pracy pojazdu są więc wykorzystywane bardzo rzadko. Tabela 2 przedstawia najważniejsze informacje na temat zastosowanych baterii.

	<p><b>Ogniwa</b>          Skład: Lithium-Thionyl Chloride          Rozmiar: D          Waga: 118 gram          Pojemność: +25C 12 Ah                            -20C 8 Ah</p> <p><b>Baterie</b>          Ilość: 3          Ogniwo na baterię: 3 szeregowo          Wymiary: 40 mm śr., 186 mm dł          Napięcie: 8-11 V          Waga: 1.24 kg</p>
---	---

Tabela 2. Parametry baterii

### 3.2.2. Napęd

Pojazd posiada 6 odrębnych kół, każde z nich napędzane jest silnikiem DC firmy Maxon poprzez przekładnię planetarną firmy Globe o przełożeniu 2000:1. Pozwala to na osiągnięcie dobrego momentu i spokojną jazdę po niepewnym terenie (np. luźny piasek). Przednie i tylne koła sterowane są niezależnie, czyniąc Sojournera na tyle zwrotnym aby mógł on zawracać w miejscu. Prędkość maksymalna to 0,4m/min. Układ napędowy przystosowany jest do funkcjonowania w temperaturach powyżej -80C. Tabela 3 przedstawia najważniejsze informacje dotyczące zastosowanych jednostek napędowych


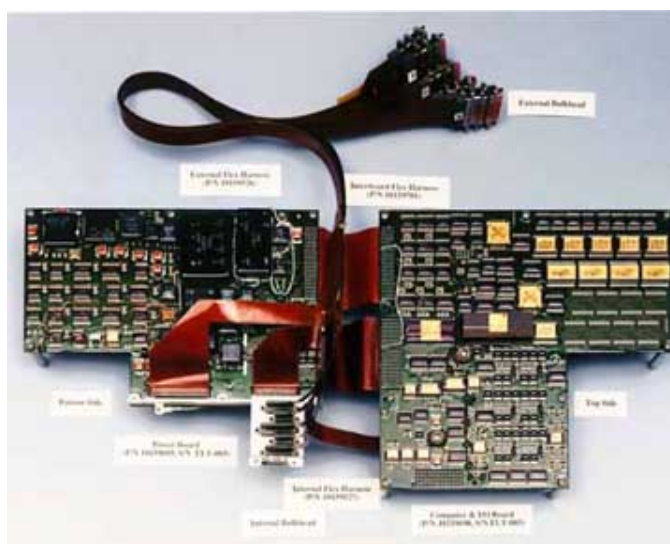
	<p><b>Silnik<sup>12</sup></b>          Typ: DC, bezszczotkowy          Wymiary: średnica 16mm, długość 41mm          Waga: 38g          Pobór prądu: 2,5W          Napięcie nominalne: 30V          Sprawność: do 85%</p>
---	---

Tabela 3. Parametry silników

### 3.2.3. Działanie

Sojourner jako urządzenie o bardzo dużym stopniu złożoności posiada kilka modułów, każdy odpowiedzialny jest za inne funkcje.

Sterowanie odbywa się za pomocą zintegrowanego dedykowanego układu. Jednostka centralna to 80C85 z 176Kb PROM i 576Kb RAM. Komputer obsługuje 70 kanałów we/wy do których podłączone są czujniki, kamery, modemy, silniki i urządzenia elektroniczne do eksperymentów. Rysunek 6 przedstawia jednostkę centralną urządzenia wraz z modułem odpowiedzialnym za zarządzanie energią.

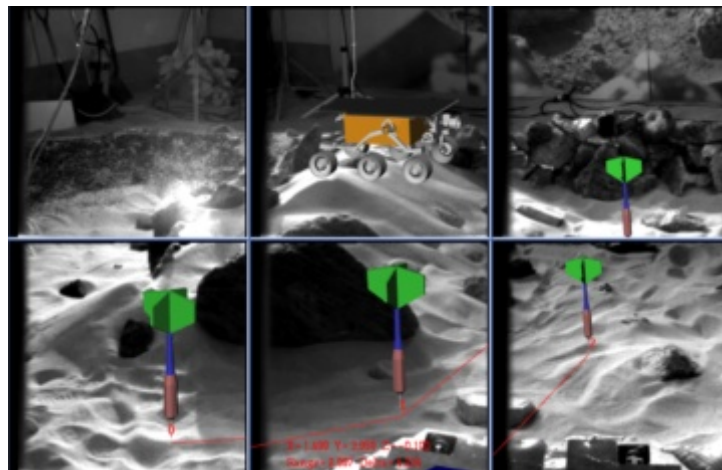


Rysunek 6. Jednostka centralna pojazdu Sojourner

<sup>12</sup> <http://www.maxonmotor.co.uk/>

Ruch pojazdu odbywa się poprzez włączanie i wyłączenie poszczególnych silników. Sprzężenie zwrotne stanowią enkodery (ruch) i potencjometry ( skręt). Pojazd sterowany jest automatycznie omija przeszkody zmierzając do z góry określonego celu.

Cel wyznaczany jest poprzez komendy nadawane z naziemnego centrum kontroli, zachowywane w lądowniku i przekazywane po kolei do pojazdu. Pod koniec każdego marsjańskiego dnia lądownik wykonuje zdjęcie pojazdu w trybie stereo i przekazuje je na Ziemię. Operator na podstawie zdjęcia oraz zdjęć przekazanych bezpośrednio z pojazdu ustala zadania na kolejny dzień i wysyła odpowiednie komendy do lądownika. W kolejnym dniu pojazd pobiera komendy z lądownika i kontynuuje wykonywanie przydzielonych mu zadań. Rysunek 7 przedstawia wizualizację realizowaną na Ziemi z naniesionymi punktami do których ma zmierzać pojazd.



**Rysunek 7. Wizualizacja pojazdu i przestrzeni wokół**

### **3.2.4. Wnioski**

Robot Sojourner to bardzo skomplikowana konstrukcja eksploracyjna, charakterystyczna dla nurtu urządzeń dedykowanych dla ściśle określonych celów. Mimo niewielkich rozmiarów, wyposażony jest w dużą ilość specjalistycznego sprzętu i może wykonywać cały wachlarz zadań. Dużym minusem jest brak możliwości ładowania baterii. Po zużyciu istniejących zasobów z baterii, pozostaje jedynie korzystanie z energii słońca a więc aktywność w ciągu dnia. Nie jest to też konstrukcja

---

w pełni autonomiczna, polecenia wydawane są przez człowieka a algorytmy wewnętrzne przeliczają parametry komend na odpowiednie sygnały sterujące dla silników. Specyfika tego rodzaju zastosowania wymusza aby urządzenie nie było w pełni autonomiczne, gdyż priorytetem jest powodzenie misji i np. wykonanie testów próbek skał, a nie swobodne poruszanie się po terenie bez kontroli operatora. Pojazd Sojourner bezawaryjnie wypełnił powierzone mu na Marsie zadania, przez co plasuje się na czołowym miejscu w nurcie robotów dedykowanych.

## **4. Autorska konstrukcja - robot ‘LONELY EXPLORER’**

### **4.1. Założenia projektu**

Założeniem konstrukcji platformy mobilnej ‘LONELY EXPLORER’ jest próba syntezy praw Marka W. Tildena przy jednoczesnym zachowaniu funkcjonalności i możliwości poznawczych, jakie dają dedykowane roboty eksploracyjne. Sprawą najważniejszą obok zabezpieczenia przed uszkodzeniami jest więc optymalizacja zużywanej oraz pozyskiwanej energii, tak aby osiągnąć pełną energetyczną autonomię pozwalającą na długotrwałe bezobsługowe działanie. Należy również zwrócić uwagę na niewielki stopień skomplikowania i możliwie małe wymiary konstrukcji tak, aby sens miało wykorzystanie kilku takich robotów zamiast jednego większego i bardziej zawodnego (zgodnie z obowiązującym w robotyce naturalnym trendem<sup>13</sup>). Pozostałe elementy pozwalające na zbieranie i obróbkę sygnałów z otoczenia zostaną uproszczone i nie są głównym celem niniejszego opracowania.

---

<sup>13</sup> patrz rozdział 2.1 Przyszłość małych robotów.

Założenia do spełnienia dla projektu 'LONELY EXPLORER' można zatem posegregować według priorytetów:

Priorytet:	Założenie:
1.	Optymalizacja zużywanej i pozyskiwanej energii aby uzyskać pełną autonomię i umożliwić przerwanie wykonywanych zadań.
2.	Zabezpieczenie przed uszkodzeniami mechanicznymi związanymi z uderzaniem o przeszkody.
3.	Niewielkie rozmiary i małe skomplikowanie konstrukcji zapewniające większą niezawodność.

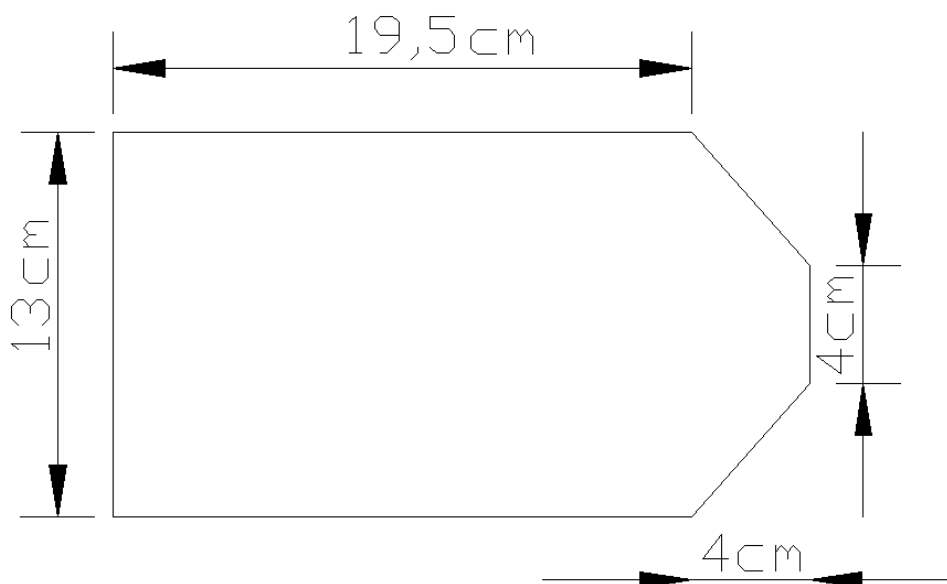
Tabela 4 Założenia projektu 'LONELY EXPLORER'.

Zgodnie z wymienionymi w tabeli 4 założeniami zaprojektowano i wykonano model platformy mobilnej 'LONELY EXPLORER'.

## **4.2. Hardware**

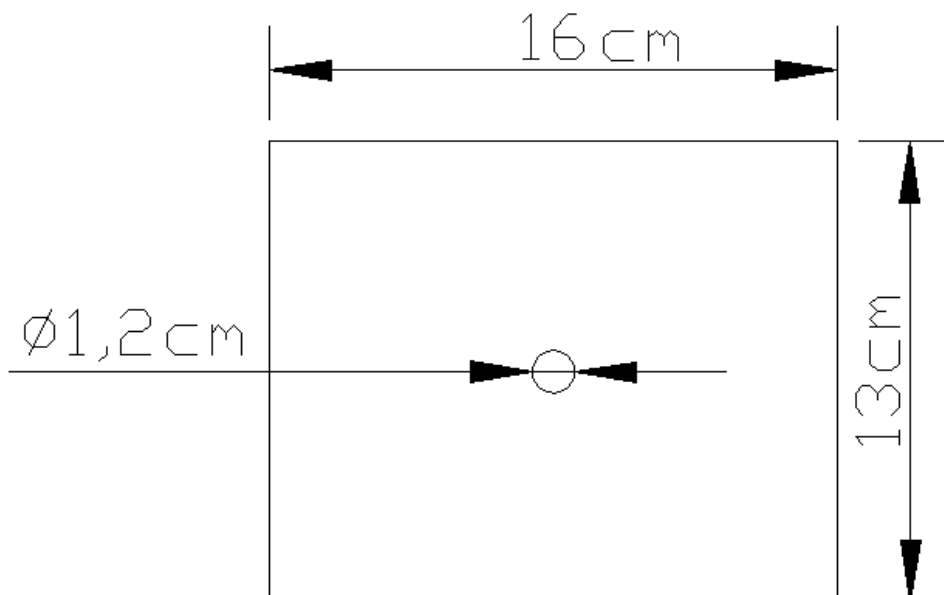
### **4.2.1. Konstrukcja**

Platforma mobilna 'LONELY EXPLORER' to dwupoziomowy trzykołowiec o dość zwartej budowie i nisko położonym środku ciężkości. Główny kadłub robota tworzy wykrojony z pionowego PCV pięciokąt. Grubość 10mm zapewnia wytrzymałość konstrukcji przy jednoczesnym zachowaniu sprężystości i względnej amortyzacji drgań od podłoża. Rysunek 8 przedstawia wymiary kadłuba bazowego robota.



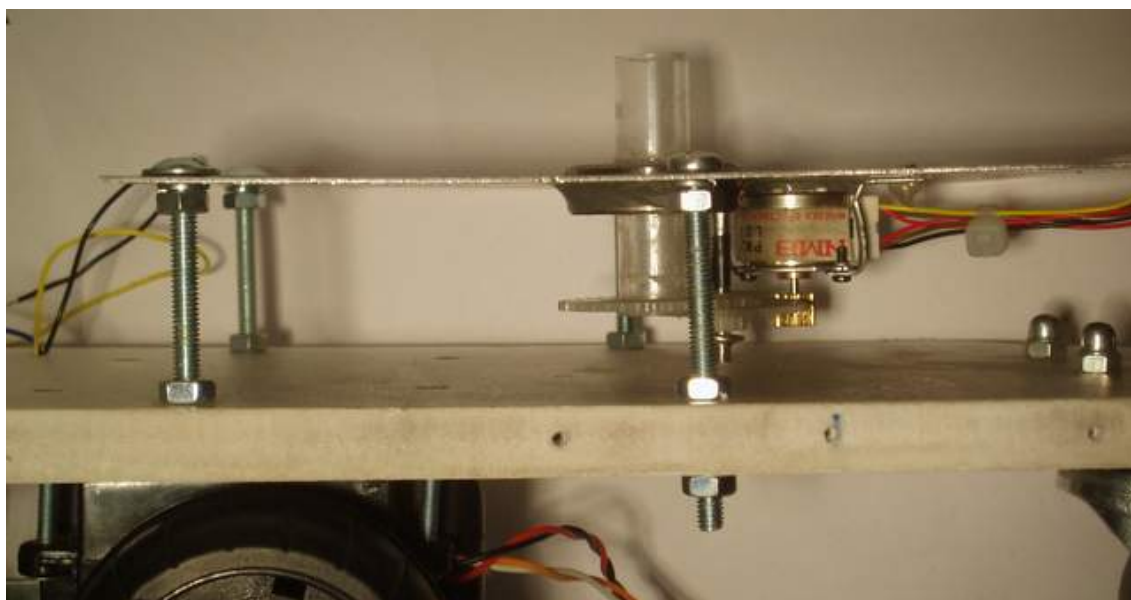
Rysunek 8. Projekt płytki bazowej kadłuba

Płytę poziomą drugiego stanowi wycięty z blachy prostokąt o grubości 0,5mm. Za takim rozwiązaniem przemawia niski ciężar tego rozwiązania (większy ciężar drugiego poziomu spowodowałby podniesienie środka masy robota wyżej, co wpłynęłoby negatywnie na właściwości jezdne pojazdu ) przy zachowaniu odpowiedniej dla tego poziomu wymaganej sztywności.



Rysunek 9. Projekt płytki drugiego poziomu

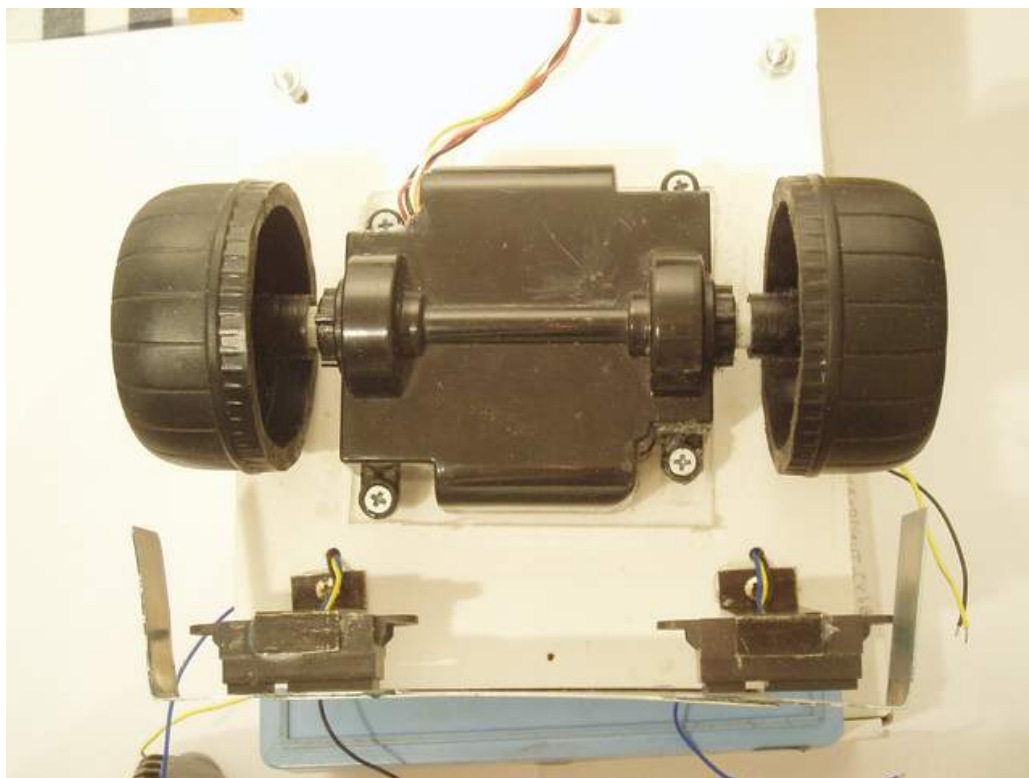
Jako wsporniki rozdzielające obie płyty wykorzystano ocynkowane śruby. Przerwa między płytami wynosi 30mm, co zapewnia wystarczająco miejsca dla układów wspomagających i elektroniki. Rysunek 10 przedstawia widok obu płyt rozdzielonych śrubami.



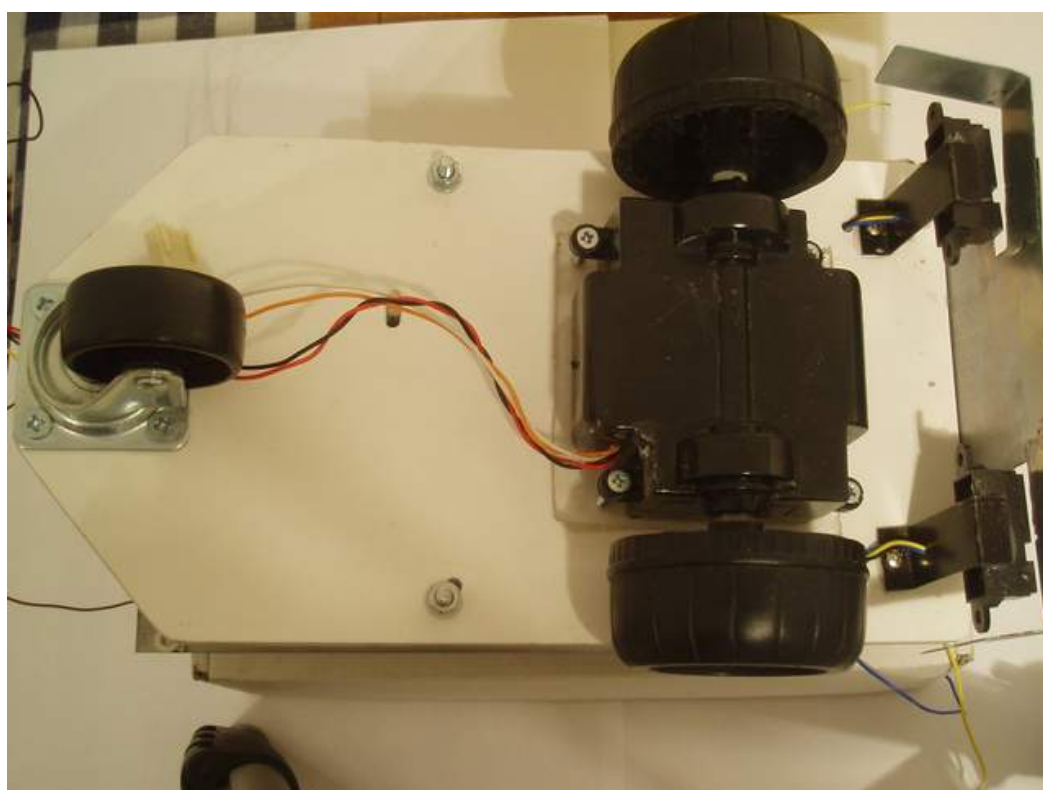
**Rysunek 10. Zmontowane płyty bazowa i górnego poziomu**

#### **4.2.2. Napęd**

Napęd robota to dwa 5V silniki prądu stałego o maksymalnym poborze prądu rzędu 200mA. Silniki te, wraz z ciągiem przekładni (przełożenie sumaryczne 1:254), umieszczone w plastikowej obudowie stanowią kompaktowy moduł napędowy o sporym zapasie mocy jak dla konstrukcji którą mają napędzać. Trzecie (tylne) koło ,dopasowane wielkością do modułu, jest swobodne. Na rysunkach 11 i 12 przedstawiono widok przytwierdzonego do płyty bazowej modułu oraz trzeciego, swobodnego koła.



**Rysunek 11. Zamontowany moduł napędowy**



**Rysunek 12. Napęd robota, widok z dołu**



### 4.2.3. Moduł fotowoltaiczny z układem śledzącym

Najważniejszym układem dostarczającym energii do magazynowania jest moduł panelu fotowoltaicznego wraz z układem śledzącym. Panel zbudowany jest z 10 ogniw z monokrystalicznego krzemu o parametrach jak w tabeli 4.


	<p>Napięcie rozwarcia (<math>U_{oc}</math>) 0,57 V</p> <p>Prąd zwarcia (<math>I_{sc}</math>) &gt;230 mA</p> <p>Moc gwarantowana (P) 110 mW</p> <p>Sprawność (%) 14-15</p> <p>Wymiary (mm) 51,45x17x0,25</p>
---	---

Tabela 4 Parametry ogniw fotowoltaicznych

Użyte ogniwa połączone są szeregowo stąd sumaryczne napięcie rozwarcia dla tego układu będzie wynosić:

$$U_{sum} = \sum_{i=1}^{10} U_{oc_i}$$

Gwarantowana moc układu  $U_{sum} = 5,7V$  będzie wynosić:

$$P_{sum} = U_{sum} \cdot I_{sc}$$

$$P_{sum} = 1,3W$$

Dla zwiększenia efektywności pozyskiwania energii zbudowano układ śledzący<sup>14</sup> ruch słońca i minimalizujący kąt padania promieni słonecznych na moduł fotowoltaiczny<sup>15</sup>. Panel umieszczono na okrągłej podstawie którą przymocowano do rurki napędzanej (poprzez przekładnie) uniwersalnym silnikiem krokowym. Łożyskowana rurka przechodzi na wskroś przez płytkę górnego poziomu zapewniając stabilny punkt zaczepienia dla podstawy układu śledzącego. W ten sposób zapewniony jest ruch panelu wokół własnej osi. Ruch góra-dół panelu realizowany jest poprzez miniaturowy silnik prądu stałego 5V na którego osi znajduje się śruba. Ruch odbywa się wzdłuż prowadnicy umieszczonej z drugiej strony panelu Rysunek 13 przedstawia

<sup>14</sup> patrz [8]

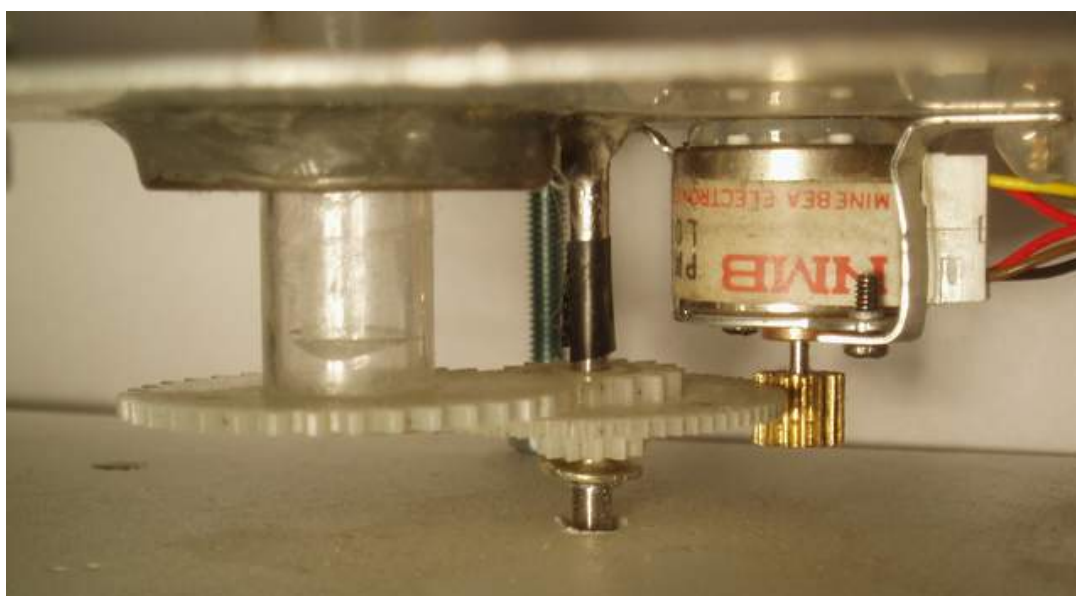
<sup>15</sup> patrz [9] i [10]

górną część układu śledzącego odpowiadającą za ruch góra-dół, wraz z zamontowanym panelem fotowoltaicznym.



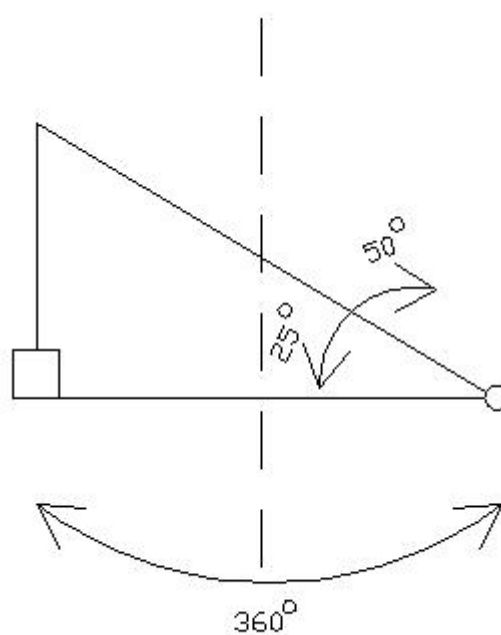
**Rysunek 13. Układ śledzący- ruch góra-dół**

Rysunek 14 przedstawia dolną część układu śledzącego odpowiedzialną za ruch obrotowy wokół osi panelu.



**Rysunek 14. Układ śledzący- ruch obrotowy**

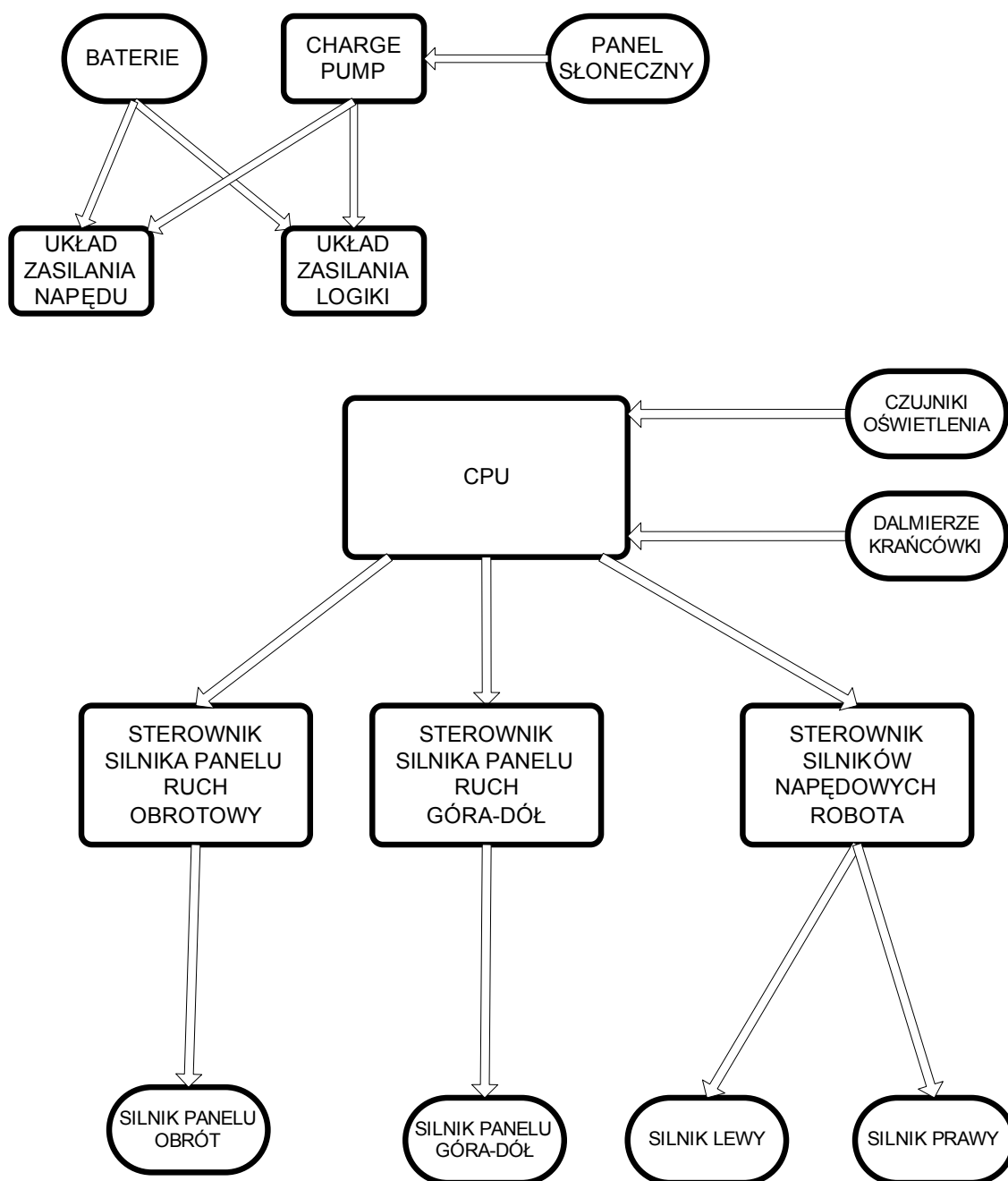
Rysunek 15 opisuje maksymalne wychylenia układu śledzącego w płaszczyźnie góra-dół oraz maksymalny kąt obrotu.



Rysunek 15. Maksymalne kąty wychYLENIA układu śledzącego

### 4.3. Elektronika

Układy elektroniczne obsługujące urządzenie można podzielić na bloki funkcjonalne odpowiedzialne za poszczególne układy. Rysunek 16 przedstawia schemat blokowy układów występujących w urządzeniu oraz logiczne połączenia między nimi.



Rysunek 16. Schemat blokowy układów elektroniki

#### 4.3.1. CPU

Sercem urządzenia jest 8-bitowy procesor Atmega16 z rodziny AVR firmy

Atmel<sup>16</sup>. Atmega16 oferuje m.in.:

- 16kB pamięci FLASH;
- 4kB pamięci EEPROM;
- 4 8-bitowe kanały PWM<sup>17</sup>;
- 32 programowalne linie wejścia/wyjścia;
- 8 kanałów 10 bitowego przetwornika A/C;
- sprzętowy interfejs SPI;
- taktowanie zegarem max. 16MHz.

Pobór mocy w stanie active to tylko 1.1mA, jest więc dobrym rozwiązaniem dla urządzeń o ograniczonych zasobach energetycznych. Wszelkie informacje na temat procesora znaleźć można w nocie katalogowej dostępnej na stronie producenta<sup>8</sup>.

Na potrzeby Lonely Explorera procesor został umieszczony na płycie głównej z wprowadzeniami dla wszystkich portów we/wy. Na rysunku 17 przedstawiono projekt płyty głównej zaprojektowany w edytorze płytek drukowanych Eagle<sup>18</sup>. Pokazane na schemacie wyjście ISP<sup>19</sup>, to interfejs do programowania mikrokontrolera bez użycia programatora i wyjmowania procesora z płyty. Procesor programowany jest poprzez komputer, połączony z mikrokontrolerem poprzez wyjście równoległe drukarkowe. Programem obsługującym proces programowania mikrokontrolera jest Pony Prog<sup>20</sup>.

---

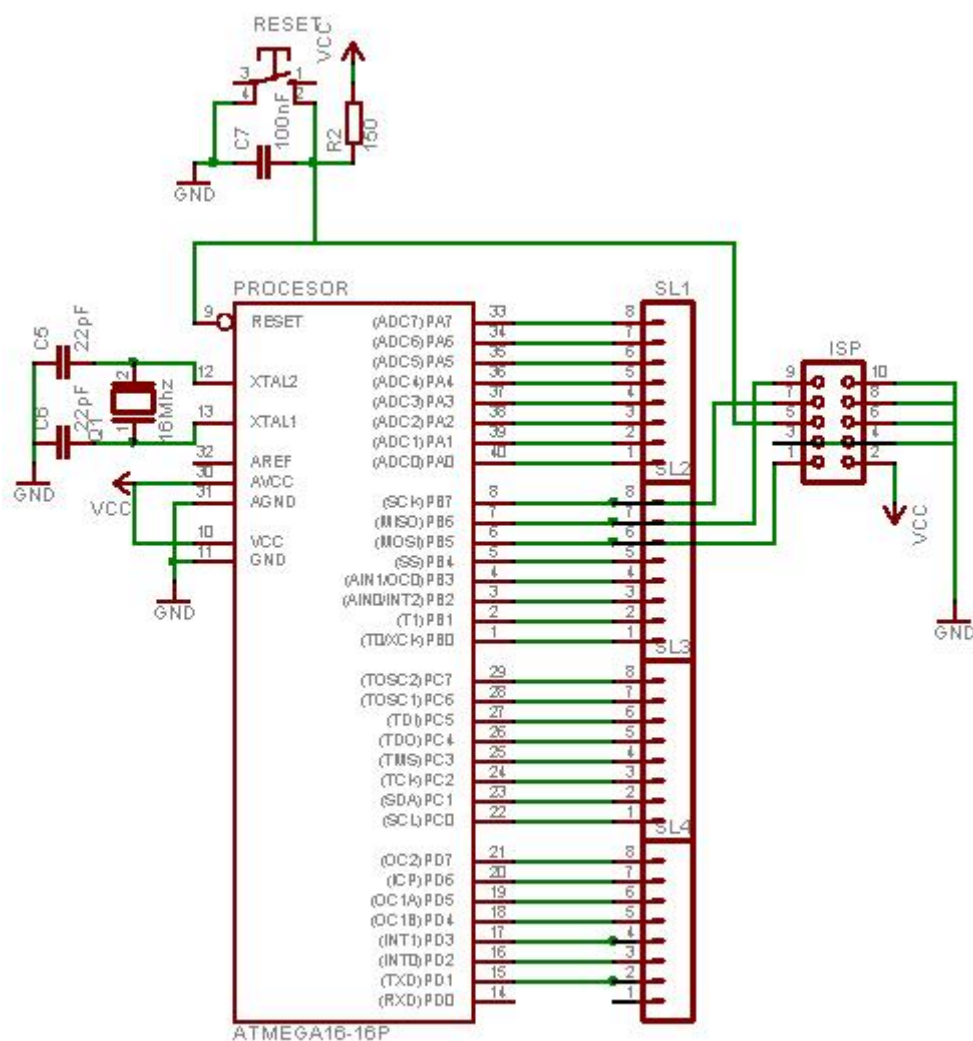
<sup>16</sup> <http://www.atmel.com/products/AVR/>

<sup>17</sup> Pulse Width Modulation, szczegóły na stronie: [http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation)

<sup>18</sup> <http://www.cadsoft.de/>

<sup>19</sup> In System Programming , szczegóły : <http://www.ikalogic.com/isp.php>

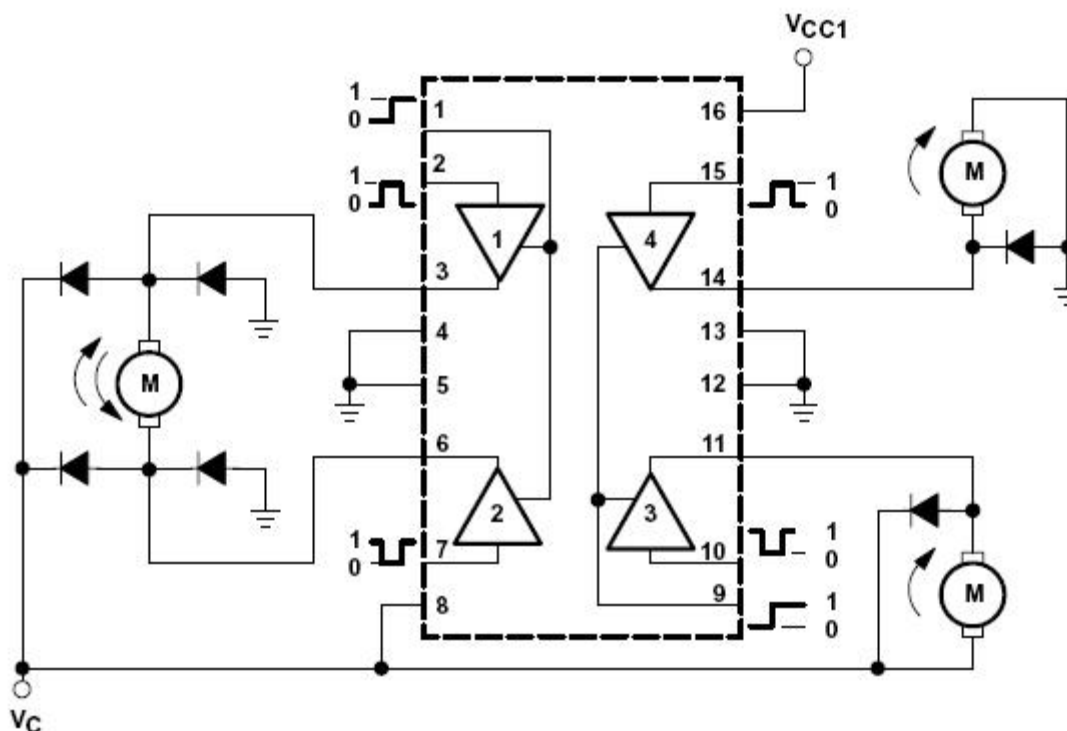
<sup>20</sup> Projekt prywatny, szczegóły: <http://www.lancos.com>



Rysunek 17. Projekt płyty głównej

### 4.3.2. Sterownik silników napędowych robota

Sterownik silników napędowych robota oparty jest na układzie L293D będącym podwójnym mostkiem H. Rysunek 18 przedstawia strukturę wewnętrzną układu L293D. Maksymalne obciążenie układu to 2A na kanał. Wejścia sterujące EN1,2 oraz EN3,4 układu zostały podłączone do wyjść PWM mikrokontrolera na których generowany jest sygnał o stałej częstotliwości. Programowa zmiana współczynnika wypełnienia sygnału powoduje zmianę prędkości obrotowej silników przez co możliwy staje się skręt i zmiana prędkości poruszania się robota. O kierunku obrotów silników decydują sygnały odbierane przez układ na wejściach IN1 i 2 oraz IN3 i 4.



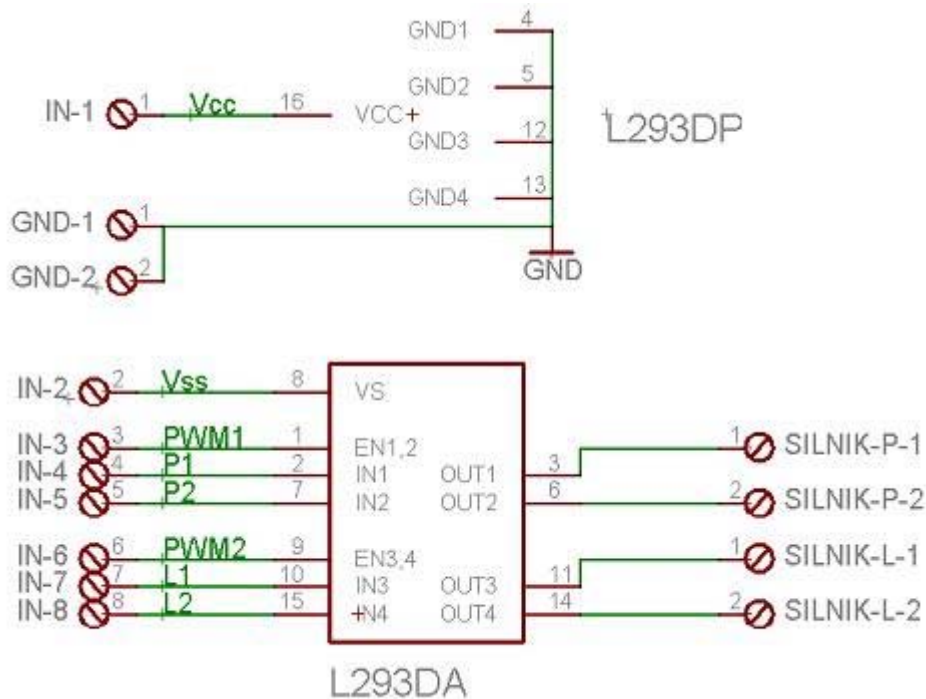
Rysunek 18. Struktura wewnętrzna układu L293D

W tabeli 5 przedstawiono sekwencję sygnałów sterujących pojedynczym silnikiem w zależności od sygnałów wejściowych

Sygnały sterujące			Kierunek obrotów
EN1,2	IN1	IN2	
1	1	0	LEWO
	0	1	PRAWO
	0	0	STOP z hamulcem (zwarte uzwojenia silnika)
	1	1	
0	0/1	0/1	STOP

Tabela 5 Zachowanie napędu przy danym sterowaniu

Na rysunku 19 przedstawiono projekt układu sterownika silników napędowych robota.



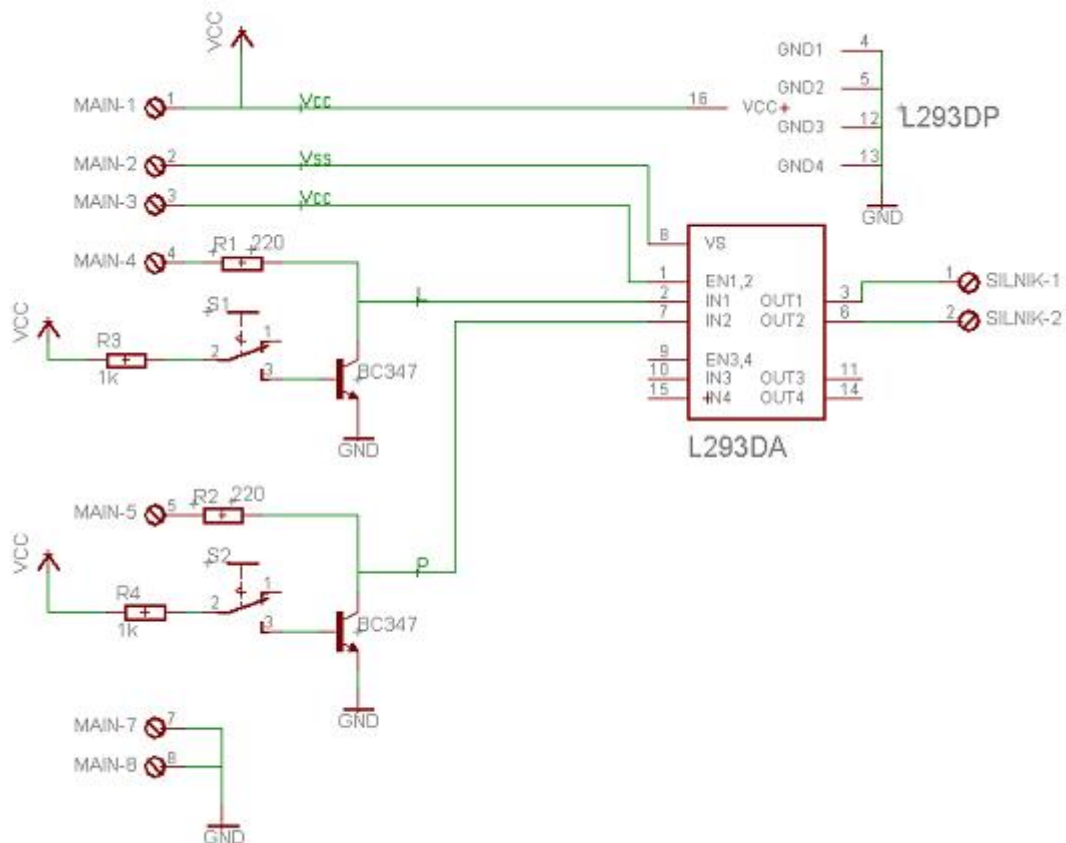
Rysunek 19. Projekt układu sterownika silników napędowych robota

### 4.3.3. Sterownik silnika panelu ,ruch góra-dół

Sterownik oparty jest na układzie L293D, wykorzystując jednak tylko jego połowę (jeden mostek H). W tym przypadku nie ma już sterowania PWM, wejście EN1,2 jest więc stale utrzymywane w stanie wysokim. Sterowanie jest tu trochę bardziej skomplikowane gdyż jako element zabezpieczający przed uszkodzeniem silnika lub zablokowaniem panelu w maksymalnym dolnym lub górnym położeniu użyto krańcówek. Dla szybszego i bezpieczniejszego działania sygnały z krańcówek nie są przekazywane do procesora, tylko użyte w pętli sterownika do natychmiastowego zatrzymania silnika. W tym celu w torze sygnału logicznego biegnącego z procesora do układu sterownika umieszczono tranzystor NPN. Gdy krańcówka (S1 i S2 na rys. 20) nie jest aktywna, na bazę tranzystora nie jest podawane napięcie. Tranzystor jest w stanie odcięcia. Sygnał logiczny z procesora przechodzi bezpośrednio do układu, gdzie powoduje załączenie silnika. Kiedy poruszający się panel napotka krańcówkę, na bazie tranzystora pojawia się napięcie. Sygnał biegnący z procesora zostaje poprzez rezystor



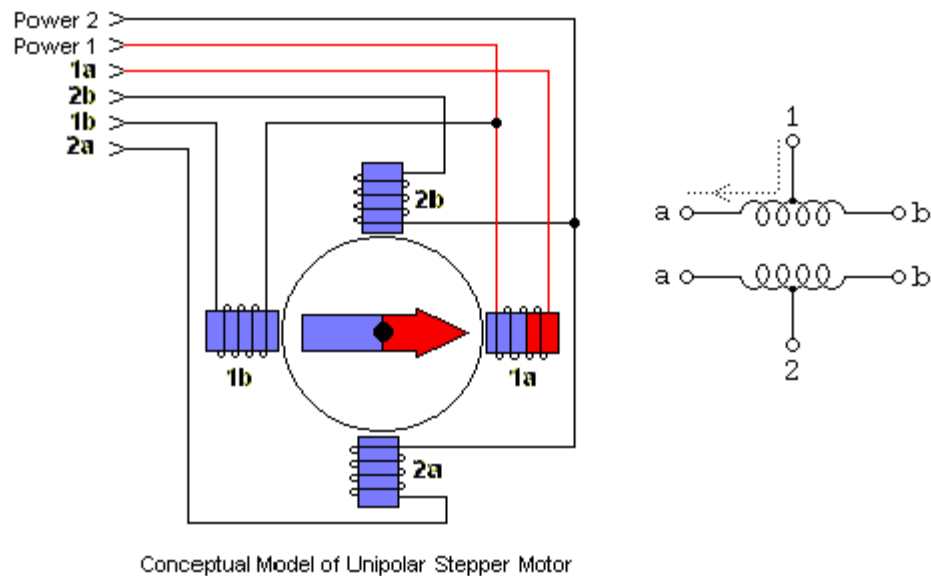
zwarty do masy, silnik zatrzymuje się. Połączenia krańcówek z odpowiednimi sygnałami logicznymi biegnącymi z procesora dobrano tak, aby górna krańcówka blokowała ruch w górę, działają więc selektywnie w zależności od sygnału podawanego z głównego układu. Na rysunku 20 przedstawiono projekt układu sterownika silnika panelu góra-dół, wraz z rozrysowanym przyłączeniem krańcówek.



Rysunek 20. Projekt układu sterownika silnika panelu,ruch góra-dół

#### 4.3.4. Sterownik silnika panelu ,ruch obrotowy

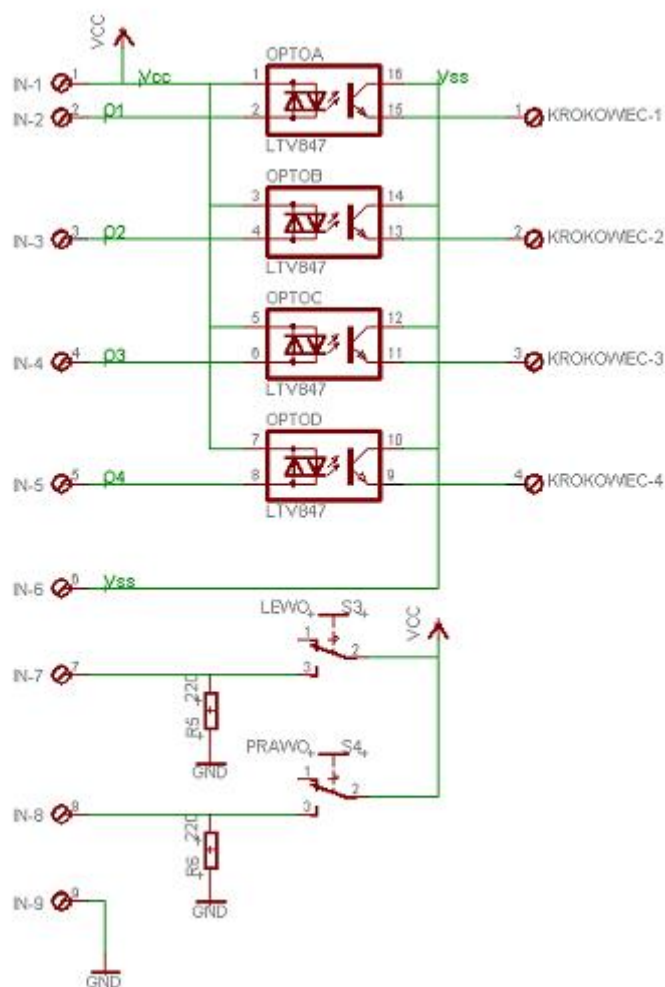
Ruch obrotowy panelu odbywa się przy pomocy silnika krokowego unipolarnego wraz z układem przekładni. Model koncepcyjny silnika unipolarnego przedstawia rysunek 21.



Rysunek 21. Silnik krokowy unipolarny <sup>21</sup>

Do sterowania silnikiem użyto bezpośrednio mikrokontrolera, płytka sterownika odpowiada jedynie za separację galwaniczną układu sterowania od układu wykonawczego. Na rysunku 22 przedstawiono projekt układu sterownika. Zadanie separacji galwanicznej realizuje z powodzeniem układ LTV847 będący 4-kanalowym zestawem optotranzystorowym. Rozdzielenie galwaniczne zasilania krokowca od sygnałów logicznych pozwala na bezpieczne sterowanie i minimalizację zakłóceń z silnika, wpływających niekorzystnie na układy logiczne robota. Płytkę sterownika zbiera również sygnał z dwustronnej krańcówki (zaznaczona schematycznie jako S3 oraz S4 na rys. 22), odpowiadającej za zabezpieczenie panelu przed obrotem większym niż 360<sup>0</sup>. Jeżeli krańcówka znajduje się w położeniu zerowym, procesor otrzymuje stałe stan niski. Po zadziałaniu krańcówki, jedna z linii wejściowych procesora zwierana jest do Vcc, co pozwala zawiadomić procesor i bezpiecznie zatrzymać silnik krokowy.

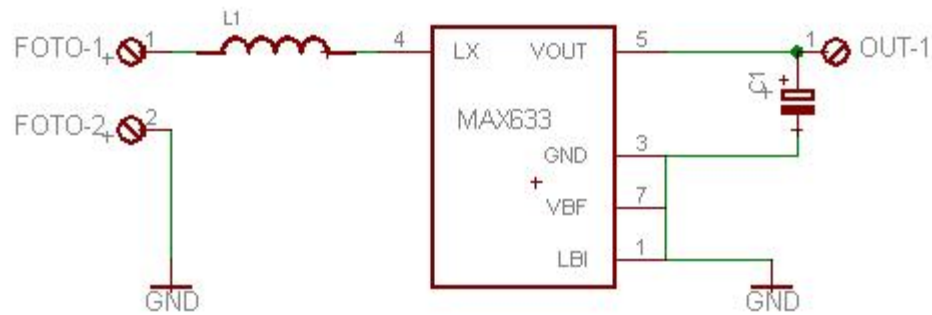
<sup>21</sup> Źródło: <http://www.stepperworld.com>



Rysunek 22. Projekt układu sterownika silnika panelu, ruch obrotowy

#### 4.3.5. Układ CHARGE PUMP

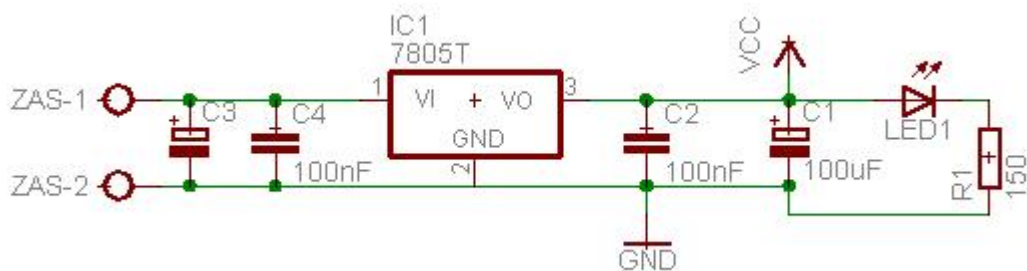
Układ ten, zamontowany na panelu obrotowym pozwala na podniesienie napięcia wytwarzanego w module fotowoltaicznym. Maksymalne napięcie na panelu wynosi 5,7V, jednak moduł osiąga taką wartość napięcia tylko w dobrych i bardzo dobrych warunkach nasłonecznienia. Układ CHARGE PUMP pozwala na zwiększenie napięcia nawet do 15 V przez co zapewnia dobre napięcie dla układów zasilających nawet w słabszych warunkach oświetleniowych. Składa się z regulatora MAX633 firmy MAXIM wraz z elementami pobocznymi w postaci indukcyjności i kondensatora odkłócającego. Rysunek 23 przedstawia projekt układu CHARGED PUMP.



Rysunek 23. Projekt układu CHARGED PUMP

#### 4.3.6. Układy zasilania logiki/napędu

W celu zabezpieczenia części logicznej przed zakłóceniami z silników, przy pomocy dwóch odrębnych układów filtrujących i stabilizujących rozdzielono zasilanie napędów od zasilania części logicznej. Oba układy zasilania zbudowano w ten sam sposób w oparciu o stabilizator 7805 oraz kondensatory filtrujące. Po tej separacji rozróżnia się w układzie napięcie zasilania logiki Vcc oraz napięcie zasilania układów napędowych Vss. Rysunek 24 przedstawia projekt układu zasilania.



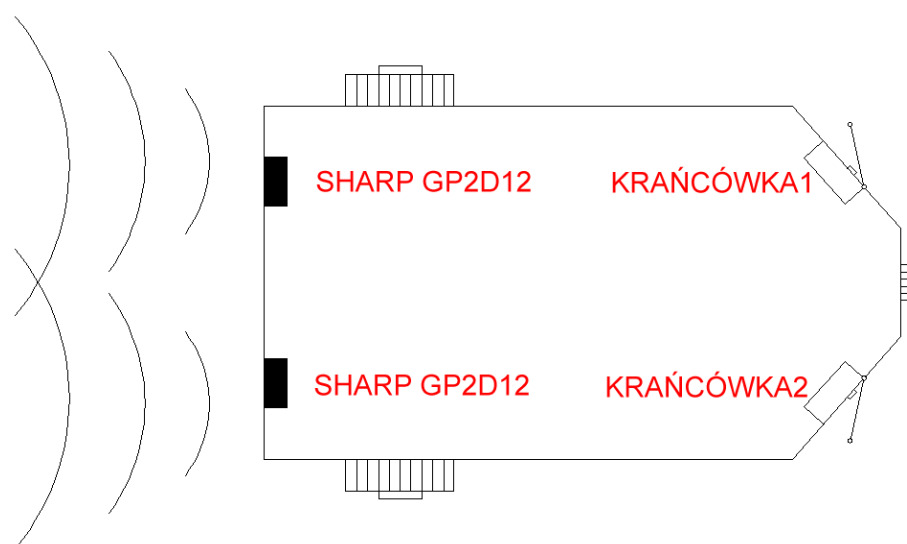
Rysunek 24. Projekt układu zasilania logiki/napędu

### 4.3.7. Czujniki/dalmierze/krańcówki

#### 4.3.7.1. Czujniki platformy mobilnej

Platforma mobilna do bezkolizyjnego ruchu wymaga zastosowania co najmniej dwóch par zabezpieczeń w postaci czujników. W urządzeniu zastosowano 2 dalmierze podczerwone GP2D12<sup>22</sup> firmy SHARP, które umieszczono z przodu robota, pod płytą bazową oraz 2 proste krańcówki pracujące jako tylne zderzaki. Rysunek 25 przedstawia rozmieszczenie czujników na platformie mobilnej w widoku z góry.

Czujnik GP2D12 to wyspecjalizowany do mierzenia odległości układ nadawczo-odbiorczy z wbudowaną elektroniką pomiarową i wyjściem analogowym. Czujnik wysyła sygnał podczerwony, który po odbiciu od mierzonego obiektu powraca do czujnika, gdzie odczytywany jest jego kąt padania. Na podstawie kąta sygnału powrotnego wyznaczana jest odległość, która na wyjściu reprezentowana jest napięciem. Napięcie na wyjściu jest ściśle zależne od odległości od obiektu. Zależność napięcia od odległości dla GP2D12 obrazuje rysunek 26<sup>23</sup>. Sposób wykorzystania sygnałów z dalmierzy podczerwieni opisany zostanie w dalszej części opracowania podczas omawiania algorytmów poruszania się robota.

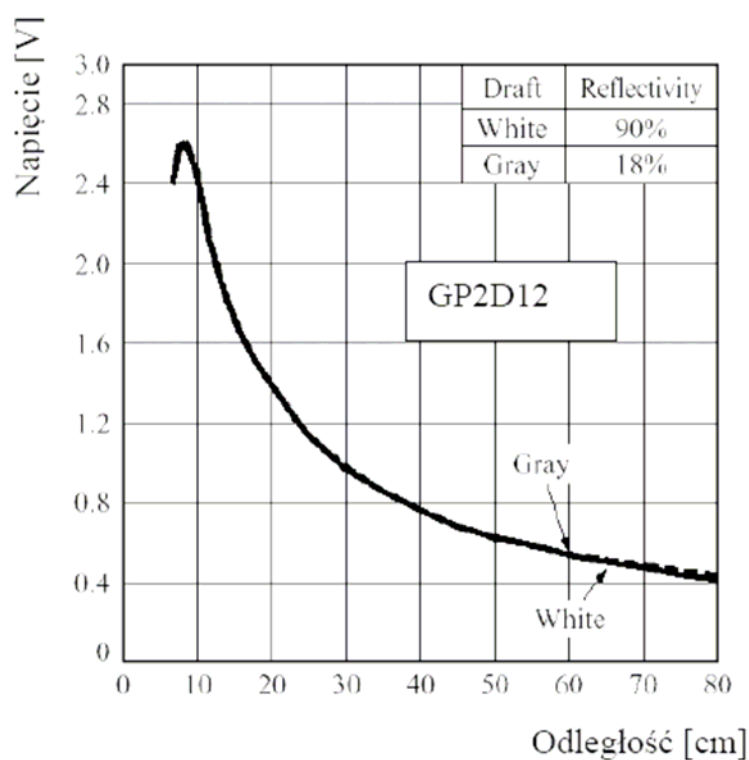


Rysunek 25. Rozmieszczenie czujników platformy

<sup>22</sup> datasheet czujnika: <http://document.sharpsma.com/files/GP2D12-DATA-SHEET.PDF>

<sup>23</sup> patrz [12]

Czujniki zabezpieczające tył robota, to zwykle krańcówki o wyjściu normalnie rozwartym. Z uwagi na kruchość układów przenoszonych przez platformę mobilną zastosowano walcowe osłonki z gąbki aby zredukować siły działające na platformę podczas zderzenia z twardym obiektem.



Rysunek 26. Zależność napięcia wyjściowego od odległości dla czujnika GP2D12

#### 4.3.7.2. Czujniki modułu fotowoltaicznego

W układzie modułu fotowoltaicznego zastosowano czujniki oświetlenia oraz krańcówkę osi obrotowej panelu.

Jako czujniki zbierające dane o natężeniu promieni słonecznych dla układu śledzącego zastosowano 4 mini moduły o parametrach jak w tabeli 6, ustawione w formie piramidy na szczycie panelu fotowoltaicznego.


	Napięcie rozwarcia ( $U_{oc}$ ) 0,57 V Prąd zwarcia ( $I_{sc}$ ) >70 mA Moc gwarantowana (P) 30 mW Sprawność (%) 14-15 Wymiary (mm) 25x12,3x0,25
---	--

Tabela 6. Parametry ogniw fotowoltaicznych użytych jako czujniki

Użycie mini modułów fotowoltaicznych zamiast np. fotorezystorów pozwala na dodatkową oszczędność energii w trakcie dokonywania pomiarów.

Dwustronna krańcówka użyta do ustalania maksymalnych kątów obrotu modułu wokół osi robota została wymontowana ze starej stacji CD-ROM i doskonale nadaje się do tego typu zastosowań. Posiada jedno wejście i 2 wyjścia załączane odpowiednio w zależności od tego które ograniczenie (lewe czy prawe) napotka moduł podczas ruchu obrotowego.

Sposób wykorzystania czujników oraz działanie układu nadążnego opisane zostanie w dalszej części opracowania.

---

## 4.4. Software

### 4.4.1. Środowisko programistyczne

Oprogramowanie do mikrokontrolera zostało napisane w środowisku Bascom AVR<sup>24</sup>. Środowisko opiera się o język basic z zaimplementowanymi makrami i funkcjami ułatwiającymi obsługę mikroprocesorów rodziny AVR. Jest to dość intuicyjny składniowo język, a zaimplementowane ułatwienia pozwalają na dość prostą obsługę programową wszelkich aspektów mikroprocesora.

### 4.4.2. Struktura oprogramowania

Oprogramowanie sterujące zostało podzielone na dwa bloki funkcjonalne odpowiadające dwóm głównym zadaniom realizowanym przez hardware pojazdu.

Pierwszy blok funkcjonalny realizuje obsługę sterowania silnikami układu nadążnego panelu fotowoltaicznego wraz z obsługą czujników oświetlenia i krańcówek modułu. Drugi blok funkcjonalny realizuje algorytm bezpiecznego poruszania się urządzenia. Zawiera więc procedury ruchu silników, obsługę czujników odległości oraz procedurę omijania przeszkód. Wybór odpowiedniej procedury i rodzaju wykonywanego zadania ('obsługa panelu', 'jazda') dokonuje się w głównej pętli programu. Aby zapobiec jednoczesnemu wykonywaniu obu zadań, czas pracy urządzenia podzielony jest między obydwie bloki funkcjonalne. Tak więc przez około 2/3 czasu pracy urządzenia aktywny jest blok odpowiedzialny za jazdę i omijanie przeszkód, pozostała część czasu przydzielona jest na optymalizację energii dostarczonej do urządzenia, która realizowana jest w drugim bloku.

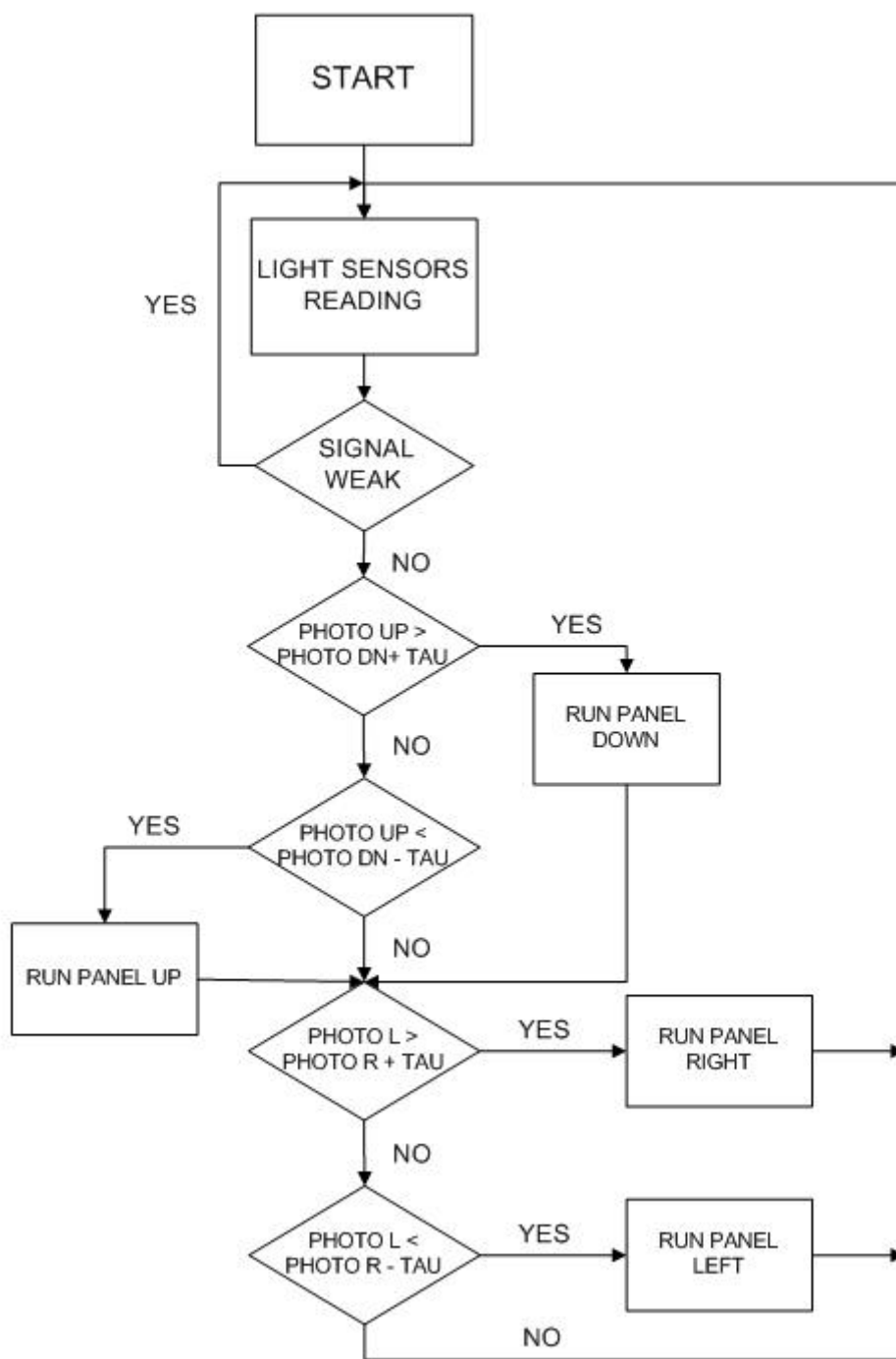
---

<sup>24</sup> Strona producenta: <http://www.mcselec.com/>



### **4.4.3. Blok funkcjonalny PANEL**

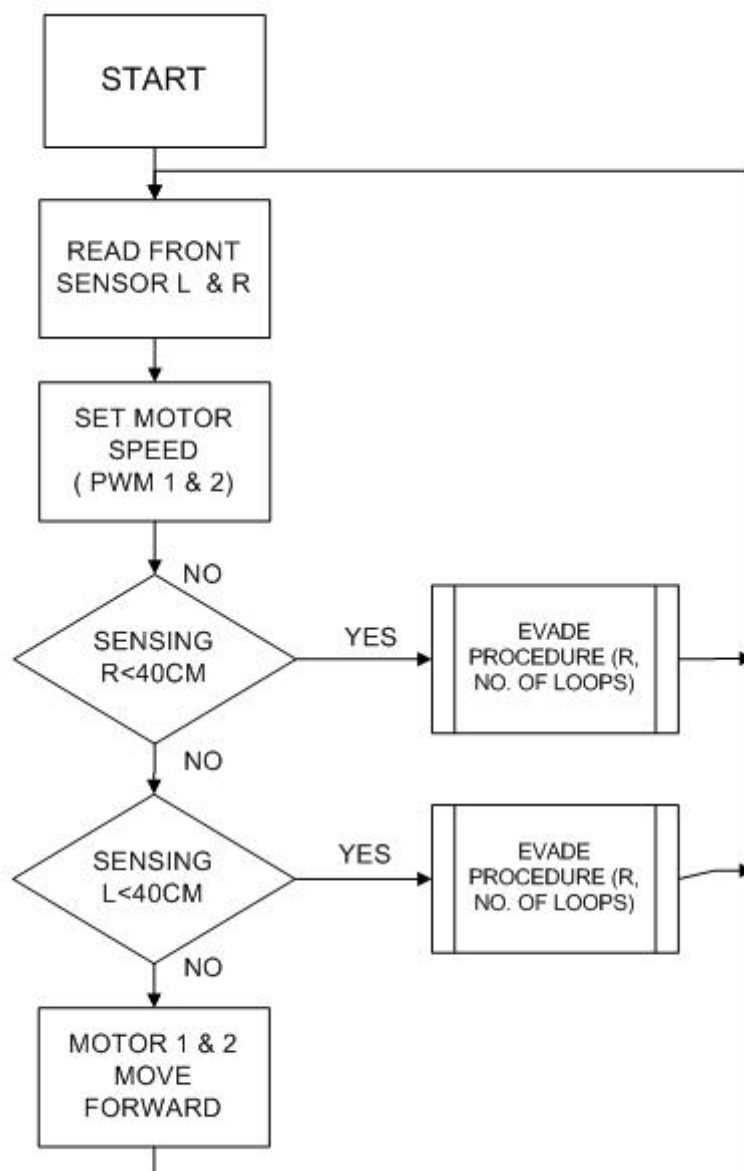
Blok ten realizuje obsługę optymalizacji ilości dostarczanej przez moduł fotowoltaicznej energii elektrycznej. W każdym przebiegu pętli sterowania analogowe sygnały poziomu oświetlenia z czterech czujników (w postaci mini modułów foto) są zczytywane i przesyłane do wejść analogowych procesora. Jeżeli poziom oświetlenia jest niewystarczający sygnały sterujące panelem nie są wysyłane. Ustawianie panelu w kierunku światła przy niskim poziomie oświetlenia nie jest opłacalne pod względem energetycznym, gdyż ewentualny zysk energetyczny jest niższy niż zużywana przez silniki panelu energia. Pomiary z czujników są sparowane tzn czujnik góra,dół oraz lewo, prawo stanowią osobne pary służące do podejmowania decyzji dotyczących sterowania. W układzie zastosowano programową strefę nieczułości czujników('tau'), tzn mała różnica napięcia na modułach w danej parze czujników nie spowoduje korekcji położenia panelu. Wynika to znów z chęci oszczędności energii. Przy małej różnicy oświetlenia nie wskazane są nieustanne korekcje, gdyż zwiększa to zużycie energii układu nadążnego, a nie wpływa znacząco na poprawienie generowanej przez moduły fotowoltaiczne mocy. Na rysunku 27 przedstawiono schemat blokowy funkcjonalności PANEL.



Rysunek 27. Schemat blokowy funkcjonalności PANEL

#### 4.4.4. Blok funkcjonalny JAZDA

Blok ten realizuje obsługę sterownika silników napędowych robota, zawiera obsługę czujników, krańcówek oraz procedury poruszania się robota. Schemat blokowy funkcjonalności JAZDA przedstawiono na rysunku 28.



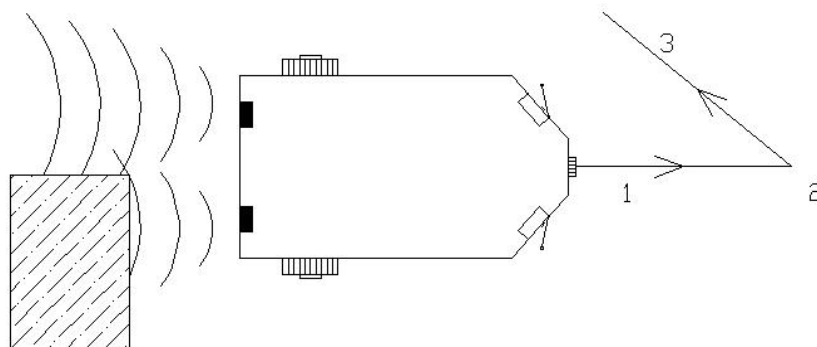
Rysunek 28. Schemat blokowy funkcjonalności JAZDA

Na początku każdej pętli sterowania z dalmierzy analogowych zczytywane są sygnały napięciowe proporcjonalne do odległości od przeszkody. Na podstawie tych pomiarów algorytm dokonuje wyboru między normalnym trybem jazdy , a trybem omijania przeszkód. Dopóki w określonej odległości od przednich czujników nie pojawi się przeszkoda, pojazd będzie poruszał się po łuku, raz za razem zmieniając kierunek. Sposób poruszania się pojazdu podczas jazdy naprzód przedstawia rysunek 29.



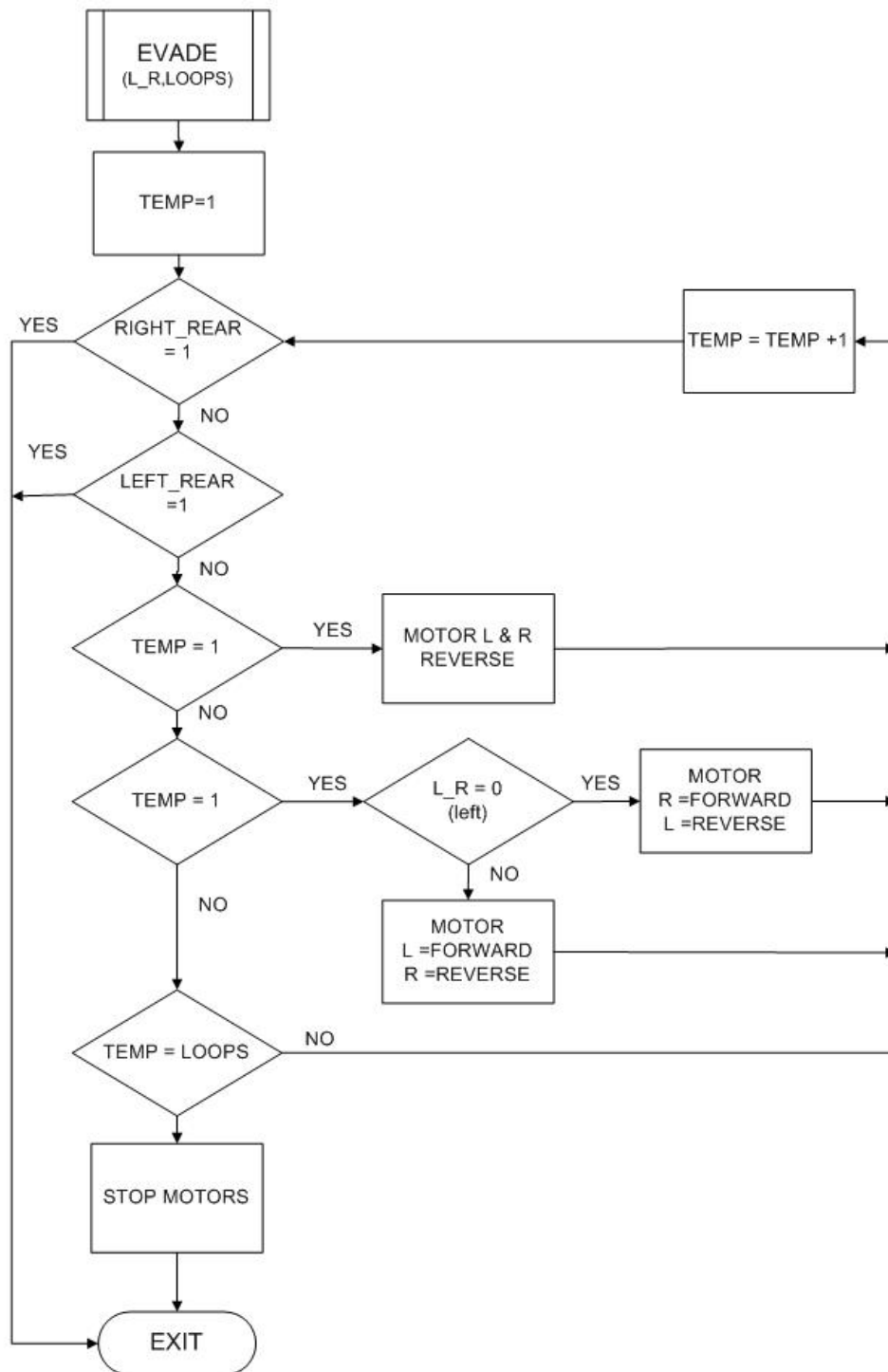
Rysunek 29. Ruch pojazdu podczas jazdy naprzód

W momencie napotkania przez pojazd przeszkody silniki są natychmiast zatrzymywane i wywoływana jest procedura omijania z parametrem oznaczającym stronę na której czujnik napotkał na przeszkodę. Robot wycofuje, po czym obraca się w miejscu o około 60 stopni (rzeczywisty kąt obrotu zależy od podłoża na jakim znajduje się urządzenie i stopnia naładowania baterii), w kierunku przeciwnym do tego na którym znaleziono przeszkodę. Następnie zatrzymuje się i przechodzi w normalny tryb jazdy. Sposób poruszania się pojazdu podczas omijania przeszkody przedstawia rysunek 30.



Rysunek 30. Ruch pojazdu podczas omijania przeszkody

Jeżeli podczas działania procedury tył robota zetknie się z przeszkodą, z dużym prawdopodobieństwem zadziała któryś z czujników cofania i procedura omijania zostanie przerwana. Schemat blokowy procedury omijania przedstawiono na rysunku 31.



Rysunek 31. Schemat blokowy procedury EVADE (omijania przeszkody)

## 5. Eksperymenty

Podczas prac nad konstrukcją mechaniczną i elektroniczną urządzenia przeprowadzono szereg testów, które pozwalały oceniać rozwiązania i zasadność ich zastosowania w urządzeniu. Na etapie konstrukcji należało odrzucić część teoretycznie ciekawych rozwiązań mechanicznych na rzecz mniej skomplikowanych i mniejszych objętościowo rozwiązań. Po zakończeniu budowy robota, przystąpiono do przeprowadzenia testów sprawdzających poprawność konstrukcji mechanicznej, elektronicznej oraz stworzonego oprogramowania. Przebieg i wyniki niektórych z nich przedstawiono poniżej.

### 5.1. Testy panelu fotowoltaicznego oraz układu nadążnego

Testom poddano między innymi zdolność panelu do ustawiania się w kierunku źródła światła. Układ nadążny poprawnie ustawiał się w kierunku 60W zarówno poruszającej się po łuku imitując przemierzające niebo słońce. W przypadku światła rozproszonego (zachmurzone niebo), układ najczęściej kładł się poziomo lub pozostawał w spoczynku. Jest to najbardziej poprawne zachowanie układu nadążnego przy tej charakterystyce oświetlenia. Jeżeli układ byłby bardziej wyczulony i poruszał się nawet przy najmniejszej zmianie oświetlenia, wynikiem byłaby strata energetyczna, wynikająca z energii spożytkowanej przez silniki, przy minimalnie większej generowanej przez układ energii. Dla mocnego światła słabo rozproszonego (słoneczny dzień) układ zachowywał się poprawnie maksymalizując kąt padania promieni słonecznych na powierzchnię panelu.

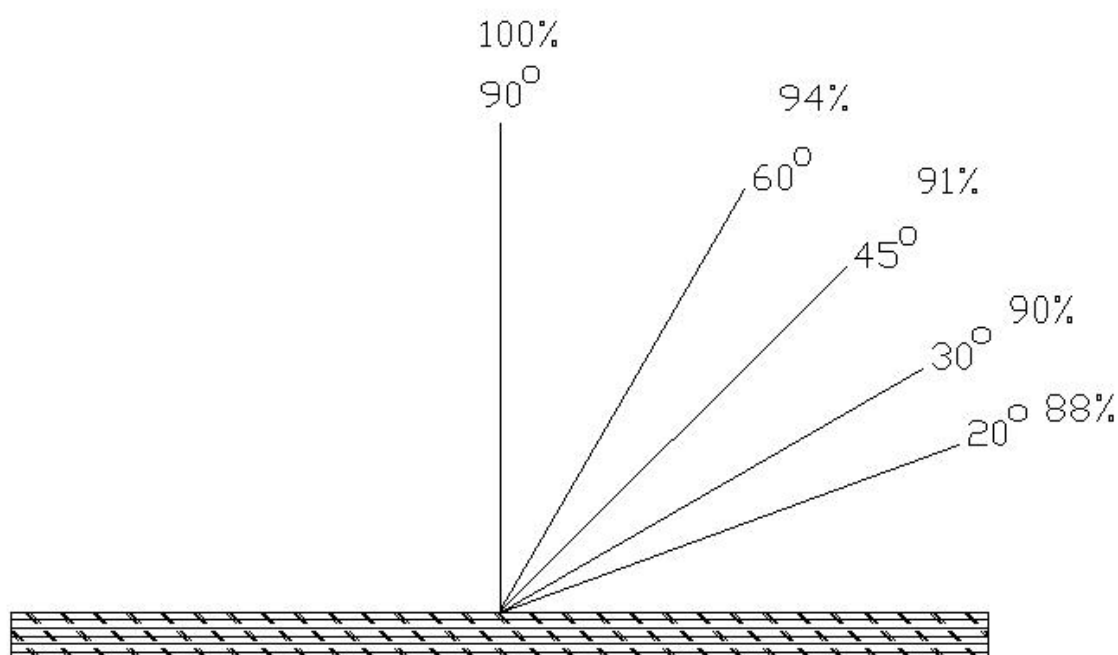
Przeprowadzono również testy zdolności układu do generowania energii elektrycznej w różnych warunkach oświetleniowych. W tabeli 7 zawarto wyniki pomiaru napięcia panelu przy ustawianiu panelu prostopadle do padającego światła w różnych warunkach oświetleniowych.

<b>Warunki oświetleniowe</b>	<b>Napięcie rozwarcia na panelu<sup>25</sup></b>
<b>Światło naturalne, niebo bezchmurne</b>	<b>5,20V</b>
<b>Światło naturalne, niebo nieznacznie zachmurzone</b>	<b>4,95V</b>
<b>Światło naturalne, niebo mocno zachmurzone</b>	<b>4,80V</b>
<b>Światło sztuczne, żarówka 60W, odległość 100cm</b>	<b>4,40V</b>
<b>Światło sztuczne, żarówka 60W, rozproszone</b>	<b>4,20V</b>

Tabela 7 Średnia wartość napięcia rozwarcia dla różnych warunków oświetlenia

Aby sprawdzić zyski energetyczne wynikające z zastosowania układu nadążnego sprawdzono zmianę napięcia na panelu przy zmieniającym się kącie padania promieni słonecznych. Rysunek 32 przedstawia uzyskany procentowy spadek napięcia na panelu wraz ze zmniejszającym się kątem padania promieni słonecznych. Jako 100% przyjęto kąt padania promieni prostopadły do powierzchni panelu.

<sup>25</sup> Przeprowadzono po 10 testów dla każdego z warunków oświetleniowych, pomiary uśredniono.



**Rysunek 32. Procentowy spadek napięcia na panelu w zależności od kąta padania promieni słonecznych.**

Jak widać na przedstawionym rysunku, w skrajnie niekorzystnym położeniu panelu względem źródła światła notuje się 12% spadek w stosunku do położenia idealnego równego  $90^\circ$ . Nie należy zapominać, że układ nadażny może ustawiać panele w dwóch płaszczyznach, stąd strata energii wynikająca z jego braku może wynieść o wiele więcej. W praktyce przyjmuje się, że panele wyposażone w układ nadażny mogą wygenerować w ciągu roku 30-40% więcej energii niż odpowiadające im parametrami panele nie wyposażone w ww. układ<sup>26</sup>.

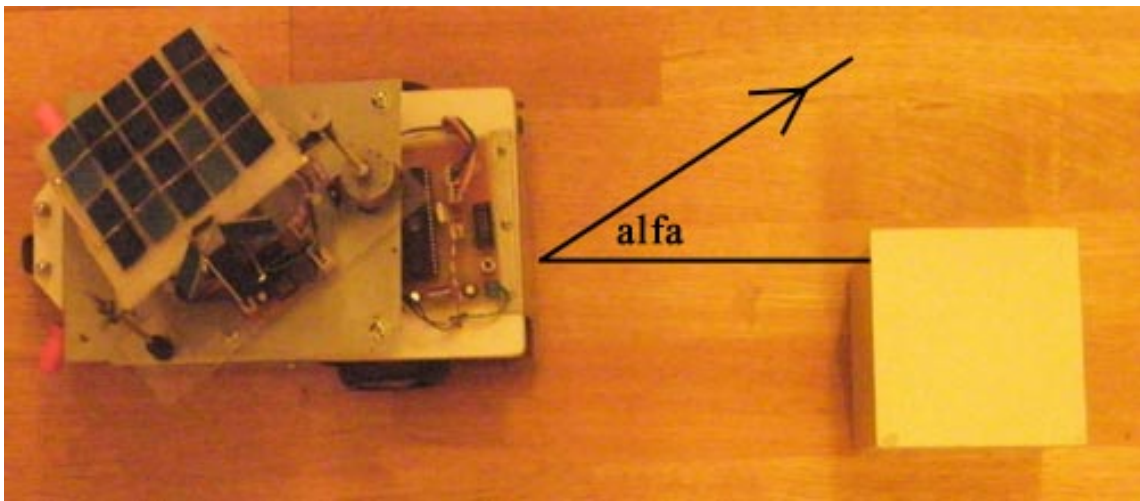
---

<sup>26</sup>Źródło informacji: <http://www.gigawat.net.pl/article/articleview/16/1/11/>



## 5.2. Testy układu jezdnego

Testy układu jezdnego polegały na długotrwałej obserwacji sposobu poruszania się robota po różnych powierzchniach i sposobu omijania przeszkód różnego kształtu i wymiaru. W warunkach testowych takich jak na rysunku 33 przeprowadzono również serię pomiarów sprawdzających powtarzalność działania procedury omijania napotkanych przeszkód.



Rysunek 33. Test powtarzalności omijania przeszkody

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów uzyskano kąt obrotu 'alfa' oznaczający kąt o jaki obrócił się pojazd w celu ominięcia przeszkody. W fazie testów uzyskano kąt alfa na poziomie 50-70°. Na kąt alfa ma wpływ duża ilość czynników zarówno konstrukcyjnych jak i środowiskowych. Od naładowania baterii, poprzez kąt ustawienia trzeciego koła aż po błędy pomiarowe. Mając na uwadze ww. źródła zakłóceń można stwierdzić, że rozbieżność dla kąta obrotu na poziomie 20° nie jest złym wynikiem.

Podczas wstępnych testów silników napędowych robota okazało się, że urządzenie nie może poruszać się z dowolnie małą prędkością. Przy zbyt małym współczynniku wypełnienia sygnału urządzenie nie poruszało się wcale. Wartość progową dla sygnału PWM wyznaczono doświadczalnie i wyniosła ona 62% wypełnienia sygnału.

Sporym problemem okazało się trzecie, ciągnięte przez robota koło. Ma ono tendencję do blokowania się podczas skrętu, przez co może wpływać negatywnie na tor

ruchu urządzenia w jeździe na wprost. Rozwiązaniem które mogłoby ten błąd zniwelować mogłoby być zastosowanie drugiej osi jezdnej zamiast jednego swobodnego koła. Z uwagi na poważne zmiany konstrukcyjne jakie niesło to rozwiązanie i ograniczone środki, powyższe rozwiązanie nie zostało wdrożone. Do rozwiązania problemu zastosowano zmianę programową polegającą na nieustannych zmianach współczynników wypełnienia silników. Stabilizuje to ruch tylnego koła, jest jednak rozwiązaniem zastępczym.

## 6. Podsumowanie

Celem powyższego opracowania była próba syntezy dwóch odrębnych podejść projektowania robotów mobilnych poprzez stworzenie urządzenia posiadającego ich najlepsze cechy wspólne jednocześnie odrzucając słabości obu rozwiązań. W wyniku przeprowadzonych prac konstrukcyjnych powstał mały, mobilny trójkołowiec spełniający zawarte we wstępie założenia. Podstawowe priorytety brane pod uwagę przy projektowaniu wyżej opisanej konstrukcji to niezależność energetyczna i niski stopień skomplikowania układu.

Niezależność energetyczna została osiągnięta poprzez zoptymalizowane źródło ładowania akumulatorów jakim jest nadążny panel słoneczny. Maksymalna moc generowana przez układ to 1.3W. Pozwala to na doładowanie akumulatorów, w przypadku ich wyczerpania. Niestety niska moc układu znacznie wydłuża czas ładowania, a zastosowanie większej ilości paneli nie jest możliwe ze względu na ograniczone miejsce. Jediną możliwością na zwiększenie mocy układu doładowczego byłoby zastosowanie modułów fotowoltaicznych z arsenku galu zamiast krystalicznego krzemu, jednak jest to zbyt drogie rozwiązanie do zastosowań modelarskich.

Niski stopień skomplikowania układu osiągnięto poprzez zastosowanie prostych elementów elektronicznych i uproszczoną mechanikę. Do konstrukcji użyto materiałów przetworzonych ze złomu komputerowego i odpadów PCV. Zastosowanie tego typu materiałów sprawia, że urządzenie staje się proekologiczne. Obniża również nakłady finansowe, przeznaczone na produkcję urządzenia.

Robot 'Lonely Explorer' jest urządzeniem pośrednim między wysoce skomplikowanymi dedykowanymi pojazdami eksploracyjnymi, a prostymi i produkowanymi ze złomu bezobsługowymi robotami BEAM. Jest to w zasadzie prototyp platformy jezdnej z zapewnionym niezależnym źródłem energii elektrycznej. Może być wyposażony w urządzenia pomiarowe i moduły przesyłu danych, pracować przez długi czas bezobsługowo, zatrzymując się na czas doładowania baterii. Jest to konstrukcja typowo prototypowa, gdyż niektóre funkcjonalności wymagają dopracowania, jednak stanowi początek do rozważań na temat hybrydowych niezależnych samodzielnych robotów eksploracyjnych.

## **6.1. Możliwości rozbudowy**

Podczas projektowania , konstrukcji i testów urządzenia zauważono kilka możliwości rozbudowy i ulepszenia działania robota. Pierwszą istotną modyfikacją powinno być dodanie enkoderów na koła napędowe. Z powodu problemów z separacją szumów produkowanych przez napęd, nie udało się zastosować najprostrzych enkoderów w postaci dziurkowanej tarczy. Sygnał z transporów szczelinowych obsługujących tarcze ,biegnący do sterownika, był zbyt zaszumiony co nie pozwalało na odczyt obrotów. Rozwiązaniem mogłoby być zastosowanie specjalistycznych enkoderów dedykowanych do obsługi silników. Niewystarczające zasoby finansowe nie pozwoliły na zastosowanie tego rozwiązania.

Kolejną rzeczą, jaką można zaproponować przy późniejszej rozbudowie jest zainstalowanie bezprzewodowej kamery. Robot mógłby wtedy posłużyć jako automatyczny pojazd zbierający dane o otoczeniu i przesyłający je do jednostki bazowej, np. komputera stacjonarnego eksportującego informacje na serwer www. Pojazd mógłby w ten sposób pracować jako domowy stróż, zapewniając automatyczny podgląd na pomieszczenia 24 godziny na dobę.

## Bibliografia

- [1] Hasslacher, B., Tilden, M. W., "Living Machines",  
ROBOTICS AND AUTONOMOUS SYSTEMS: The Biology  
and Technology of Intelligent Autonomous Agents. Editor: L.  
Steels. Elsevier Publishers, Spring 1995. (LAUR - 94 - 2636)
- [2] Strona misji Pathfinder i pojazdu 'Sojourner'  
<http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/default.html>
- [3] "BEAM Robotics". Algorithm 2.2 magazine, March 1991, page 15-19.
- [4] Tilden, M. W., "The Design of "Living" Biomech Machines: How low can one  
go?" *Los Alamos National Laboratory*, July 1997, 505/667-2902
- [5] Stephen Bolt, *Photovore- the sun eating robot howto (www)*, 2004.
- [6] David Hrynkiw & Mark Tilden, *Junkbots, Bugbots, and Bots on Wheels: Building  
Simple Robots with BEAM Technology (www)*, 2002.
- [7] Steve Squyres, "Roving Mars: Spirit, Opportunity, and the Exploration of the Red  
Planet", July 2005
- [8] Kh. S. Karimov, P. Akhtar, M. M. Ahmed, J. A. Chattha, M. A. Saqib, S. A.  
Yousafzai, "A simple photovoltaic tracking system" *G.I.K. Institute of Engineering  
Sciences and Technology, Topi (District Swabi), 23460, NWFP, Pakistan*
- [9] J. W. Twidell and A. D. Weir, "Renewable Energy Resources" (E & F.N. Spon,  
London, 1986 .
- [10] M.A.Green "Solar Cells - Operating principles, Technology and System  
Applications", Ed. Univ. of New South Wales, Australia, 1992
- [11] A. Luque, S.Hegedus. ed., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*  
John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 2003.

- [12] Jean-Christophe Zufferey, "Effectively Using the Sharp GP2D12 Rangefinder"  
www.gorobotics.net article 30 May 2005.
- [13] David P. Miller Tim S. Hunt Matt J. Roman "Experiments & Analysis of the Role of Solar Power in Limiting Mars Rover Range "Aerospace & Mechanical Engineering University of Oklahoma Norman, OK 73019
- [14] Sarita Thakoor , "Technical Support package on development of small, mobile, special-purpose robots." Robots Nasa Tech Brief Vol. 22, No. 2, Item #109
- [15] Kevin Forbes, "Wheeled Robot for use in AI Research" The University of Western Ontario, March 31, 2003
- [16] Nirmal Baran Hui, Dilip Kumar Pratihar , "Computing-Based Navigation Schemes for a Real Wheeled Robot Moving Among Static Obstacles", Journal of Intelligent and robotic systems, December 21, 2007, 0921-0296
- [17] J. Borenstein , H. R. Everett , L. Feng , D. Wehe "Mobile robot positioning: Sensors and techniques" Journal of Robotic Systems, December 1998, published online.
- [18] Chakravarthy, A.; Ghose, D., "Obstacle avoidance in a dynamic environment: a collision cone approach", Systems, Man and Cybernetics, Part A, IEEE Transactions on Volume 28, Issue 5, Sep 1998 Page(s):562 – 574
- [19] Jarzębski Z. M Energia Słoneczna. Konwersja Fotowoltaiczna., PWN, Warszawa, 1990,
- [20] Strony centrum fotowoltaiki w Polsce: [www.pv.pl](http://www.pv.pl)