

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

DOKUMENTACJA TECHNICZNO-ROZRUCHOWA

---

# PAPAJ

ROBOT TYPU LINE-FOLLOWER

---

*Autorzy:*

Łukasz KOSIAK (c)  
Łukasz KRÓLIK  
Piotr KURZAWA  
Patryk ŁAPIEZO  
Sebastian PAWLAK  
Bartosz ŚLAWIANOWSKI  
Kacper STĘPIEŃ  
Pedro BRĘDA

*Prowadzący:*

dr. inż. Rafał KLAUS

12 czerwca 2015

## **Spis treści**

<b>1</b>	<b>Opis</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Nazwa</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Budżet</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Schemat ideowy</b>	<b>4</b>
4.1	Jednostka centralna . . . . .	4
4.2	Zasilanie . . . . .	4
4.3	Czujniki odbiciowe . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Mechanika</b>	<b>5</b>
5.1	Płytki . . . . .	5
5.1.1	Projektowanie . . . . .	5
5.1.2	Drukowanie . . . . .	7
5.1.3	Trawienie . . . . .	8
5.1.4	Wiercenie i lutowanie . . . . .	8
5.1.5	Uwagi . . . . .	10
5.2	Układ jezdny . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Algorytm</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Podziękowania</b>	<b>12</b>
	<b>Kod źródłowy</b>	<b>13</b>
	<b>Zdjęcia</b>	<b>20</b>
	<b>Schemat</b>	<b>23</b>

## 1 Opis

Papaj jest robotem typu line-follower stworzonym na potrzeby corocznego konkursu RoboDay na Politechnice Poznańskiej, wykonanym przez zdolnych i dumnych studentów z grupy I4.2.

Nasze urządzenie jest klasycznym przykładem line-followera. Posiada on napęd na tylne koła (każde z nich posiada własny silnik), jest wyposażony w silniki w przedniej części robota oraz 7 czujników linii. Całość jest zasilana popularnymi „paluszkami”, co przekłada się na niską cenę.

Papaj został sensacyjnym zwycięzcą RoboDay 2015 w kategorii line-follower zostawiając w tyle droższe i bardziej rozbudowane konstrukcje.

## 2 Nazwa

Robocza nazwa Papaja brzmiała „Pommes frites” od napisu, który znajdował się na pudełku będącym miejscem jego przechowywania, jednak z powodu niedawnych obchodów 95-rocznicy urodzin Wielkiego Polaka Jana Pawła II postanowiliśmy nazwać naszego robota na jego cześć.

Dołożyliśmy tym samym swoją cegiełkę do rozpowszechniania jedynej słuszej prawdy o naszym papieżu.

## 3 Budżet

Jednym z kryteriów, które przyjęliśmy w trakcie projektowania robota była jego cena, która nie powinna przekroczyć 30 zł/os. W związku z tym staraliśmy się maksymalnie ciąć koszty, szukając u siebie i wśród znajomych części, które mogłyby przydać się do zbudowania robota - szczególnie koncentrując się na silniku i zasilaniu. Niestety, zarówno zasilanie, jak i silnik okazały się zbyt mało wydajne i zostaliśmy zmuszeni do zakupu nowych.

Zdecydowaliśmy się także na wspieranie lokalnego przemysłu elektronicznego, kupując części w sklepach elektronicznych w całym Poznaniu, zamiast korzystając z ofert dostępnych w internecie. Dzięki temu udało nam się oszczędzić na ewentualnych kosztach wysyłki.

Nie byliśmy w stanie wycenić niektórych elementów, które miały niebagatelnny wpływ na Papaja. Mamy tu na myśli szczególnie korki do wina, których wartość niełatwo ustalić bez ich powiązania z butelkami od wina (niekoniecznie pustymi).

Łączny koszt robota wyniósł 168,6 zł, co w przeliczeniu na osobę daje niewiele ponad 24 polskich nowych złotych. Jest to naszym zdaniem bardzo udany wynik.

Tabela 1: Elementy wykorzystane w Papaju (w zł)

Nazwa	Cena	Ilość	Koszt
środek drobnokrystaliczny B327	8	1	8
laminat jednostronny 190x3	15	1	15
LEDy 3mm	0,2	3	0,6
sterownik silnika L293D	11	1	11
potencjometr drutowy	4,9	1	4,9
gniazdo jednorzędowe BLS-09	0,45	2	0,9
BL-T piny do gniazd BLS	0,1	24	2,4
gniazdo jednorzędowe BLS-02	0,1	2	0,2
podstawka DIL-28	0,5	1	0,5
zestaw przewodów	7	1	7
płytką prototypowa SD12NB	14	1	14
listwa dwurzędowa PLD40	1,5	1	1,5
stabilizator napięcia L-7805C	1,9	1	1,9
transoptory CNY70	3	7	21
rezonator kwarcowy	1,8	1	1,8
dławik 12uH	0,2	1	0,2
LEDy 5mm	0,4	5	2
silnik + koło	17	2	34
listwa jednorzędowa PLS-40	1,4	2	2,8
papier kredowy	0,6	1	0,6
zestaw 8 baterii AA	15	1	15
komparatory	0,7	2	1,4
koszyki	2,5	2	5
ATmega8A-PU	6	1	6
łącznie			157,7

Tabela 2: Wykorzystane rezystory (w zł)

Nazwa	Koszt	Ilość	Suma
metaloxid 150Ω	0,2	3	0,6
metaloxid 100kΩ	0,2	7	1,4
węglowy 10kΩ	0,3	8	2,4
węglowy 240Ω	0,3	7	2,1
łącznie			6,5

Tabela 3: Wykorzystane kondensatory (w zł)

Nazwa	Koszt	Ilość	Suma
ceram. dyskowy 100 nF	0,2	12	2,4
elektrolityczny 10 uF	0,5	2	1
elektrolityczny 47 uF	0,2	2	0,4
elektrolityczny 22 uF	0,2	1	0,2
ceramiczny 22 pF	0,2	2	0,4
łącznie			4,4

## 4 Schemat ideowy

### 4.1 Jednostka centralna

Sercem robota jest mikrokontroler ATmega8A-PU. Zdecydowaliśmy się na niego ze względu na cenę, łatwość programowania oraz jego popularność, co miało szczególnie znaczenie podczas problemów z działaniem robota. Doskonała dokumentacja do ATmegi i wiele rozwiązań powszechnie dostępnych w Sieci zdecydowanie ułatwiło nam okiełznanie Papaja i zabezpieczenie go przed niepożdanym działaniem. Poza tym uważaemy, że Arduino jest dla słabych i jego wybór mógłby być drogą na skróty, co uwłaszczałoby naszej godności, honorowi i rozumowi człowieka.

Utwierdziliśmy się w przekonaniu, że nasza decyzja była słuszna, gdy okazało się, że naszym wyborem zainspirowało się wiele grup występujących w konkursie RoboDay. Jedna z nich nawet wyładowała na podium, zatem możemy z całą pewnością stwierdzić, że jest to też nasz sukces. Można nawet zaryzykować stwierdzenie, że de facto zajęliśmy dwa miejsca na podium, co wprawia nas w zadumę i zachęca do dalszej pracy.

### 4.2 Zasilanie

Zasilanie było zdecydowanie największym wyzwaniem podczas budowy Papaja. Pod uwagę byłybrane najróżniejsze opcje, łącznie z wykorzystaniem używanych akumulatorów pochodzących z telefonów marki Nokia. Zastosowane rozwiązanie, które walnie przyczyniło się do naszego zwycięstwa, przyszło do nas z najmniej spodziewanej strony - sklepu niejakiego Gembary, który zasugerował nam rozwiązanie „tanie i tanio”.

Papaj zasilany jest ośmioma popularnymi paluszkami (baterie AA) połączonymi szeregowo, co zdecydowanie zmniejszyło koszty, zapewniało większą elastyczność i dawało nam całe 12V do wykorzystania. Rozwiązanie to ma jednak dużą wadę - znaczco zwiększa masę robota, co w połączeniu z umiejscowieniem baterii w tylnej części robota powodowało, że Papaj podnosił się i rwał ku radości całego zespołu.

W celu stabilizowania napięcia dla elektroniki na poziomie 5V zastosowany został stabilizator L-7805C i dał radę. Silniki natomiast delektovaly się pełnym napięciem z baterii wynoszącym 12V.

### 4.3 Czujniki odbiciowe

Papaj w celu wywieszenia linii korzysta z 7 transceptorów CNY70 - ustaliliśmy tę liczbę doświadczalnie metodą prób i błędów. Poza tym liczba 7 jest liczbą szczególnie i w naszym przypadku sprawdziło się to w stu procentach.

Osobną kwestią był sposób ich połączenia z mikrokontrolerem. Na początku myśleliśmy nad rozwiązaniem programowym, tj. podłączenie sygnału z czujników bezpośrednio do wejść ADC. To rozwiązanie jednak zostało szybko porzucone z następujących powodów:

- ATmega8A-PU ma tylko 6 wejść ADC,
- programowanie ADC na ATmegach jest niezbyt ciekawe,
- nie chciało się nam.

Stąd też podjęliśmy decyzję o wykorzystaniu rozwiązania sprzętowego, czyli podłączenia transistorów do zewnętrznych komparatorów (odpowiedzialnych za zamianę sygnału analogowego na cyfrowy), które z kolei są podłączone do wejść cyfrowych ATmegi.

Ponieważ warunki oświetleniowe w korytarzu BT nie należą do specjalnie dobrych, niezbędne było użycie potencjometru, dzięki któremu poprzez zmianę napięcia odniesienia ustalaliśmy wedle potrzeby próg decyzji (tj. przejście między sygnałem 0 i 1). Miało to szczególne znaczenie podczas zawodów, gdyż na trasie białe nie było białe, a czarne też nie było czarne.

## 5 Mechanika

### 5.1 Płytki

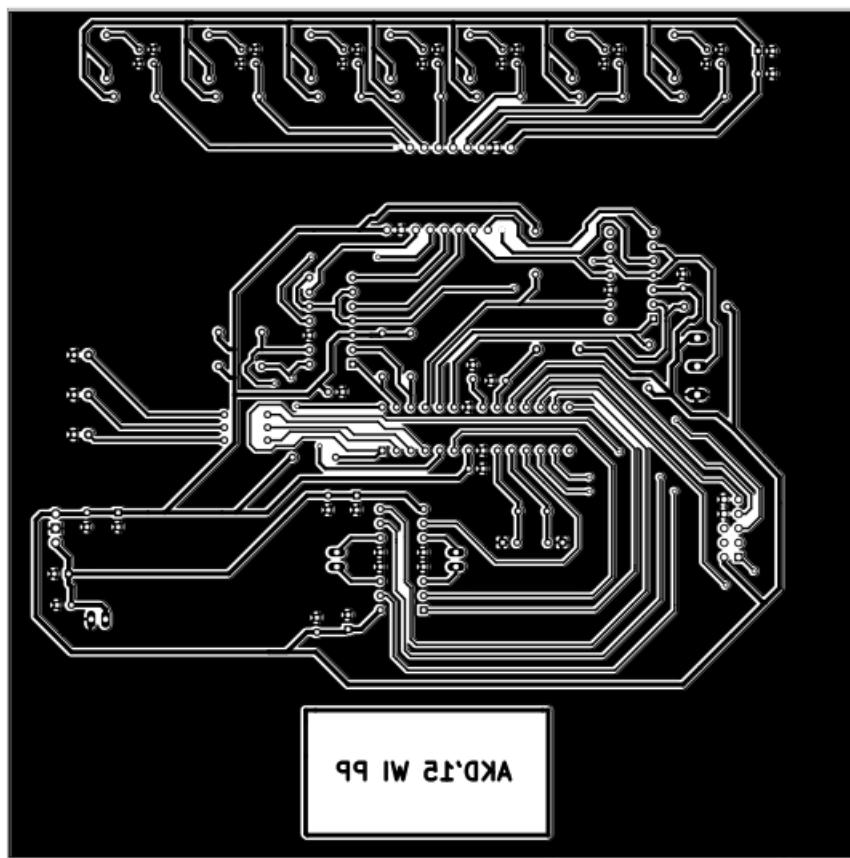
Centralnym elementem, łączącym komponenty robota w całość jest drukowana płytka PCB (Printed Circuit Board). Jej ścieżki zastąpić miały dziesiątki kabli i przewodów łączących elementy. Proces budowy takiej płytki nie jest trudny i skomplikowany, pod warunkiem oczywiście, że człowiek wykona swoją pracę starannie, dokładnie i z pełnym oddaniem.

#### 5.1.1 Projektowanie

Płytkę należało zaprojektować w odpowiednio dla tego celu stworzonym programie. Początkowo nasza płytka była tworzona w słynnym EAGLE'u, ostatecznie jednak porzuciliśmy go na rzecz KiCADA, ponieważ jest to narzędzie open-source, a takie oprogramowanie jest szczególnie bliskie naszemu sercu. Niestety, mimo naszej niechęci do zamkniętego oprogramowania nadal byliśmy zmuszeni skorzystać z systemu operacyjnego Windows.

Projekt ten musiał być wykonany w odbiciu lustrzanym, tak, aby po odbiciu obrazu na płytce, była ona w prawidłowym położeniu. Aby ułatwić sobie nieco sprawę, umieściliśmy na płytce napis „AKD'15 WI PP” ku chwale Akademii Kreatywnego Działania dr Rafała Klausa.

Na wyjściu programu otrzymaliśmy jednostronną płytkę PCB. Niestety sieć połączeń nie zapewniała możliwości poprowadzenia naraz wszystkich połączeń bezkolizyjnie, dlatego też potrzebne było poprowadzenie paru połączeń dodatkowymi kablami. Dzięki temu udało się uniknąć konieczności projektowania znacznie bardziej skomplikowanej konstrukcyjnie płytki dwustronnej.



Rysunek 1: Projekt płytki

### **5.1.2 Drukowanie**

Profesjonalisci biegli w konstruowaniu płytka dysponują sprzętem, który umożliwia konstruowanie płytka o wielu warstwach. Sprzętem takim dysponuje również nasza politechnika, lecz jak się okazało, korzystanie z podobnego sprzętu zostało zakazane. Zostaliśmy zobligowani do metody chałupniczej, tzw. żelazkowej, profesjonalnie nazywaną metodą termotransferową. Drukowanie postępuowało w następujących etapach:

- Wydrukować drukarką laserową, w możliwie jak najlepszej jakości, obraz płytki powstałego w wyniku realizacji punktu 1. Preferowanym typem papieru jest tzw. papier kredowy, którego przewaga nad zwykłym papierem jest taka, że jego powierzchnia jest bardzo śliska, dzięki czemu słabiej doń przywiera toner.
- Dociąć laminat do rozmiaru wydrukowanego obrazu. Jeśli nie jest on pierwszy raz drukowany, należy go bardzo dokładnie umyć z resztek toneru oraz innych zabrudzeń.
- Przyłożyć papier kredowy do laminatu i dokładnie nałożyć papier, brzegi zaś kartki nie będące zadrukowane tonerem, użyć do przyklejenia do kartki. Zwrócić uwagę na faldfki papieru, brudy oraz inne podobne defekty.
- Ogrzewać płytka rozgrzanym żelazkiem. Ma ono być możliwie jak najcieplejsze. Dokładnie zgrzać całą powierzchnię kartki, zwracając również uwagę na brzegi kartki, zazwyczaj traktowane po macoszemu. Czas trwania kroku powinien wynosić ok. 15-20 minut. W wyniku okazać się ma, że cały toner został odklejony z papieru i odbił się na miedzianej stronie laminatu.
- Włożyć płytka do wody. Można dodać parę kropel detergentu. Płytkę trzymać w wodzie przez około 15 minut - dzięki temu papier zostanie dobrze odmoczony i będzie lepiej odchodzić od tonera. Po odmoczeniu płytka odkleić taśmę klejącą i zdjąć kartkę. Jeśli w wyniku tego nie odejdzie większa część obrazu, można przejść do kolejnego punktu, w przeciwnym razie należy powtórzyć całą procedurę powtórnie. Nasza grupa była zmuszona do trzykrotnego drukowania płytka na nowo. Nie należy zatem zrażać się niepowodzeniami, bo jest to klucz do sukcesu.
- Ostrożnie, z wyczuciem odpowiednim ścierać palcem resztki papieru - TYLKO W MIEJSCACH KTÓRE NIE SĄ POKRYTE CZARNYM TONEREM. Ułatwieniem jest z pewnością to, że białe miejsca nie są do niczego przyklejone, dzięki czemu teoretycznie łatwiej odchodzą. Należy co jakiś czas wkładać ponownie płytka do wody, z powodu, że woda co jakiś czas znika z powierzchni płytka - głównie przez kontakt z dłońmi oraz w wyniku parowania. Należy uważnie odsłonić ścieżki, tak, że będą one błyszczeć miedzią, z której w rzeczywistości są zbudowane. Jest to najźmudniejsza część metody termotransferowej (nam zajęła około 2 godzin).

Metoda ta jest przyczyną bólu rąk, dlatego też ważne jest by działać w zespole oraz wykazać się kreatywnością w konstrukcji narzędzi, np. małego rylca do zdzierania resztek papieru. Pomocą w takim wypadku jest Sz. P. Antonio Vivaldi, którego muzyka pomogła nam przejść ten uciążliwy proces. Serdecznie polecamy jego utwory młodym elektrotechnikom.

### 5.1.3 Trawienie

Należy znaleźć odpowiednie naczynie, które umożliwiałło zanurzenie w nim płytki w całości. Naczynie winno mieć odpowiednie parametry mechaniczno-chemiczne, takie jak: brak zewnętrznych otworów umożliwiających dyfuzję płynu trawiącego z otoczeniem (np. dziury) czy odporność na rozpuszczenie.

Nalewamy do naczynia wody o temperaturze około 50 stopni. Do tej wody wsypujemy proszek wytrawiacza i mieszamy (nie palcem, ale szczoteczką do zębów się nada). Wkładamy laminat do kwasu i czekamy patrząc co się dzieje, można też delikatnie przecierać powierzchnię szczoteczką do zębów. Woda zacznie się robić turkusowa (utleniona miedź). Jeśli temperatura roztworu będzie spadać, można ją podgrzać w garnku, a następnie znowu zalać laminat.

Zwykle trawienie trwa od 15-30 minut, w zależności od stężenia kwasu i temperatury. Kiedy wytrawi się miedź dookoła farby i wydaje nam się że jest gotowa, wyciągamy płytę z kwasu. Następnie delikatnie myjemy wacikiem namoczonym w rozpuszczalniku farby. Naszym oczom ukaże się piękna ścieżka z miedzi. Myjemy ją mydłem z rozpuszczalnika i suszymy.

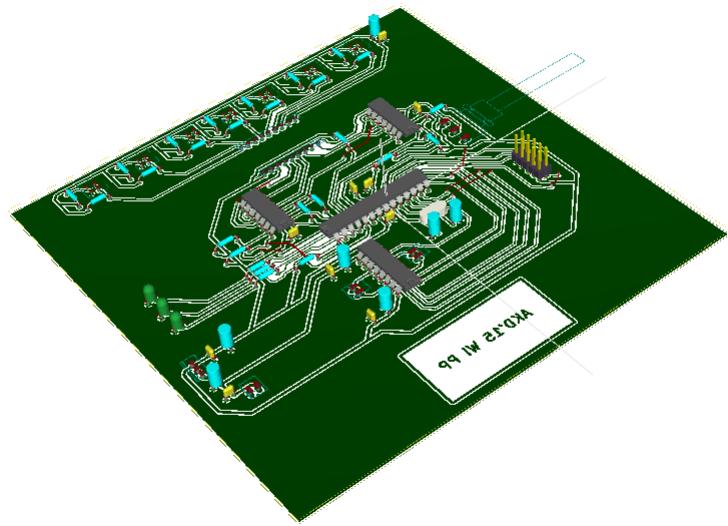
### 5.1.4 Wiercenie i lutowanie

Po operacji trawienia płytka była gotowa do wiercenia. Została ona zatem potraktowana wiertłem 0,7 mm umieszczonym w wiertarce udostępnionej nam przez naszego mentora, dr Klausa.

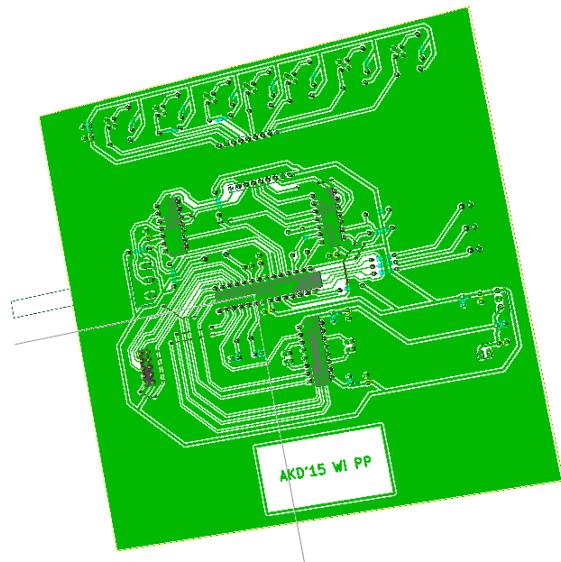
Ponieważ wiercenie przebiegło bez większych problemów, natychmiast podjęliśmy się lutowania elementów na płytce. Najpierw płytka została posmarowana roztworem denaturatu i kalafonii - dzięki temu rozwiązaniu cyna łatwiej przylega do płytki. Do lutowania użyliśmy ambitnego sprzętu znany powszechnie jako stacja lutownicza o regulowanej temperaturze z wykorzystaniem cyny 0,8 mm.

Teoretycznie lutowanie powinien ułatwić fakt, że mieliśmy do czynienia wyłącznie z elementami przelotowymi (tj. posiadającymi przewody, które są potem wkładane w otwory przelotowe na płytce drukowanej i lutowane), jednak spotkaliśmy się z paroma istotnymi problemami:

- masa zworek (niepożądanych zwarć pomiędzy ścieżkami), które trzeba było usunąć;
- zimne luty (które mogły powodować przerwanie obwodu i wymagały poprawy),
- wszystkie ścieżki trzeba było mozołnie testować miernikiem,



Rysunek 2: Płytki PCB - rzut górnny



Rysunek 3: Płytki PCB - rzut dolny

- gorąca kalafonia nam się wylała, co spowodowało, że dostaliśmy tylko 4.5 za wygląd Papaja;
- brak doświadczenia, co skutecznie wydłużyło prace.

Z powyższych powodów koszmar zwany lutowaniem skończył się po mniej więcej dwóch dniach. Jeżeli tak powstaje Chocapic, to współczujemy firmie Nestlé.

Niemniej było to dla nas miłe doświadczenie i uważamy, że było warto, bo człowiek po takiej działalności czuje dobrze.

#### **5.1.5 Uwagi**

Często zdarza się, że palec producenta płytka jest zbyt szorstki (tak że zrywa większe połacie tonera) lub jego oko jest na tyle nieuwazne, że nie dostrzegł, że w którymś miejscu płytka ścieżka jest pokryta papierem. Nie jest to powód do tego, aby ulec załamaniu nerwowemu oraz innym objawom głębokiej depresji.

W przypadku zdarcia czarnych elementów obrazu płytka, należy zaopatrzyć się w możliwie jak najcięższy flamaster, o właściwościach zapewniających odporność na wodę. Właściwość ta daje ogromne szanse na to, że również ów tusz oprze się wytrawiaczowi. Należy wówczas dorysować zerwane części obrazu. W przypadku jednak, gdyby metoda ta nie pomogła, należy poprowadzić kabel zwykły między brakującymi ścieżkami.

Innym defektem jest połączenie się ścieżek, w wyniku niedbałego ściągnięcia papieru z powierzchni płytka. Wówczas może dojść do zwarcia, czyli sytuacji, gdzie przewody nie stykają się w kontrolowany sposób, a raczej gdzieś pośrodku. Należy problem ten rozwiązać poprzez przecięcie ścieżek nożem.

## **5.2 Układ jezdny**

Napęd robota składa się z dwóch silniczków. Ich działanie opiera się na metodzie różnicowej, stosowanej chociażby w czołgach. Każde koło jest oddzielnie napędzane i skręt wynika z tego, że jedno koło kręci się szybciej od drugiego. W tym celu został wykorzystany układ L293, który miał na celu sterowanie pracą silników. Regulacja prędkości obrotowej kół odbywa się poprzez PWM (regulację współczynników wypełnienia).

Ruch kólek czerpie się z działania silniczków elektrycznych, których szybkość jest zależna od ilości napięcia, jakie zostanie dostarczone na styki. Konieczną procedurą było zatem sprawienie, że ruch silniczka miałby wpływ na ruch kółka. Należało skonstruować jakiś mechanizm przeniesienia jednego ruchu na drugi.

„Należało” - słowo to padło nieprzypadkowo, ponieważ zaniechaliśmy konstrukcji własnej roboty. Były to mechanizm niedoskonały, który znacznie spowolniłby robota z powodu niedoskonałości technicznych układu przełożenia. Z tego też powodu postanowiliśmy zainwestować więcej pieniędzy w silniczki, które miało gotową zębatkę dopasowaną do dołączonego kółka. Układ ten bardzo dobrze się sprawdził, nie „gubił” kroków i dzięki temu robot nasz mógł poruszać się tempem bardzo szybkim.

Najprostsza jednak wersja napędu opiera się na przekładni pasowej zbudowanej z popularnej gumki recepturki. Daje ona rezultaty, jest do tego opcją budżetową i ekonomiczną, jednakże ma mały współczynnik tarcia statycznego i nie może osiągnąć zachwycającej prędkości. Rozwiążanie dylematu prędkość vs. koszty zostawiamy Czytelnikowi, którego bardzo serdecznie pozdrawiamy. Osoby posiadające zabawki mogą się również postarać o sprawdzenie, czy z ich komponentów nie dałoby się stworzyć napędu. Przydatne byłby wszelkiego rodzaju zębatki. Ważna jest kreatywność, otwarty umysł i wiara we własne możliwości.

## 6 Algorytm

Algorytm opiera się na zasadzie działania regulatora PID. W każdej iteracji (około 3000 na sekundę) program sprawdza, który najbardziej skrajny czujnik wykrywa linię. Każdemu czujnikowi przypisane są odpowiednie wagи - po prawej stronie robota są dodatnie, a po lewej ujemne. Następnie wyliczane są wartości członów:

- proporcjonalnego (bezpośrednio wskazującego na kierunek, w którym znajduje się linia),
- różniczkującego (odpowiedzialnego za nagłą zmianę kierunku jazdy),
- całkującego (odpowiedzialnego za stopniowe zmniejszanie promienia skrętu w wypadku pokonywania długiego zakrętu).

Ich suma podstawiana jest do zmiennej *steeringValue*, której wartość następnie zmniejsza/zwiększa się tak, aby mieściła się w przedziale (-1000; 1000). Jeśli jest ujemna (czyli robot powinien skracać w lewo), ustawiana jest maksymalna prędkość prawego koła, a prędkość lewego jest pomniejszana o wartość bezwzględną *steeringValue*. Jeśli jest dodatnia (czyli robot powinien skracać w prawo), ustawiana jest maksymalna prędkość lewego koła, a prędkość prawego jest pomniejszana o wartość bezwzględną *steeringValue*.

Przy bardzo ostrych skrętach robot wyjeźdża poza linię (stan zerowy wszystkich czujników). W takim wypadku, aby przyspieszyć jego powrót (który normalnie zostałby również wykonany, dzięki członowi całkującemu), tymczasowo ignorowana jest wartość *steeringValue* i uruchomiona zostaje procedura przywracania robota na trasę, poprzez wykonanie gwałtownego skrętu w stronę ostatniego czujnika, pod którym wcześniej wykryta była linia, tj. w wypadku ostrego skrętu w prawo prędkość lewego koła jest ustawiana na maksymalną, natomiast prawe koło jest przez krótki okres wycofywane, co jeszcze bardziej zmniejsza promień skrętu. Po ponownym wykryciu linii program powraca do normalnej pracy.

Prędkość kół ustawiana jest za pomocą metod *setLeftMotorPwm* oraz *setRightMotorPwm*, przyjmujących wartości z zakresu od 0 do 1000 i przekształcających je liniowo do przedziału opisywanego przez stałe *lmin*, *lmax* lub *rmin* oraz

*rmax*, które definiują minimalne oraz maksymalne wypełnienie sygnału PWM na wyjściu do odpowiedniego silnika. Przykładowo przy ustawieniu:

```
const int lmin = 0;  
const int rmin = 0;  
const int rmax = 380;  
const int lmax = 400;
```

wywołanie funkcji:

```
setLeftMotorPwm(900);
```

spowodowałoby ustawienie wysokiej prędkości dla lewego silnika (wypełnienie PWM = 360).

## 7 Podziękowania

Na wstępie chcielibyśmy podziękować naszemu prowadzącemu, dr inż. Rafałowi Klausowi, za nieocenione wsparcie i wkład w budowę naszego robota. Jesteśmy dumni ze współpracy z dr Klausem i mamy cichą nadzieję, że również on jest z naszej pracy dumny.

Dziękujemy także Maciejowi Uniejewskiemu i Mateuszowi Sarbinowskiemu, którzy wytykając nam brak ambicji i odrzucając naszą propozycję współpracy, zachęcili nas do tytanicznej pracy zakończonej pełnym sukcesem. To był z Waszej strony jawny szwindel i obiecujemy, że tego Wam nigdy nie zapomnimy. Z litości nie będziemy wspominać, jakie pozycje w konkursie zajęły grupy, do których dwie powyższe jednostki należały.

Nie możemy zapomnieć również o Janie Pawle II, który dawał nam inspirację i chęci do tworzenia robota, pomimo wszelkich przeciwności losu. Wierzymy, że patrzy teraz na nas z góry i raduje się, że wszystko zrobiliśmy tak jak Pan Jezus powiedział.

Na koniec pragniemy serdecznie podziękować grupie tworzącej robota „Mały, ale wariat” z Aleksandrą Kobus na czele. Doprawdy rzadko zdarza się sytuacja, aby grupa, która sama tworzyła trasę finalną i miała przywilej testowania swojego robota na swojej trasie parę dni przed zawodami, zawody te przegrała. Szczero gratulujemy.

## Kod źródłowy

```
1 #include </io.h>
2 #include <util/delay.h>
3
4 /*****
5 //          Global variables
6 *****/
7 int k[7] = {1000, 400, 200, 0, -200, -400, -1000};
8 int intPartBoundaries[7] = {450, 350, 250, 0, -250, -350, -450};
9
10 /*
11 Kp = Proportional Constant.
12 Ki = Integral Constant.
13 Kd = Derivative Constant.
14 err = Expected Output - Actual Output ie. error;
15 int  = int from previous loop + err; ( i.e. integral error )
16 der  = err - err from previous loop; ( i.e. differential error)
17 dt = execution time of loop.
18 */
19
20 float kP = 2;
21 float kD = 1;
22 float kI = 4;
23
24 float err;
25 float integralError;
26 float differentialError;
27
28 const float dt = 0.0003;
29 const int brakeForce = 600;
30
31 float diffPart = 0;
32 float intPart = 0;
33 int propPart = 0;
34
35 int current_read = 0;
36 int previous_read = 0;
37
38 /**
39 * Global variable for storing the binary input from sensors.
40 * The bits are as following:
41 * 2^7 = none
42 * 2^6 = most left sensor
43 * 2^5 = second most left
```

```

45  *  $2^0$  = most right
46  *
47  * bit = 1 -> Sensor is above the line
48  * bit = 0 -> Sensor is not above the line
49  */
50 int sensors = 0;
51 int activeSensor = 3;
52 int lastKnownNonCenterSensor = 3;
53
54 int isSensorDetected;
55
56 /***** Functions declarations *****/
57 // Functions declarations
58 /*****
59
60 void initialize(void);
61 inline void updateSensors(void);
62 inline int getSteeringValue(void);
63
64 inline void computeP(void);
65 inline void computeI(void);
66 inline void computeD(void);
67
68 /**
69  * Changes the speed of the motor.
70  * Value is between 0 and 1000 (1000 is a max speed)
71  *
72 */
73 void setLeftMotorPwm(int value);
74 void setRightMotorPwm(int value);
75
76
77 /***** Main *****/
78 // Main
79 /*****
80
81 int main(void)
82 {
83     initialize();
84
85     int steeringValue = 0;
86     activeSensor = 3;
87     isSensorDetected=1;
88
89     while(1)
90     {

```

```

91     updateSensors();

92

93     current_read = getSteeringValue();
94     differentialError = current_read - previous_read;
95

96     computeP();
97     computeI();
98     computeD();
99

100    steeringValue = diffPart + (int)intPart +
101        ↪ propPart;

102    if (steeringValue > 1000)
103        steeringValue = 1000;
104    else if (steeringValue < -1000)
105        steeringValue = -1000;
106

107    if(!isSensorDetected && lastKnownNonCenterSensor
108        ↪ != 3)
109    {
110        if (lastKnownNonCenterSensor > 3)
111        {
112            intPart = diffPart - 0;
113            setRightMotorPwm(1000);
114            PORTD &= ~(1 << 6); //DIR B1
115            PORTD |= (1 << 7); //DIR B2
116            setLeftMotorPwm(brakeForce);
117        }
118        else if (lastKnownNonCenterSensor < 3)
119        {
120            intPart = diffPart = 0;
121            PORTD &= ~(1 << 4); //DIR A1
122            PORTD |= (1 << 5); //DIR A2
123            setRightMotorPwm(brakeForce);
124            setLeftMotorPwm(1000);
125        }
126    }
127    else if(steeringValue > 0)
128    {
129        PORTD |= (1 << 4); //DIR A1
130        PORTD &= ~(1 << 5); //DIR A2
131        PORTD |= (1 << 6); //DIR B1
132        PORTD &= ~(1 << 7); //DIR B2
133        setRightMotorPwm(1000 - steeringValue);
134        setLeftMotorPwm(1000);

```

```

135     }
136     else
137     {
138         PORTD |= (1 << 4); //DIR A1
139         PORTD &= ~(1 << 5); //DIR A2
140         PORTD |= (1 << 6); //DIR B1
141         PORTD &= ~(1 << 7); //DIR B2
142         setRightMotorPwm(1000);
143         setLeftMotorPwm(1000 + steeringValue);
144     }
145
146     previous_read = current_read;
147 }
148 }
149
150 *****
151 //
152 Functions definitions
153 *****
154
155 inline void computeP()
156 {
157     propPart = current_read * kP;
158 }
159
160 inline void computeI()
161 {
162     intPart += current_read * kI * dt;
163
164     if (intPart < 0 && intPart <
165         → intPartBoundaries[activeSensor] )
166         intPart = intPartBoundaries[activeSensor];
167     else if (intPart > intPartBoundaries[activeSensor] )
168         intPart = intPartBoundaries[activeSensor];
169
170 }
171
172 inline void computeD()
173 {
174     diffPart = diffPart * (1 - 0.002) + (differentialError *
175         → kD);
176
177
178 /**

```

```

179 * Set global sensor variable.
180 * Each bit is responsible for one sensor.
181 * 1 = sensor detected line, 0 = otherwise.
182 * 2^6 - most left
183 * 2^5 - second most left
184 * ...
185 * 2^1 - second most right
186 * 2^0 - most right
187 */
188 void updateSensors()
189 {
190     sensors = (PINC & 0b00111111) | ((PIND & 8) ? 0b01000000
191     ← : 0);
192     #ifdef WHITE
193     sensors = ~sensors;
194     #endif
195
196     int leftSensor;
197     int rightSensor;
198
199     //selecting active sensor
200
201     for (int i = 0; i < 3; ++i)
202     {
203         leftSensor = (sensors & (1 << i));
204         rightSensor = (sensors & (1 << (6 - i)));
205
206         if (leftSensor && rightSensor)
207         {
208             activeSensor = 3;
209             isSensorDetected = 1;
210             return;
211         }
212
213         if (leftSensor)
214         {
215             activeSensor = i;
216             lastKnownNonCenterSensor = i;
217             isSensorDetected = 1;
218             return;
219         }
220
221         if (rightSensor)
222         {
223             isSensorDetected = 1;

```

```

224             lastKnownNonCenterSensor = 6-i;
225             activeSensor = 6 - i;
226             return;
227         }
228     }
229
230     if(sensors & (1 << 3))
231     {
232         activeSensor = 3;
233         isSensorDetected = 1;
234         return;
235     }
236
237     isSensorDetected = 0;
238 }
239
240 const int lmin = 0;
241 const int rmin = 0;
242
243 const int rmax = 380;
244 const int lmax = 400;
245
246 const int maxSpeed = 1000;
247
248 void setLeftMotorPwm(int value)
249 {
250     OCR1B = lmin + (int)(value * ((float)lmax-lmin) /
251     ↵ maxSpeed);
251 }
252
253 void setRightMotorPwm(int value)
254 {
255     OCR1A = rmin + (int)(value * ((float)rmax-rmin) /
256     ↵ maxSpeed);
256 }
257
258 int getSteeringValue()
259 {
260     return k[activeSensor];
261 }
262
263 void initialize()
264 {
265     // Enable output pins
266     DDRB |= (1 << 1); //PWM A
267     DDRB |= (1 << 2); //PWM B

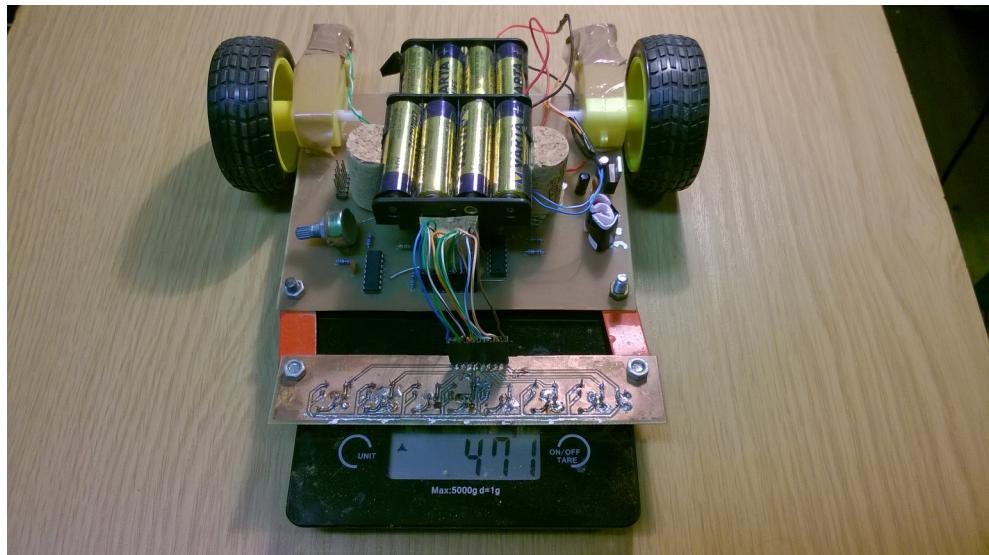
```

```

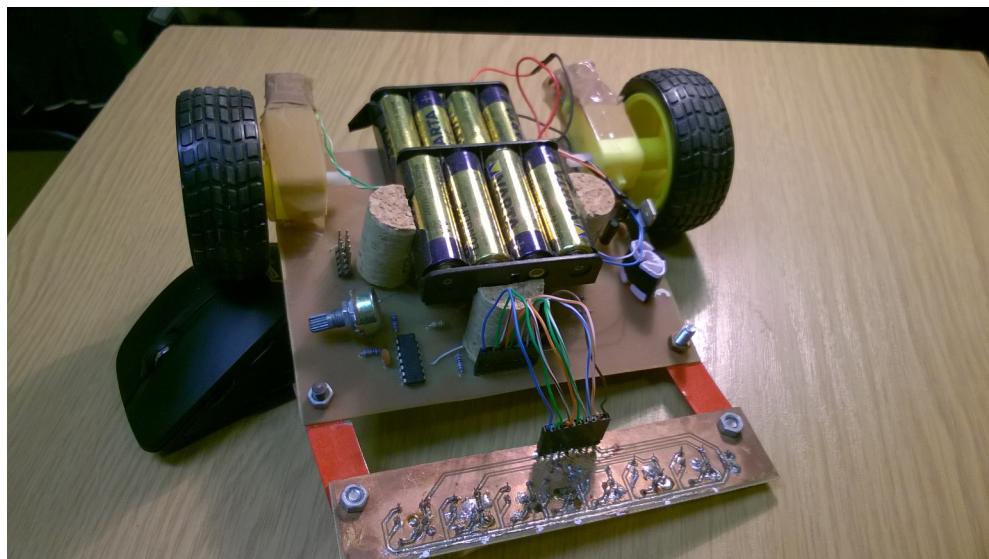
268     DDRD |= (1 << 4); //DIR A1
269     DDRD |= (1 << 5); //DIR A2
270     DDRD |= (1 << 6); //DIR B1
271     DDRD |= (1 << 7); //DIR B2
272     DDRD |= (1 << 0); //Diode 0
273     DDRD |= (1 << 1); //Diode 1
274     DDRD |= (1 << 2); //Diode 2
275
276     //Enable input pins
277     DDRC &= ~(1 << 0); //C1
278     DDRC &= ~(1 << 1); //C2
279     DDRC &= ~(1 << 2); //C3
280     DDRC &= ~(1 << 3); //C4
281     DDRC &= ~(1 << 4); //C5
282     DDRC &= ~(1 << 5); //C6
283     DDRC &= ~(1 << 3); //C7
284
285     //direction constant
286     PORTD |= (1 << 4); //DIR A1
287     PORTD &= ~(1 << 5); //DIR A2
288     PORTD |= (1 << 6); //DIR B1
289     PORTD &= ~(1 << 7); //DIR B2
290
291     //PWM settings
292     ICR1 = 400;
293     //OCR1A = 300;
294     //OCR1B = 300;
295
296     TCCR1A = (1 << COM1A1) | (1 << COM1B1) | (1 << WGM11);
297     TCCR1B = (1 << WGM13) | (1 << WGM12) | (1 << CS10);
298 }

```

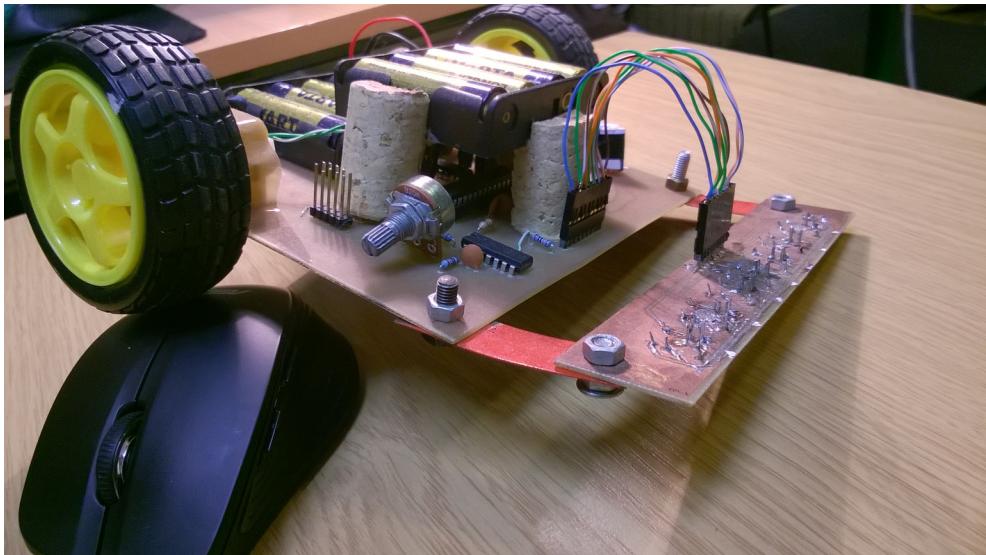
## Zdjęcia



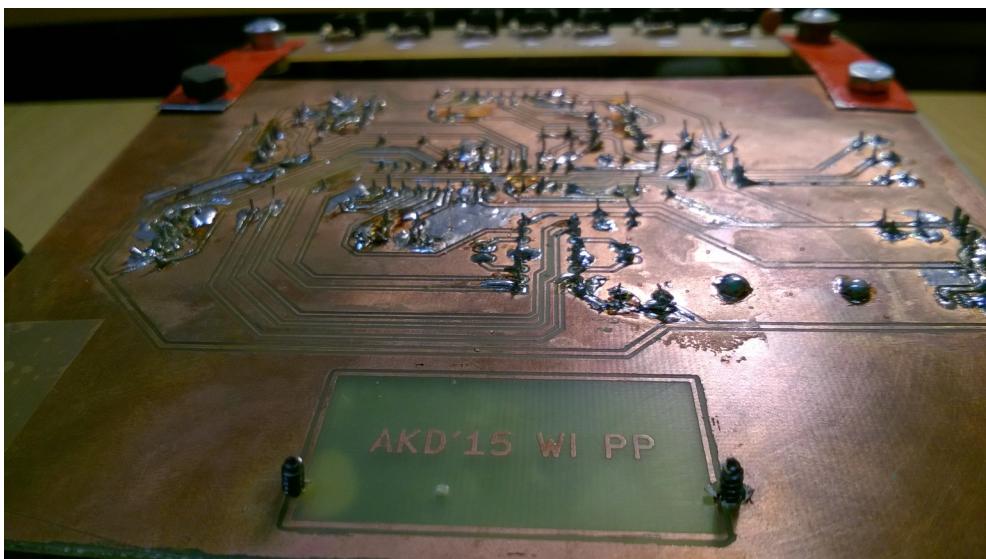
Rysunek 4: Ważenie Papaja.



Rysunek 5: Robot w rzucie ukośnym podparty urządzeniem wskazującym.



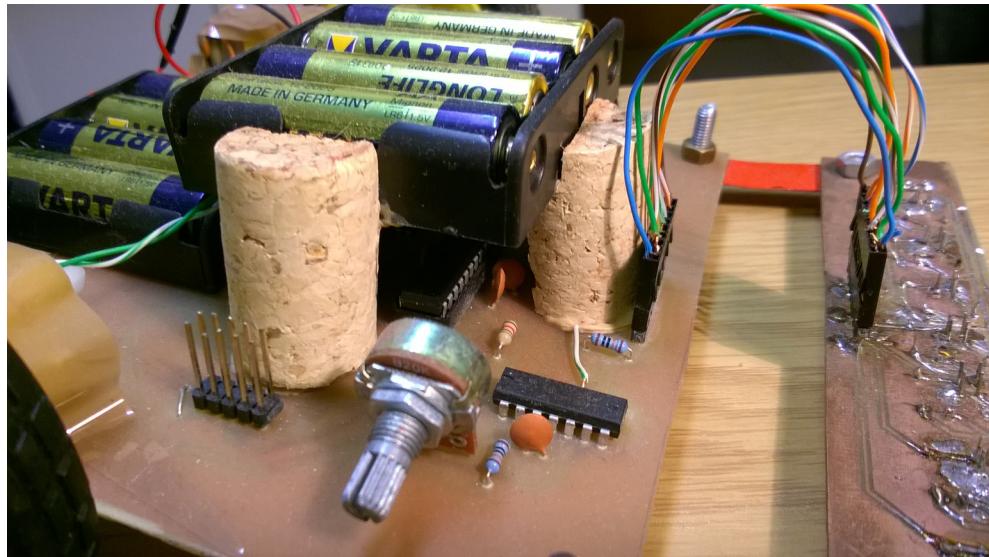
Rysunek 6: Oba urządzenia mają ze sobą wiele wspólnego.



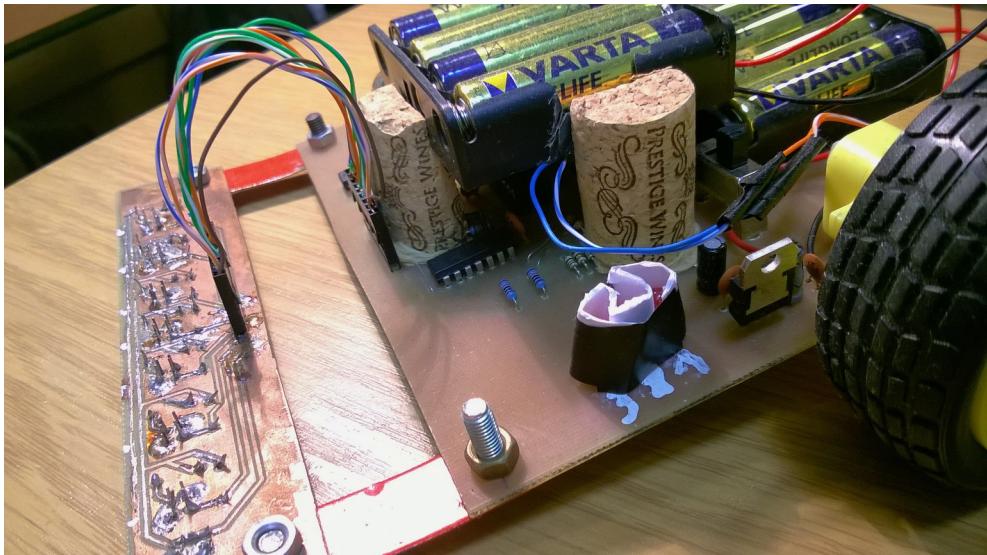
Rysunek 7: Z dedykacją dla naszego mentora.



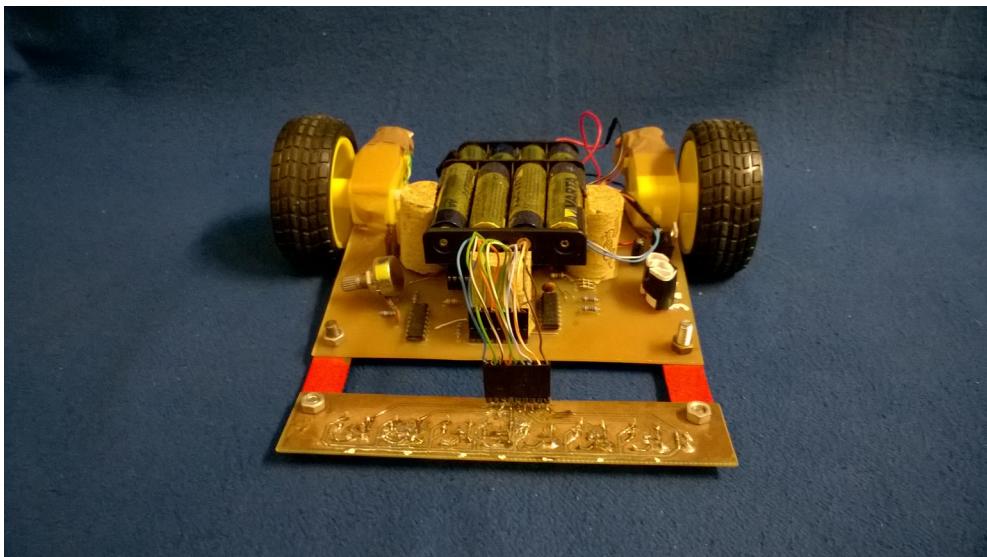
Rysunek 8: Podwozie Papaja w całej okazałości.



Rysunek 9: Zbliżenie na potencjometr oraz niezwykły w swojej prostocie mechanizm dociskający koszyki.



Rysunek 10: Trzeba przyznać, że to rozwiązanie wygląda naprawdę imponująco.



Rysunek 11: Żółty Papaj.

