

# KoNaR

KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW

---

Robot mobilny klasy minisumo

**Yattaman**

---

Marcin Dymczyk

Łukasz Ożarek

Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”

[www.konar.pwr.wroc.pl](http://www.konar.pwr.wroc.pl)

Wrocław 2010

## 1. Wstęp

Yattaman to robot, który powstał jako nasz pierwszy projekt w Kole Naukowym Robotyków KoNaR, w ramach warsztatów dla studentów 2-go roku organizowanych przez starszych członków Koła. Robot powstał w przeciągu miesiąca – tak, by zdążyć na wrocławskie zawody Robotic Arena 2009.

Dokument ten będzie charakteryzować użyte przez nas rozwiązania, a także będzie zawierać ich ewaluację z punktu widzenia naszych doświadczeń z zawodów, w których braliśmy udział: Robotic Arena 2009 (Wrocław) oraz Robot Challenge 2010 (Wiedeń).

Należy również dodać, iż w niniejszym dokumencie zostaną przedstawione dwie wersje robota, bowiem przed zawodami Robot Challenge zaprojektowano i wykonano zupełnie nową płytkę drukowaną oraz wprowadzono pewne poprawki w konstrukcji mechanicznej.

W przypadku jakichkolwiek pytań, niejasności czy też chęci ujrzenia robota „na żywo” zapraszamy do kontaktu poprzez pocztę elektroniczną: [mdymczyk@USUNTOgmail.com](mailto:mdymczyk@USUNTOgmail.com) lub [lozarek@USUNTOwp.pl](mailto:lozarek@USUNTOwp.pl)

Jednocześnie chcielibyśmy podziękować członkom Koła Naukowego KoNaR, którzy swoimi radami i pomocą wsparli budowę opisywanego tu robota.

## 2. Założenia projektu

Ze względu na nasz brak doświadczenia przy budowie robotów oraz ograniczony czas, zdecydowaliśmy się oprzeć naszą konstrukcję o klasyczny projekt KoNaR-u, opublikowany na stronach czasopisma Komputer Świat Ekspert. Nie mieliśmy wyspecjalizowanych założeń konstrukcyjnych. Robot miał dostarczyć nam pierwszych doświadczeń związanych z własnymi konstrukcjami w dziedzinie robotyki.

## 3. Konstrukcja mechaniczna

Podstawą konstrukcji robota jest aluminiowa płytka wycięta w kształcie litery T. Zarówno aluminium jak i użyty w konstrukcji laminat są stosunkowo łatwe w obróbce i wystarczająco wytrzymałe jak na potrzeby robota minusumo. Do obróbki materiałów użyte zostały podstawowe narzędzia tj. nożyce do cięcia, piłki, wiertarka akumulatorowa, pilniki, kombinerki. Do skręcania elementów użyliśmy śrubek i nakrętek z demontażu (śruby M2 są wystarczające wytrzymałe i bardzo kompaktowe). Na podstawie robota umieściliśmy wszystkie elementy.

Serwomechanizmy zamocowano na własnoręcznie wykonanych kątownikach - użyliśmy do tego laminatu dwustronnego (grubość 1,5mm) który bardzo łatwo dał się zlutować a powstałe złącze było wystarczająco wytrzymałe. Przednią oraz tylną płytę umocowaliśmy na kątownikach, a płytki koniecznie musiały być dobrze wyprofilowane tak aby czołowa dobrze przylegała do podłoża a tylna nie była zbyt nisko osadzona. Tylną płytkę pokryliśmy papierem ściernym w nadziei, że rozproszy sygnał czujników przeciwnika, niestety rozwiązanie to się nie sprawdziło.

Kolejnym wykonanym elementem był pług. Wykonany został z laminatu, co ułatwiło jego ostrzenie, aby mieć szansę w zwarciach musiał on idealnie przylegać (krzywo zamocowany

zostawiałby w niektórych miejscach prześwit –stwarzałoby to doskonałą okazję przeciwnikom do uniesienia naszego robota). Zamocowany został do podstawy na zawiasie, dzięki czemu w pewnym sensie pług sam się dopasowywał do podłoża. Dodatkowo został on dociążony od spodu podkładkami, które przylutowaliśmy (estetyka tego rozwiązania nie zachwyca). Pług otwierany jest za pomocą serwomechanizmu (TowerPro SG-50) umieszczonego na płytce z elektroniką. Użyte zostało najmniejsze z łatwo dostępnych tanich serw. Niestety mechanizm otwierania działał zbyt wolno i często pług nie zdążył się otworzyć zanim robot wszedł w zwarcie z przeciwnikiem.

Bateria została zamontowana pod spodem robota, przyklejona na taśmę dwustronną, dzięki temu była dobrze chroniona i zdecydowanie obniżyła środek ciężkości całej konstrukcji. Do przedniej i tylnej płyty dołączone zostały małe płytki z czujnikami białej linii. Przyklejone zostały na gorący klej (łatwy i praktyczny sposób), niestety nie dość że bardzo często się odklejały to był problem z ich ustawieniem tak aby były odpowiednio blisko podłoża. Cztery cyfrowe Sharpy umieszczone zostały na górnej stronie płyty nośnej. Ponieważ są one dużo większe od czujników białej linii i mało narażone, przyklejone zostały na taśmę dwustronną. Płytke z elektroniką umieściliśmy nad serwami, mocując na aluminiowych blaszkach, ręcznie wyciętych i wyprofilowanych.

Po złożeniu części w całość, masa robota okazała się być o ok. 150g mniejsza niż dopuszczalna. Aby robot lepiej wykorzystał mocne serwa dociążyliśmy całą konstrukcję miedzianymi przewodami w pustych przestrzeniach pod płytką. Pojawia się tu problem znalezienia odpowiedniego środka ciężkości, tak aby z jednej strony pług był dociążony (żeby robot nie został podniesiony) z drugiej strony umieszczenie dużej masy na napędem (większy nacisk spowoduje lepszą przyczepność).

#### **4. Płytką drukowaną i dobór elementów**

Projekt części elektronicznej oparto niemalże całkowicie na nieaktualnym już wzorze płytki warsztatowej KoNaRu, z pewnymi modyfikacjami:

- Najważniejszą modyfikacją było stworzenie osobnej, dołączanej płytki zawierającej układ odpowiadający za wykrywanie białej linii (poczwórny wzmacniacz operacyjny + złącza do czujników). Umożliwiło to znaczące zmniejszenie szerokości płyty głównej, mając doprowadzić do zmieszczenia jej pomiędzy kołami (co ostatecznie się nie powiodło ze względu na konieczność umieszczenia serwa otwierającego pług).
- Dodano dodatkową sygnalizacyjną diodę LED – ułatwiała ona diagnostykę i konfigurację robota.
- Przycisk startujący robota znalazł się na przewodzie ze względu na dwa czynniki: ograniczone miejsce na płytce drukowanej oraz wygoda zawodnika naciskającego przycisk (w innych konstrukcjach drżące ręce nierzadko powodowały przedwczesne otwieranie się pługów, falstart itd.)
- Pogrubiono również ścieżki zasilające mostek i silniki – przy prądzie szczytowym sięgającym 2A wąskie ścieżki mogą powodować znaczące spadki napięcia (zaś niestarannie wytrawione ścieżki po prostu się przepalają). W tych miejscach zastosowano szerokość 32-40mils.

## 5. Układ napędowy

Do napędu robota wykorzystano serwa modelarskie TowardPro MG-946R (choć zapewne zostały wyprodukowane w tej samej fabryce co produkty marki TowerPro). Posiadają one zwiększony moment i metalowe tryby w stosunku do najtańszych serw polecanych do robota minisumo. Serwa przerobiono zgodnie z dokumentami na stronie WWW KoNaRu, które bardzo dokładnie opisują niezbędne czynności z tym zastrzeżeniem, iż należało wykręcić kombinerkami metalowy trzpień blokujący pełny obrót serwa. Po tej operacji całą przekładnię nasmarowano olejem do mechanizmów precyzyjnych.

Wzorując się na robocie Druciarz (autorzy: Paweł Kaczmarek i Michał Pochna; patrz dział z Raportami na stronie KoNaR-u), jako koła zastosowaliśmy pokrywki z sosów znanej polskiej marki. Mają one bardzo korzystne wymiary, zapewniając wystarczającą średnicę przy bardzo dużej szerokości. Ponieważ użyte serwomechanizmy mają bardzo małą prędkość obrotową konieczne było użycie kół o jak największej średnicy w celu uzyskania jak największej prędkości. Wyznaczenie środka pokrywki również zostało zaczerpnięte z raportu dotyczącego robota Druciarz.

Po przetestowaniu szeregu materiałów (m.in. guma, silikon, paski z neoprenu) zdecydowano się zastosować uszczelki okienne, powszechnie dostępne w marketach budowlanych. Po przetestowaniu szeregu profili uszczelek (E, D itd.) najlepszy okazał się właśnie profil E. Co więcej, uszczelki różnych kolorów wykazywały różną przyczepność, więc warto sprawdzić wszystkie możliwości przed dokonaniem wyboru.

## 6. Układ zasilania

Do zasilania robota wykorzystano baterię dwóch ogniw litowo-polimerowych firmy 3E (1200mAh, 7,4V). Pojemność akumulatora była zdecydowanie wystarczająca, podczas zawodów nie występowała właściwie konieczność doładowywania akumulatora

**UWAGA!** Ogniwa litowo-polimerowe narzucają kilka wymagań na konstruktora i użytkownika. Należy dbać o ich solidne zabudowanie w robocie (ich przedziurawienie grozi zapaleniem się lub wybuchem). Należy ładować je ładowarką dedykowaną do ogniw Li-Po i najlepiej nie pozostawiać ich podczas tego procesu bez nadzoru. Co równie istotne, rozładowanie poniżej napięcia 2,8V na ogniwo wiąże się z nieodwracalnym uszkodzeniem pakietu i możliwością wybuchu podczas prób ładowania (nam udało się odzyskać jeden zbyt głęboko rozładowany pakiet jednak **odradzamy takie próby i nie ponosimy żadnej odpowiedzialności za ewentualne skutki**)

Ze względu na powyższe wymagania, zakupiliśmy w znanym sklepie modelarskim ładowarkę Graupner Li-Po Charger 4, która wraz zasilaczem 12V 5A znakomicie sprawdza się przy ładowaniu akumulatorów i służy po dziś dzień. Rada – warto zaopatrzyć się w zapasowe bezpieczniki do ładowarki przed zawodami.

## 7. Czujniki

- **Układ wykrywania białej linii**

Schemat zastosowanego układu jest w 100% zgodny z robotem warsztatowym. Opierając się jednak na doświadczeniach starszych kolegów stwierdzono, iż do układu wykrywania białej linii należy podejść ze szczególną dbałością. Dlatego każdy z czujników został umieszczony na osobnej płytce z parą niezbędnych rezystorów. Płytki zostały połączone z głównym układem trzyżyłowym kablem. Takie rozwiązanie znacząco poprawiło niezawodność Yattamana.

- **Wykrywanie przeciwnika – dalmierze cyfrowe Sharp GP2Y0D340**

W okresie konstrukcji robota yattaman można było odczuć pewną niechęć naszych starszych kolegów do cyfrowych dalmierzy optycznych. Uważano, że binarny odczyt to zbyt mało informacji, a punktowa wiązka czujników nie sprzyja efektywnemu działaniu. Jak się okazało – wybór tych czujników był doskonałą decyzją. Nie dotyczą ich bowiem kłopoty z szumem i zakłóceniami (jak w przypadku analogowych odpowiedników), są znacząco mniejsze, o połowę tańsze, a jednocześnie proste algorytmy w wolnych robotach nie potrzebują informacji o odległości do przeciwnika.

Również w przypadku dalmierzy zdecydowano się na zastosowanie dodatkowych płytek (o niewielkich rozmiarach) wraz z niezbędnymi elementami. Zapewniło to stuprocentową do tej pory niezawodność funkcjonowania wszystkich czterech czujników.

Doświadczenia przy aplikacji dalmierzy (i głębokie zaufanie wobec ich działania) miały nieoceniony wpływ na sukces następnej konstrukcji – robota yatt.dwa.

## 8. Oprogramowanie

Oprogramowanie robota napisano w języku C i kompilowano przy użyciu avr-gcc. Ze względu na brak doświadczenia przy budowie robotów, cały algorytm opierał się w dużej mierze na przykładowym programie w języku Bascom z cyklu Komputer Świat Ekspert.

Nieco zmodyfikowany program użyty w robocie Yattaman został opublikowany na stronie KoNaRu jako pomoc dla uczestników warsztatów. Kod zawiera dość bogate komentarze, które powinny ułatwić zrozumienie intencji twórców ;)

Wbrew powszechnemu uznaniu wobec skomplikowanych algorytmów poszukiwania przeciwnika zdecydowano się zastosować prosty sposób poszukiwania – jazda do przodu i odbijanie się od białej linii wraz z obrotem w jedną ze stron. Ze względu na dość dużą liczbę niezawodnych czujników sposób ten sprawdził się znakomicie i pozwolił szybko znajdować przeciwnika.

Słowa komentarza należą się również dodanej obsłudze czujników bocznych oraz tylnego:

- Dylemat dotyczący reagowania na obecność przeciwnika z tyłu trwał dość długo. Istniały bowiem dwie możliwości – natychmiastowy obrót lub próba ucieczki. Ze względu na niską prędkość maksymalną (ucieczka nie ma zatem sensu) zdecydowano

się na natychmiastowy obrót. Strategia ta pozwoliła na uniknięcie przegranej w kilku rundach – robot zdążył zareagować na przeciwnika nadciągającego od tyłu.

- Działanie bocznych czujników jest dość banalne – robot zaczyna obracać się w odpowiednim kierunku do momentu, gdy przeciwnik pojawi się w czujniku przednim (centralnym). Wówczas program rozpoczyna procedurę ataku.

Procedura ataku to po prostu jazda do przodu z maksymalną możliwą prędkością.

## 9. Modyfikacje przed zawodami Robot Challenge 2010

Przed wyjazdem na zawody do Wiednia, bazując na doświadczeniach z wrocławskich zawodów, wprowadzono szereg zmian w konstrukcji robota. Był to dobry kierunek dalszego rozwoju robota minisumo opartego o serwomechanizmy.

- Poprawiono przyczepność poprzez modyfikację ogumienia robota, wykonanego z uszczelek okiennych profil E – nożem do tapet wykrojono rowki tak, by powierzchnia uszczelki była gładka.
- Głównym celem zmian w układzie elektronicznym było zwiększenie niezawodności i umożliwienie łatwiejszej diagnostyki. Do tego celu niezbędne było użycie większej liczby portów procesora – zastosowano mikrokontroler Atmel ATmega16.
- Ze względu na nowy typ mikrokontrolera zaistniała konieczność montażu powierzchniowego (obudowa TQFP44 jest znacznie bardziej kompaktowa w stosunku do DIP40). Umożliwiło to daleko posunięte zmniejszenie rozmiarów płyty głównej robota.
- Zamiast dwóch udało się wprowadzić cztery diody LED. Poprawiło to łatwość kontroli funkcjonowania robota.
- Dodano dodatkowy przycisk wprowadzający układ w tryb serwisowy. Po pierwszym naciśnięciu każda z czterech diod LED odpowiadała sygnałowi z czujników białej linii, po drugim naciśnięciu diody odpowiadały poszczególnym dalmierzom optycznym zaś po kolejnym naciśnięciu robot wracał do trybu normalnej pracy.
- Zamiast mostka L298 zastosowano bardzo kompaktowe mostki w obudowie do montażu powierzchniowego - Toshiba TB6612FNG:
  - Rezygnacja ze stosowania mostka L298 wynikała z jego rozmiarów, konieczności użycia sporej liczby dodatkowych elementów (diody), dużego spadku napięcia oraz dość wysokiej ceny
  - W podwójnych układach TB6612 mostkowano oba kanały tak, by podwyższyć maksymalny prąd ciągły (do ok. 2A) i szczytowy (do 3,2A)
  - TB6612 nawet przy dużym obciążeniu właściwie nie grzały się – wynika to z budowy układu w oparciu o tranzystory MOSFET. Nie istniała konieczność stosowania jakiegokolwiek radiatora.
  - **UWAGA:** Ze względu na dużo niższy spadek napięcia należy w rozsądny sposób stosować wysokie wypełnienie sygnału. Podczas prób robota jedno z serw spaliło się – nastąpiło zniszczenie szczotek w silniku. Od tej pory nie przekraczano wypełnienia 93%.
  - Przy lutowaniu układów w obudowie TSSOP topnik w płynie (popularny RF800) okazał się niezwykle pomocny.
- W układzie białej linii zastosowano precyzyjny potencjometr wieloobrotowy – wpłynęło to korzystnie na stabilność ustawień i precyzję regulacji. Dodatkowo

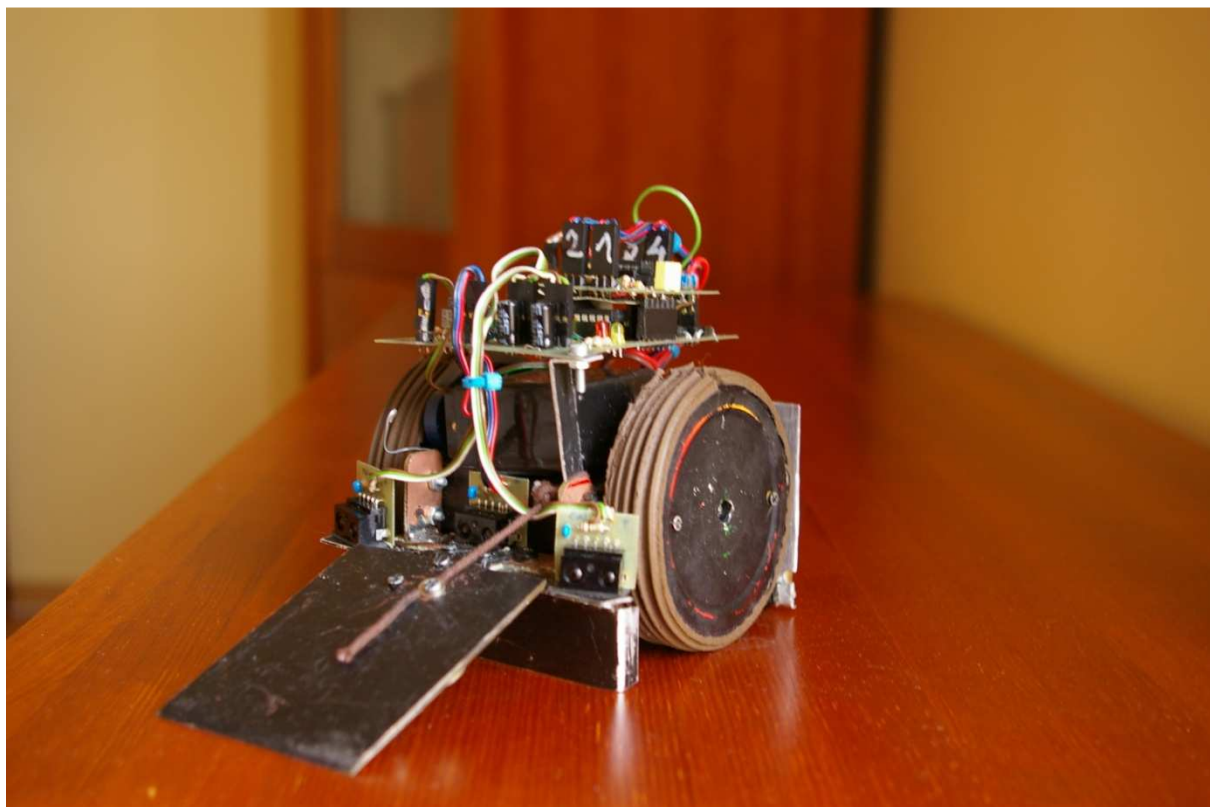
zastosowano podwójne wzmacniacze operacyjne rail-to-rail firmy Maxim, której lepiej sprawują się w przypadku niesymetrycznego zasilania.

- Jako złącza przewodów wysokoprądowych (zasilanie z akumulatora, zasilanie silników) zdecydowano się zastosować terminale ARK (przewody zaciskane śrubką), jako znacznie pewniejszą alternatywę wobec popularnych goldpinów.
- W związku z przypadkami zbyt głębokiego rozładowania pakietu Li-Po wprowadzono kontrolę stanu baterii po włączeniu robota przy użyciu prostego dzielnika rezystorowego i wbudowanego w mikrokontroler przetwornika analogowo-cyfrowego.
- W układzie wprowadzono liczne kondensatory ceramiczne, elektrolityczne i tantalowe służące pozbyciu się zakłóceń z linii zasilania. Szczególnie istotne jest to w przypadku dalmierzy GP2Y0D340, które są źródłem zakłóceń mogących nawet powodować restarty mikrokontrolera.
- Na zawodach okazało się, że bardzo duży moment obrotowy serwomechanizmów nie był potrzebny, Yattaman był przez to stosunkowo wolnym robotem i z powodu ograniczonej masy nie wykorzystał swojej siły napędu. Nasunęło to potrzebę zmiany napędu przy następnej konstrukcji.

## 10. Podsumowanie i wnioski

- Robot yattaman zapewnił swoim konstruktorom wiele satysfakcji, bowiem nadszpiewanie dobrze sprawował się podczas walk. Można przypuszczać, iż główną przyczyną była prostota algorytmu, podążając za maksymą KISS (keep it simple, stupid).
- Zgodnie z przewidywaniami, podstawowym czynnikiem ograniczającym skuteczność robota była prędkość. Układ sensoryczny potrafił szybko odnaleźć przeciwnika jednak zbyt wolny napęd często nie pozwalał wykorzystać tej przewagi. Wydaje się też, iż przy tak wolnym napędzie stosowanie bardziej złożonych algorytmów sterowania robotem traci jakikolwiek sens.
- Zastosowanie dalmierzy optycznych pod kątem pozwoliło niezwykle skutecznie śledzić raz odnalezionego przeciwnika. Umożliwiło to wygranie szeregu walk z dużo silniejszymi i szybszymi robotami.
- Dbłość o odpowiednie prowadzenie ścieżek, właściwie ich szerokości oraz powszechne stosowanie kondensatorów na liniach zasilania z pewnością przyczyniło się do braku jakichkolwiek problemów z błędnym funkcjonowaniem elementów układu.
- Duża przewaga robota wynikała także z zastosowania płytek drukowanych przy czujnikach białej linii i dalmierzach. Pozwoliło to na bardzo pewne wlutowanie elementów i brak obaw co do pękających przewodów/lutów etc. Za tę sugestię należy podziękować autorom robota Druciarz – Pawłowi Kaczmarkowi i Michałowi Pochnie.

Większość powyższych wniosków została wzięta pod uwagę podczas konstrukcji kolejnego robota o nazwie *yatt.dwa*. Zapraszamy do lektury raportu!

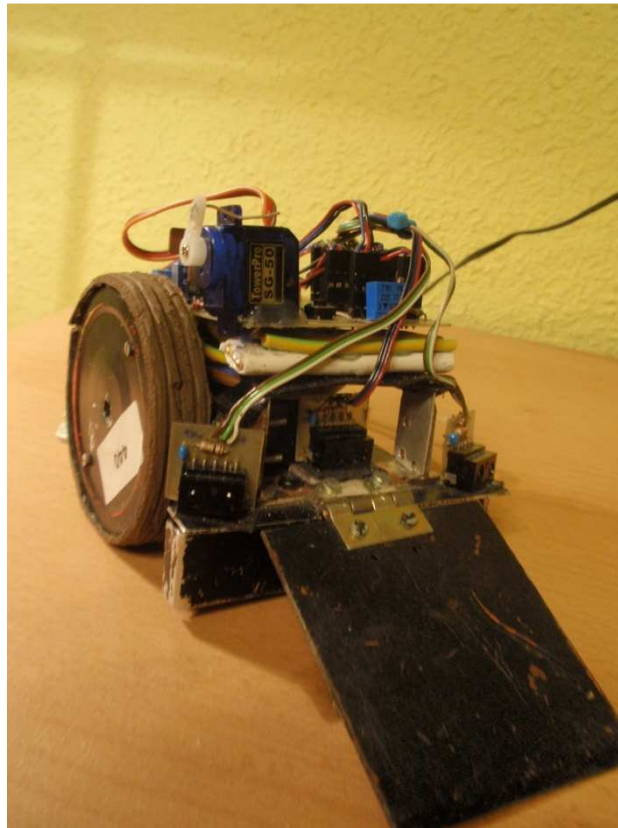


Rys. Robot yattaman w wersji na zawody Robotic Arena 2009

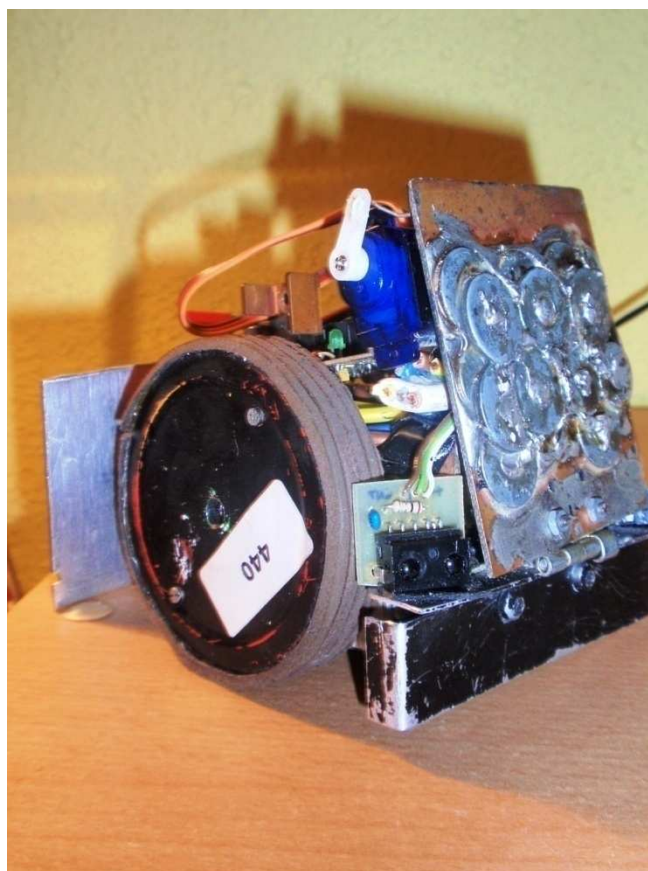


Rys. Płytki robota na zawody Robotic Arena 2009 wraz z przyciskiem startującym

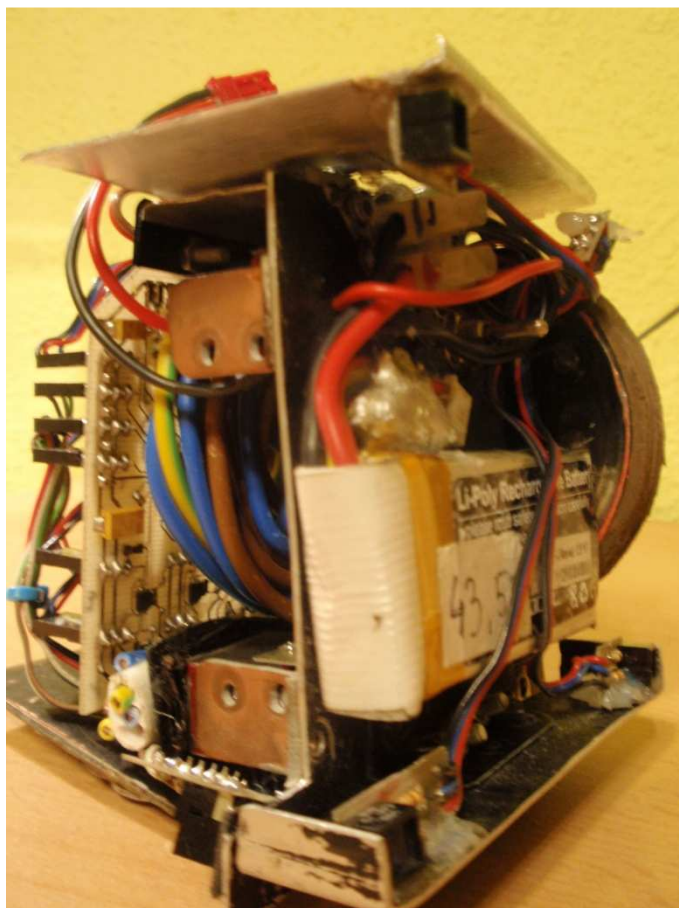




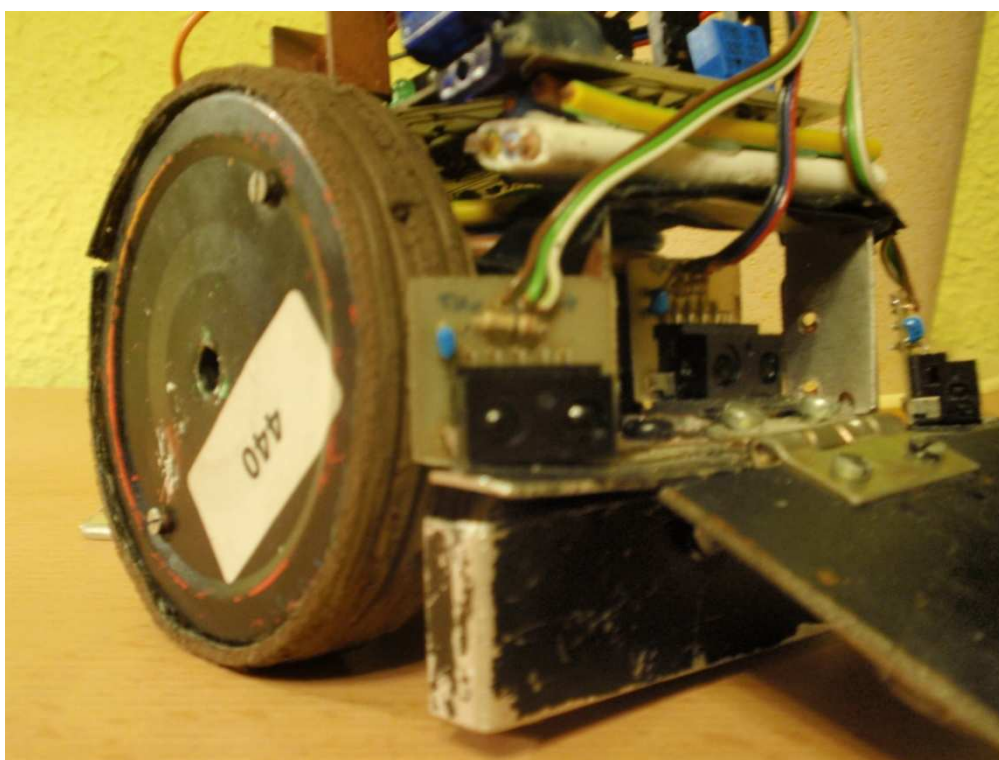
Rys. Widok z przodu wersji – Robot Challenge 2010



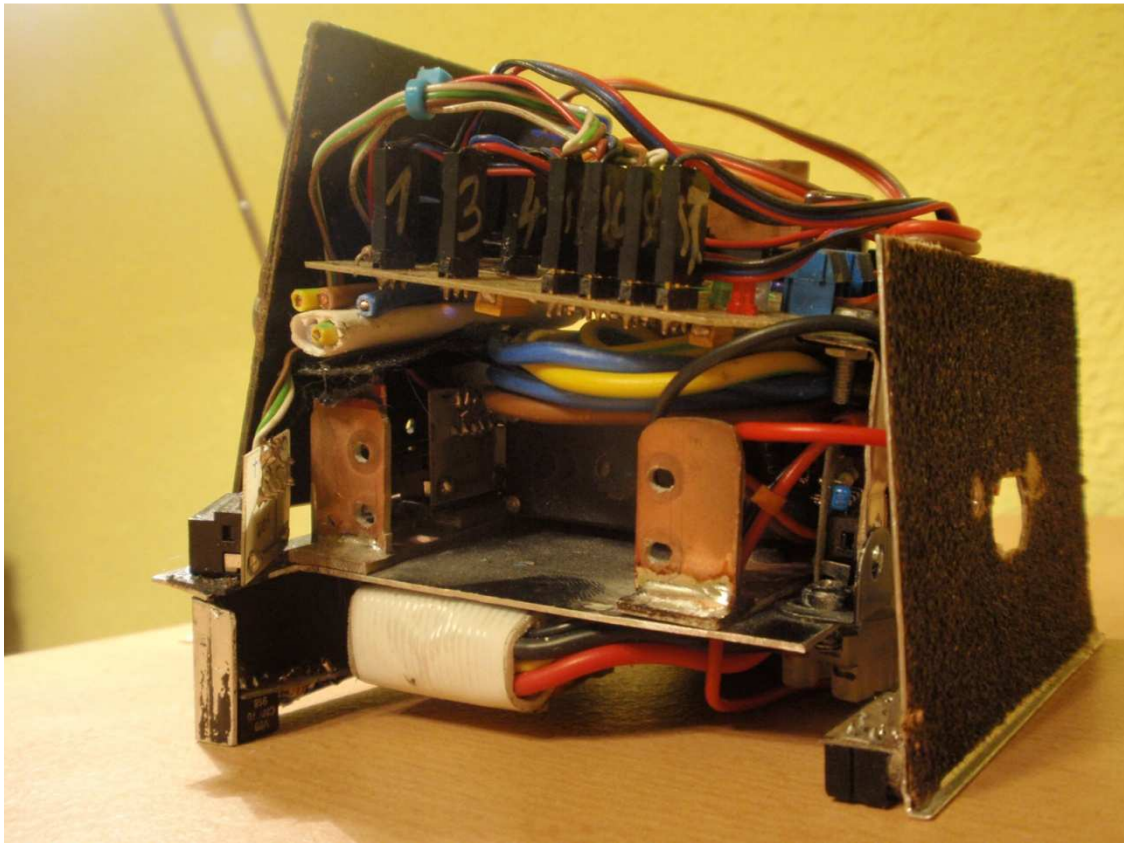
Rys. Pług oraz mechanizm otwierający



Rys. Położenie oraz mocowanie czujników białej linii oraz baterii



Rys. Dalmierz cyfrowy na osobnej płytce



Rys. Widok z boku, widoczne mocowania serwonapędów