

MOBILNY ROBOT POSZUKIWAWCZO-TRANSPORTOWY

W artykule przedstawiono proces projektowania i budowy zdalnie sterowanego mobilnego robota poszukiwawczo-transportowego. Sformułowano założenia projektowe i konstrukcyjne robota. Określono zasadę działania urządzenia. Projekt mobilnego robota został zamodelowany za pomocą programu Solid Edge ST8, opracowano schemat elektroniczny oraz algorytm sterowania robotem. Wykonano rzeczywisty model urządzenia, wykorzystując gotowe podzespoły dostępne w handlu oraz materiały odporne na uszkodzenia mechaniczne. Podgląd z kamery, umieszczonej na pozycjonerze, zrealizowano za pomocą monitora zewnętrznego. Robota wyposażono w pług torujący mu drogę na zagruzowanej powierzchni. Sterowanie zrealizowano za pomocą joysticka umieszczonego w pulpicie sterującym. Przeprowadzono testy potwierdzające poprawną pracę robota.

WSTĘP

Akcje ratunkowe często prowadzone są w trudnych warunkach, a od tempa ich realizacji zależy życie ludzkie. Nierzadko ratownicy, aby udzielić pomocy potrzebującym narażają własne życie. Szczególnie niebezpieczne są akcje prowadzone na terenach skażonych bądź w wysokich temperaturach, trudnych dla funkcjonowania przez człowieka. Bywa i tak, że pomimo chęci udzielenie pomocy potrzebującym jest niemożliwe, gdyż człowiek nie wszędzie jest w stanie się dostać. Pod wpływem rozwoju technologicznego, naukowcy dążyli do zwiększenia efektywności prac poszukiwawczych oraz ograniczenia zagrożenia życia ludzkiego, tworząc roboty, mające na celu niesienie pomocy człowiekowi.

Niektóre roboty ze względu na swoje niewielkie gabaryty są w stanie dotrzeć do miejsc nieosiągalnych dla dorosłego człowieka, m.in. studnie, rurociągi, miejsca zanieczyszczone. Dzięki niewielkim wymiarom, wyposażeniu w kamery oraz szereg czujników, roboty pomagają przy pracach inspekcyjnych, dzięki nim można określić warunki w trudnodostępnych obszarach oraz oszacować stopień niebezpieczeństwa.

Roboty zaczynają pełnić coraz większą rolę w niesieniu pomocy ludziom, zastępując ich w sytuacjach, które mogłyby zagrażać ich życiu. Mogą np. w sytuacjach kryzysowych [3] pokonywać przeszkody, lokalizować uszkodzonych, usuwać skutki katastrof itp. Przykładem takiego urządzenia jest tytułowy mobilny robot poszukiwawczo-transportowy.

1. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE ROBOTA

Robot powinien spełniać poniższe kryteria:

- Zmieścić się we wnękę o wymiarach 55x55 cm;
- Być wykonany z materiału odpornego na korozję;
- Nie przekroczyć 15 kg masy własnej;
- Napęd wyłącznie ekologiczny, najlepiej elektryczny [2];
- Być sterowany za pomocą joysticka, zamontowanego w pilocie;
- Posiadać możliwość sprawdzenia temperatury otoczenia w jakim się znajduje;
- Mierzyć zawartość gazu w otaczającym go miejscu;
- Temperatura oraz zawartość gazu mają być wyświetlane na wyświetlaczu LCD umieszczonym na pulpicie sterującym;
- Napęd ma zapewniać możliwie najmniejszy promień skrętu;
- Być wyposażony w cztery oddzielnie napędzane koła;

- Posiadać możliwość rejestracji wizualnej otoczenia za pomocą kamery;
- Rozdzielczość wyświetlanego obrazu to minimum jakość VGA;
- Kamera ma mieć możliwość regulacji pola widzenia (górną-dół, prawo-lewo);
- W warunkach małej widoczności ma zapewnić dobre pole widzenia;
- Budowa robota ma umożliwić jazdę w trudnych warunkach;
- Czas pracy powinien wynosić co najmniej dwie godziny;
- Konstrukcja powinna być stabilna;
- Posiadać miejsce w korpusie, umożliwiające transport prowiantu niezbędnego do przeżycia dla uszkodzonych.

2. ZASADA DZIAŁANIA

Za pomocą pulpitu sterującego - pilota, robot może poruszać się we wszystkich kierunkach na płaszczyźnie. Napęd został wykonany za pomocą czterech, oddzielnie napędzanych kół. Dzięki temu rozwiązaniu maszyna jest bardziej zwrotna w porównaniu do napędu o przedniej osi skrętnej oraz nie wymagająca regularnego czyszczenia jak napędy gąsienicowe.

Urządzenie dzięki wbudowanej kamerze na ruchomej i sterowanej (przez osobę operującą robotem) podstawce oraz oświetleniu czterech diod LED będzie w stanie rejestrować obraz w obszarach bez dostępu światła. Czujnik temperatury i ilości gazu w otoczeniu będą wysyłały informacje do mikroprocesora. Wartości sensorów zostaną wyświetlone na wbudowanym w pilot wyświetlaczu LCD, aby osoba sterująca nim miała informacje o warunkach panujących w badanym miejscu.

Przednia część obudowy została wykonana z trwałych metali w kształcie pługa, dzięki czemu robot będzie miał możliwość pokonywania na swojej trasie napotykanymi przeszkodami.

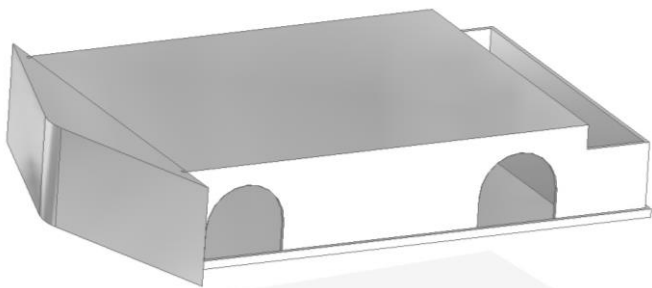
3. MODEL 3D ROBOTA POSZUKIWAWCZO-TRANSPORTOWEGO

Do zamodelowania projektu został wykorzystany program Solid Edge ST8 [4]. Zostały wykonane wirtualne modele wszystkich części robota. Dzięki temu ustalono jego przybliżony wygląd, rozmieszczenie części i sposób ich montażu. W projektowaniu od strony mechanicznej wykorzystano również z gotowych podzespołów. Projekt 3D wymagał zaprojektowania części gotowych, na podstawie których modelowano pozostałe części. Podzespoły niestandardowe

zaprojektowane zostały uwzględniając zasady modelowania i możliwości technologiczne.

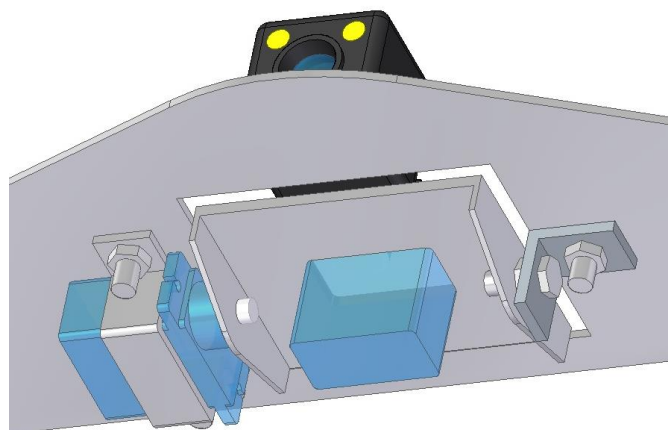
3.1. Elementy mechaniczne

Model korpusu składa się z podstawy, osłony górnej i pługa (rys. 1).



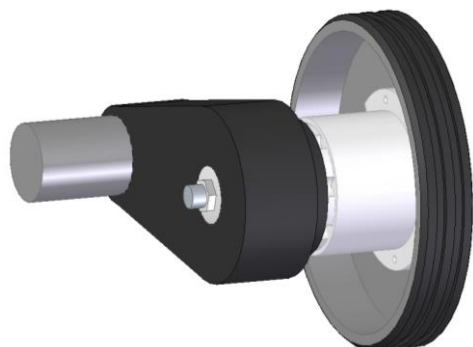
Rys. 1. Korpus - obudowa robota

Drugim etapem było umieszczenie kamery wraz z mechanizmem do jej pozycjonowania. Kamera została umieszczona możliwie najbliżej przodu robota. Pierwszy serwomechanizm porusza platformą w której umieszczony jest drugi, poruszający kamerą. To rozwiązanie umożliwia ustawienie kamery w dowolnym kierunku, przez co możliwe jest sprawdzenie co znajduje się w pobliżu robota oraz ponad nim (rys. 2).



Rys. 2. Widok zamontowanej kamery z perspektywy dolnej

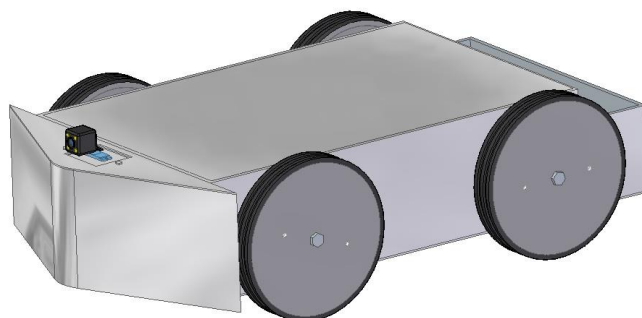
W robocie zastosowano gotowe moduły napędowe wykorzystywane do pojazdów dziecięcych 12 V (rys. 3). Koło jest połączone z silnikiem za pomocą specjalnego sprzęgła, dedykowanego do tego modelu przekładni. Całość skrecona jest śrubą o długości 120 mm z nakrętką samokontrującą, zapobiegającą poluzowaniu się. Zastosowano również łożysko 52101, aby zmniejszyć siłę tarcia podkładki z silnikiem.



Rys. 3. Widok modułu napędowego

Obudowa zawiera również w tylnej części miejsce w którym zostanie umieszczony ekwipunek dla osób poszkodowanych. Wymiary dobrano tak, aby zmieściła się tam butelka 0.5 l płynu, posiłek energetyczny i radiodbiornik do komunikacji (rys. 4).

Wymiary robota:
długość: 540 mm,
szerokość: 390 mm,
wysokość: 200 mm.



Rys. 4. Wirtualny model robota poszukiwawczo-transportowego

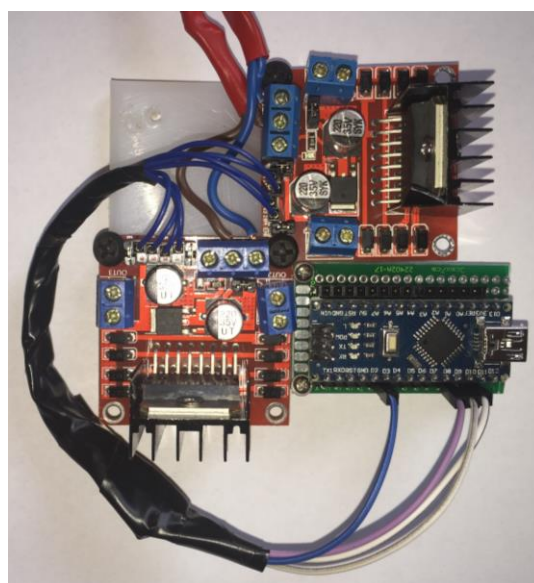
3.2. Elektronika

Elektronika robota została podzielona na trzy oddzielne układy.

Układ I - składa się z czterech silników 12V z przekładniami (rys. 5), platformy Arduino Nano [5], podwójnego modułu sterownika silników L298N (rys. 6) oraz joysticka za pomocą którego będzie odbywać się sterowanie kierunkiem jazdy. Każdy napęd obsługiwany jest dwoma sygnałami PWM, dzięki czemu prędkość można płynnie regulować za pomocą odchylenia joysticka w pilocie.

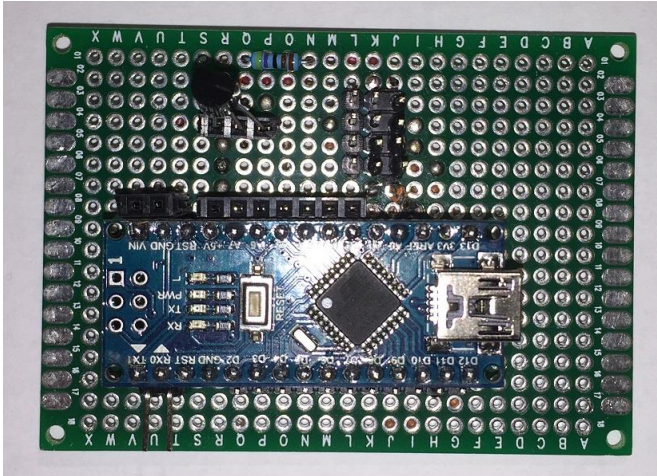


Rys. 5. Silnik napędowy robota - RS 550-PH 12V



Rys. 6. Dwa sterowniki L298N oraz Arduino Nano

Układ II - sterujący kierunkami wychylenia kamery. Za ruch kamery odpowiadać będą dwa serwomechanizmy MG90S, sterowane za pomocą oddzielnych potencjometrów znajdujących się w odbudowie centrali sterującej. To zastosowanie zapewnia możliwość ustawienia kamery w dowolny sposób, co w znaczącym stopniu ułatwia inspekcję badanego miejsca. Aby zapewnić szybką wymianę jednej z części układu, całość została zamontowana na płytce drukowanej (rys. 7).



Rys. 7. Płytką drukowaną z wlutowanymi gniazdami oraz zamontowane Arduino Nano

Przy doborze kamery najważniejszym parametrem jest widoczność przy słabym oświetleniu, jakość obrazu, kompaktowe wymiary i niewielki pobór prądu. Kamera CMD-0531RN (rys. 8) posiada wszystkie te cechy.

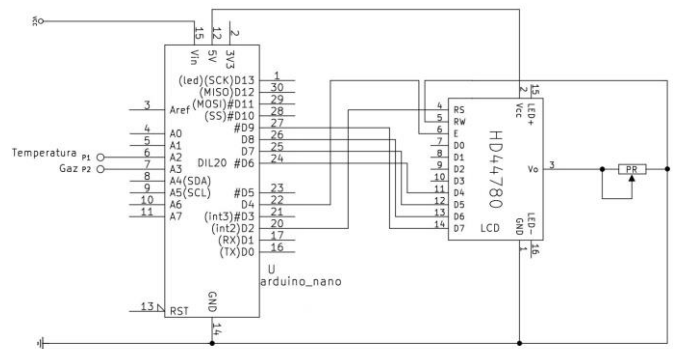


Rys. 8. Kamera CMD-0531RN

Żaden element nie jest wlutowany na stałe, ponieważ takie rozwiązanie, w razie uszkodzenia jednego z peryferii, wymuszałoby wymianę całego układu. Integralną część układu stanowią jedynie gniazda na elementy.

Układ III - odpowiada za sprawdzanie warunków panujących w otoczeniu oraz wysłaniu tych informacji do osoby nadzorującej inspekcję. Czujnik gazu MQ-5 odpowiada za ciągły pomiar procentowej zawartości w powietrzu wybuchowego gazu. Czujnik temperatury DS18B20 działający w bardzo szerokim zakresie, wysyła odczyty co jedną sekundę z dokładnością jednej setnej stopnia Celsjusza.

Do części logicznej wykorzystano układ Arduino Nano, którego zadaniem jest sterowanie całym robotem. Napięcie zasilające układ wynosi 12V. Aby zasilić elementy robota, zastosowano moduł zasilacza impulsowego w układzie który obniża napięcie do 5V. Na rysunku 9 przedstawiono schemat podłączenia wyświetlacza i sensorów.



Rys. 9. Schemat podłączenia wyświetlacza i sensorów

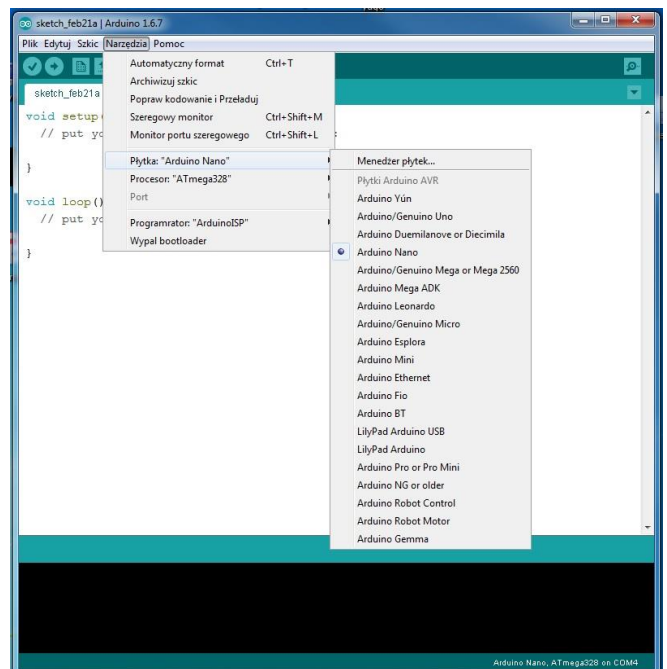
Zapotrzebowanie prądowe robota:

- silnik (w zależności od obciążenia) 1-3 Ah;
- kamera 0.15 Ah;
- wyświetlacz 0.08 Ah;
- Arduino Nano z czujnikami 0.15 Ah;
- dioda Led 0,7 Ah;
- serwomechanizm przy maksymalnym obciążeniu 0.15 Ah.

Suma wszystkich prądów jakie pobiera robot podczas maksymalnego obciążenia to 13,4 Ah. Akumulator zastosowany w robocie wystarczyłby wtedy na 53 minuty ciągłej pracy. Ponieważ w rzeczywistości robot nie będzie pracował pod ciągłym obciążeniem, czas uśrednionej pracy robota na akumulatorze 12 Ah wyniesie 2 godziny.

3.3. Oprogramowanie

Platformą programistyczną jest Arduino IDE (rys. 10), dostarczane przez producenta Arduino [1]. Językiem programowania jest język C.



Rys. 10. Platforma programistyczna Arduino

Oprogramowanie procesora przeprowadzono zgodnie z założeniami i zasadą działania robota. Odczyty danych z czujników wyświetlane na wyświetlaczu przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Wyświetlacz z przedstawionymi wartościami z sensorów

4. WYKONANIE FIZYCZNE ROBOTA

Pierwszą czynnością podczas realizacji robota było wykonanie jego obudowy (rys. 12). Elementy ze stali kwasoodpornej z jakiej zostało wykonane urządzenie zostały odpowiednio wytrasowane i wycięte na gilotynie. Otwory do przymocowania pokrywy do podstawy zostały wywiercone na wiertarce kolumnowej. Odpowiednio przygotowany element z blachy został pozaginany na krawędziarce, nadając jej zaplanowane kształty.



Rys. 12. Korpus robota

Podstawa została wykonana z blachy o grubości 2 mm i pozaginana na bokach dzięki czemu znacząco zmniejszyła się jej podatność na wygięcia. Wszystkie elementy konstrukcji zostały skrócone za sobą śrubami.

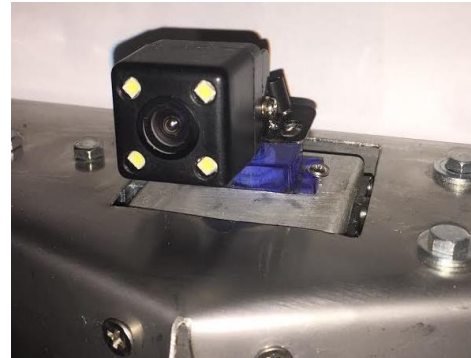
Koła robota o średnicy 175 mm są gumowane, aby zapewnić jak najlepszą przyczepność.

Po wykonaniu obudowy zostały przymocowane silniki do podstawy za pomocą rurhaków oraz kątowników (rys. 13). Koła zostały połączone z silnikami za pomocą dedykowanego sprzęgła. Wszystkie elementy napędowe zostały wyosowane śrubą o średnicy 12 mm. Zastosowano łożysko oporowe kulkowe 52101, aby zmniejszyć siły tarcia.



Rys. 13. Podstawa z zamontowanymi silnikami i kołami

Kolejny etap polegał na wycięciu prostokątnego otworu w górnej części pługu, oraz zamocowanie dwóch serwo mechanizmów poruszających kamerą (rys. 14).



Rys. 14. Sposób zamontowania kamery, widok z góry

Ostatnim elementem wykonania robota, przed skróceniem wszystkich jego elementów było wykonanie pulpitu sterującego. W specjalnej plastikowej obudowie zostały wycięte otwory na joystick, wyświetlacz, potencjometry i włącznik. Następnie przykręcono wszystkie elementy do obudowy. Po podłączeniu i zweryfikowaniu poprawnej pracy, do górnej części została przykręcona podstawa. Wygląd pulpitu sterującego przedstawia rysunek 15.



Rys. 15. Pulpit sterujący

Efekt końcowy wykonania robota poszukiwawczo-transportowego przedstawia rysunek 16.



Rys. 16. Wykonanie rzeczywiste robota poszukiwawczo-transportowego

5. TESTY WYKONANEGO ROBOTA

Po wykonaniu rzeczywistego modelu mobilnego robota poszukiwawczo-transportowego przeprowadzono jego testy i pomiary, na których podstawie określono:

- Wymiary robota: 540 mm długości, 390 mm szerokości i 200 mm wysokości;
- Wymiary kosza transportowego: 80 mm długości, 390 mm szerokości i 80 mm wysokości;
- Średnicę koła: 175 mm;
- Prześwit: 42 mm;
- Wagę bez dodatkowego obciążenia: 12 kg;
- Maksymalną wagę bagażu: 15 kg;
- Maksymalny kąt podjazdu: 14,5 stopnia;
- Prędkość bez obciążenia: 1.5 m/s;
- Kąt obrotu pozycjonera kamery dla osi X: 170 stopni;
- Kąt obrotu pozycjonera kamery dla osi Y: 70 stopni.

Podczas jazdy testowej robot za pomocą pługu przesunął ze swojej drogi przeszkody m.in.: cegły i kamienie o wadze do 4 kg. Konstrukcja obudowy wykonana ze stali kwasoodpornej zapewnia dobrą stabilność. Odczyty termometru porównano z komercyjnymi modelami i stwierdzono jego prawidłową pracę. Czujnik gazu LPG również pracuje poprawnie. Dodatkowe oświetlenie zwiększa zasięg widoku z kamery o około 3 metry. Akumulator zapewnia pracę robota podczas zrównoważonego użytkowania przez dwie godziny.

WNIOSKI

Myślą przewodnią podczas realizacji projektu było ułatwienie prac inspekcyjno-poszukiwawczych służbom ratowniczym, policyjnym, wojskowym i innym. Po zamodelowaniu projektu w programie Solid Edge ST8, został wykonany fizyczny model robota.

Urządzenie posiada możliwość jazdy w dowolnym kierunku na płaszczyźnie.

Operator robota za pomocą joysticka może w wygodny i precyzyjny sposób sterować funkcjami robota, mając podgląd online z kamery.

Dzięki systemowi poruszania kamerą, możliwy jest podgląd otoczenia nie tylko przed robotem, ale również po jego bokach i nad nim.

Dodatkowe oświetlenie, umożliwia lepszą inspekcję, zwiększając pole widzenia nawet w ciemnych pomieszczeniach.

Robot sprawdza temperaturę i ilość gazu LPG w badanym miejscu przez umieszczone w urządzeniu czujniki. Wyświetla odczytane wartości na wyświetlaczu, który umieszczony jest na pulpicie sterującym.

Zdecydowano się na łączność przewodową, ponieważ podczas zaklinowania się urządzenia będzie możliwe szybkie jego uwolnienie i dalsza kontynuacja pracy. Przewód ma długość 10 metrów,

lecz w razie potrzeby jest możliwość wydłużenia go, przez zastosowanie dłuższych kabli.

W razie potrzeby, dzięki miejscu w korpusie, jest możliwość transportu prowiantu do uszkodzowanych.

Dzięki modułowemu wykonaniu całego robota jest możliwa jego dalsza rozbudowa w przyszłości, jak łączność radiowa czy dodatkowe czujniki.

Zbudowany mobilny robot poszukiwawczy może być pomocny podczas ratowania życia ludzkiego w przypadku m.in. katastrof budowlanych.

BIBLIOGRAFIA

1. Schwartz M., *Arduino. Automatyka domowa dla każdego*, Helion 2015.
2. Maciejczyk A., *Koncepcja pojazdu typu Omnibus o napędzie elektrycznym*, *Autobusy* 12/2016, s. 1169--1173.
3. Drozdowska K., *Zapewnienie bezpieczeństwa i ciągłości komunikacji na drogach w sytuacjach kryzysowych podczas katastrof naturalnych*, *Autobusy* 12/2016, s. 133--138.
4. Kazmierczak G., Pacula B., Budzyński A., *Solid Edge. Komputerowe wspomaganie projektowania*, Helion, 2016.
5. Arduino Nano, <http://abc-rc.pl/Arduino-NANO-V3-CH340#axzz4TVH55ndY>, dostęp: grudzień 2016.

Mobile exploratory-transport robot

Paper shows the process of designing and constructing a remotely controlled mobile exploratory-transport robot. The project's and robot's structural assumptions were made. The rule of using the device was stated. The project of a mobile exploratory robot was modeled in 3D using Solid Edge ST8 programme. The electronic diagram and the algorithm steering the robot were stated. Then, the real model was created. Ready-made components and materials resistant to mechanical damages were used. A view from camcorder placed on a positioner was made by using an external screen. The robot is provided with a plough paving the rubble way. The joystick placed on a steering desktop is responsible for controlling the device's work. The tests proving the correct robot's work were carried out.

Autorzy:

dr inż. **Przemysław Filipek** – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Mechatroniki
dr inż. **Tomasz Kamiński** - Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa

inż. **Kacper Czuryło** – Politechnika Lubelska, absolwent
Kamil Piwko - Politechnika Lubelska, student