

Przemysław FILIPEK, Tomasz KAMIŃSKI, Jarosław WIĄZOWSKI, Błażej CZAJKA

PODWODNY EKSPLOATOR GAŚNIECOWY

W artykule przedstawiono proces projektowania i budowy zdalnie sterowanego gaśnicowego łazika do eksploracji podwodnej. Dokonano niezbędnych obliczeń i oszacowano listę wymaganych podzespołów. W dalszej części przedstawiono szczegółowo zamodelowany projekt 3D oraz układ elektroniczny eksploratora. Kolejne rozdziały opisują model rzeczywisty pojazdu i przeprowadzone testy.

WSTĘP

Postęp technologiczny znacznie poszerzył obszar eksploracyjny zbiorników wodnych. Wykorzystuje się nowoczesne metody badawcze, wciąż je udoskonalając. Głównym problemem takich badań stała się ochrona zdrowia i życia badacza. Aby maksymalnie wyeliminować zagrożenie zaczęto korzystać z pojazdów bezzałogowych. Takie rozwiązanie nie wymaga obecności człowieka pod wodą i pozwala na bezpieczną eksplorację wód oraz transport niewielkich ładunków. Użycie pojazdów bezzałogowych umożliwiło dotarcie do miejsc wcześniej niedostępnych, eksplorację wód na głębokościach wykluczających, bądź znacznie ograniczających obecność człowieka, a także prowadzenie badań w środowisku dla człowieka szkodliwym.

Podstawowym wyposażeniem takich urządzeń jest kamera, dzięki której możliwa jest identyfikacja napotkanych obiektów. Obraz z kamery jest przesyłany w czasie rzeczywistym do odbiornika. Pojazdy najczęściej są wyposażone w sieć czujników umożliwiających dokładniejszą ocenę sytuacji oraz własne źródło światła.

Obecnie istnieją już pojazdy podwodne badawcze i przemysłowe. Te pierwsze przeprowadzają skomplikowane wykopaliska archeologiczne, a także sporządzają całą ich dokumentację. Podwodne roboty przemysłowe przyczyniły się do budowy podmorskich gazociągów.

1. EKSPLOACJA PODWODNA

Do najnowszych metod eksploracji podwodnej zalicza się metody wykorzystujące bezzałogowe roboty mobilne. Roboty te nazywane są UUV czyli bezzałogowy statek podwodny. Wyróżnia się dwa główne rodzaje takich pojazdów. Pierwszy AUV - autonomous underwater vehicle - to pojazdy zdolne są pracować pod wodą bez ludzkiej ingerencji, posiadające tryb autonomiczny. Drugim rodzajem są ROV - remotely operated underwater vehicle - te pojazdy są zdalnie sterowane przez załogę statku (rys. 1.).

Bezzałogowe statki podwodne są stosowane do badań głębin, odnajdywania wraków i ich obserwacji. Wojsko wykorzystuje UUV do odnajdywania i niszczenia min podwodnych. Autonomiczne pojazdy podwodne wykonują to zadanie znacznie szybciej niż grupa nurków. Dużym problemem wszystkich robotów podwodnych bezprzewodowych jest komunikacja w czasie rzeczywistym, dlatego też roboty te pracują najczęściej na przewodzie bądź posiadają tryb autonomiczny [1].



Rys. 1. ROV - zdalnie kierowany pojazd podwodny [1]

ROV są pojazdami powszechnie stosowanymi w przemyśle głębinowym, pojazdy te są sterowane przez załogę statku macierzystego, połączone są z nim przewodem zwanym pępowiną. Przewód pępowinowy jest opancerzoną wiązką kabli i światłowódów przesyłających energię elektryczną i sygnały sterujące do pojazdu oraz odbierającą sygnały z czujników i kamery. W pewnych warunkach przewód może także posłużyć jako linka holownicza [5].

2. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE EKSPLOATORA

Projektowany pojazd będzie służył przede wszystkim do celów eksploracyjnych i transportowych, zatem podstawowym elementem łazika będzie kamera. Kamera pozwoli na obserwację badanego terenu, a dołączony odbiornik umożliwi podgląd obrazu w czasie rzeczywistym. Kamera umieszczona zostanie na przedzie pojazdu, będzie więc miała możliwość oglądania przestrzeni jedynie horyzontalnie, do kamery dodano więc serwomechanizm umożliwiający dodatkowo ustawianie kąta nachylenia kamery względem osi X poprzecznej do ruchu łazika.

Napęd gaśnicowy - użycie napędu gaśnicowego znacznie poprawi przyczepność łazika do podłoża, a także ułatwi pokonywanie przeszkód. Kolejną zaletą tego rozwiązania jest łatwiejsze sterowanie, w tym celu użyte zostaną 2 silniki, z których każdy zasilany będzie niezależnie jedną z gaśnic. Takie rozwiązanie umożliwi np. realizację skrętu poprzez blokowanie jednej z gaśnic. Moment obrotowy silnika nie będzie przenoszony na koło bezpośrednio, a za pomocą przekładni. Przekładnia ma na celu podniesienie podwozia łazika poprzez obniżenie osi kół. Jej celem pobocznym jest zwiększenie momentu obrotowego silnika.

Eksploator to pojazd bezzałogowy, zdalnie sterowany przy pomocy pilota. W celu zwiększenia obszaru eksploracyjnego urzą-

dzenia użyte zostanie sterowanie bezprzewodowe. Również odbiornik kamery jest bezprzewodowy. Woda zakłóca jednak komunikację radiową Wi-Fi, w tym celu opracowano stację nadawczo-odbiorczą umiejscowioną na pływającej platformie i połączoną przewodami z odbiornikiem łazika i nadajnikiem kamery. Platforma pomoże także w przybliżeniu określić miejsce zanurzenia eksploratora.

Wodoodporność - Ważnym parametrem pojazdu jest wodoszczelność, w tym celu postanowiono wykonać hermetyczny korpus oraz zabezpieczyć wały silników pierścieniami uszczelniającymi. Aby ułatwić obsługę urządzenia zaplanowano umieszczenie gniazda do ładowania akumulatora. Parametr wodoodporności wpływa także na dobór materiału. Wybrano więc materiał niewrażliwy na działanie wody - tworzywo sztuczne, z którego powstaną korpus oraz koła i gąsienice. Jako korpus posłuży hermetyczna obudowa. W przypadku kół i gąsienic zdecydowano się skorzystać z technologii wydruku 3D.

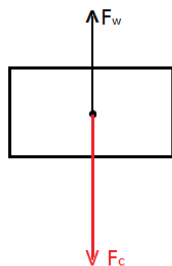
Gabaryty - wstępne wymiary korpusu to 300 x 200 x 150 mm, natomiast koła to $\phi 60 \times 60$ mm

Inne parametry: głębokość zanurzenia - od 0 do 3 m, minimalny zasięg komunikacji radiowej - 50 - 100 m

3. OBLICZENIA

Dokonanie obliczeń określi minimalną masę pojazdu niezbędną do pokonania siły wyporu wody oraz maksymalne ciśnienie jakie będzie działać na korpus.

Minimalną wymaganą masę obliczono zakładając, że siła ciężkości F_c wyrażona wzorem (1, 2) musi być większa od siły wyporu F_w (3), siły zaznaczono i przedstawiono na rysunku 2. Za objętość części ciała zanurzonego przyjęto objętość całego korpusu obliczoną z wymiarów określonych w gabarytach, ponieważ potrzebowano pełnego zanurzenia.



Rys. 2. Układ sił ciała zanurzonego

$$F_c > F_w \quad (1)$$

$$F_c = m * g \quad (2)$$

$$F_w = \rho * g * V \quad (3)$$

gdzie: m - masa

g - przyspieszenie ziemskie - 9,81 m/s²

ρ - gęstość wody - 1000 kg/m³

V - objętość części ciała zanurzonego w wodzie - 0,009 m³

Przekształcono wzory i wyprowadzono wzór na masę minimalną (4).

$$m_{min} > \rho * V \quad (4)$$

Wartość obliczonej masy minimalnej wynosi $m_{min} > 9$ kg, za masę minimalną przyjęto 10 kg.

4. PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE

Dla eksploratora obliczono moment minimalny, którego wartość wyniosła 1,18 Nm. Dokonano doboru silników prądu stałego 12 V

z przekładniami o większym momencie nominalnym 3 Nm, aby uzyskać odpowiedni zapas mocy. Zasilanie pojazdu realizowane będzie przez akumulator żelowy o napięciu 12 V i pojemności 7 Ah. Również oświetlenie w postaci taśmy LED posiadać będzie napięcie zasilania 12 V. Dodatkowo eksplorator zostanie wyposażony w kamerę bezprzewodową z własnym zasilaniem, odbiornikiem i monitorem. Do sterowania kamerą wykorzystany zostanie serwo-mechanizm. Ostatni element to płytka z układem elektronicznym. Układ wyposażony będzie w mikroprocesor, który pozwoli na wykorzystanie programu sterującego. Sterowanie przy pomocy pilota zrealizowane będzie za pomocą modułów komunikacji bezprzewodowej.

5. MODEL PODWODNEGO EKSPŁORATORA GĄSIENICOWEGO

Projekt łazika został wykonany na podstawie założeń konstrukcyjnych w programie CATIA [4]. W projektowaniu od strony mechanicznej skorzystano głównie 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.

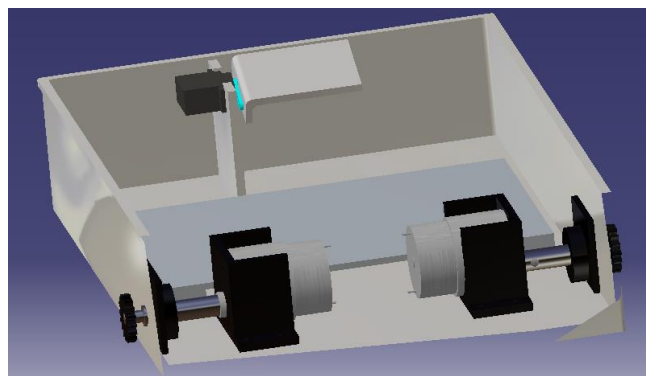
Schemat elektroniczny bazował na procesorze oraz niezbędnych elementach umożliwiających wykonanie funkcji ustalonych w założeniach konstrukcyjnych takich jak np. komunikacja bezprzewodowa, sterowanie silników.

5.1. Budowa korpusu

Korpus to podłożenie i centralna część łazika. Na budowę korpusu składają się:

- Hermetyczna obudowa izolacyjna;
- Mocowania elementów wewnętrznych;
- Mocowania Osi;
- Wyprowadzenie dla anten;
- Gniazdo do akumulatora.

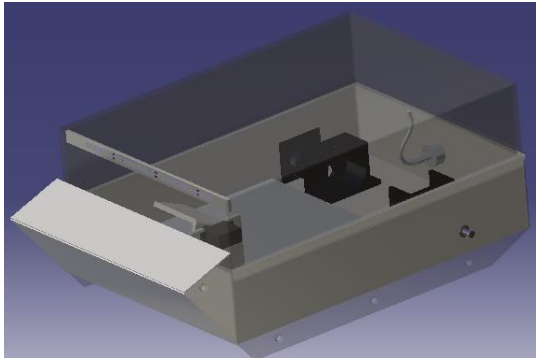
Model korpusu powstał w oparciu o hermetyczną obudowę izolacyjną uwzględniając: minimalną ilość miejsca potrzebną na rozmieszczenie elementów wewnętrznych urządzenia, wstępnie zaplanowany rozstaw osi łazika oraz dostępność obudów izolacyjnych w katalogach. Do zamodelowanej dolnej części obudowy dodano uchwyty wewnętrzne: gniazda simeringów oraz mocowania silników i akumulatora oraz ruchomy uchwyt kamery (rys. 3).



Rys. 3. Korpus - mocowania elementów wewnętrznych

Górna część korpusu jest przezroczysta, dzięki temu rozwiązaniu za pomocą ściśle zamkniętej kamery można obserwować otoczenie łazika. Korzystając z przezroczystej obudowy oświetlenie łazika zaplanowano umieścić wewnątrz pojazdu, tuż pod górną

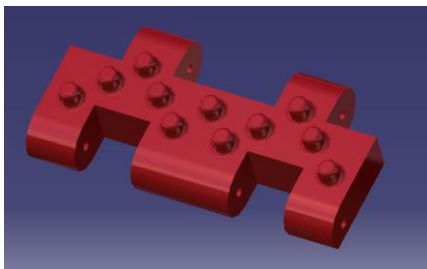
krawędzią pokrywy. W górnej części obudowy znajdują się gniazda wyprowadzające anteny kamery i łazika na pływającej platformie. Całkowite złożenie korpusu wraz z mocowaniami przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Złożenie korpusu

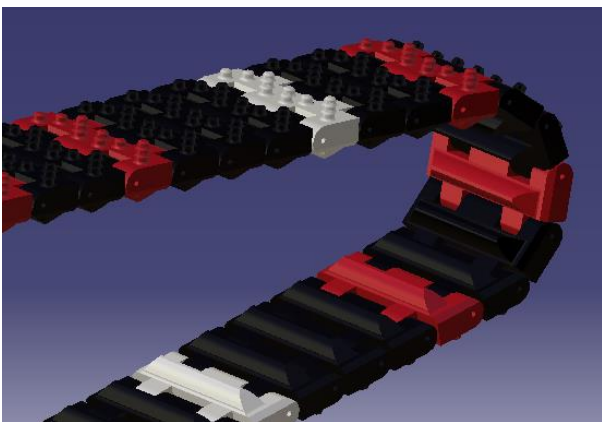
5.2. Gąsienice

Ekspolorator wyposażony jest w 2 gąsienice. Gąsienica jest złożeniem utworzonym z 39 segmentów. Pojedynczy segment został zamodelowany tak, by był stabilny, wytrzymały oraz posiadający odpowiednią szerokość pozwalającą uzyskać gąsienicy wystarczającą powierzchnię styku z podłożem. W dolnej części segmentu zamodelowano specjalny bieżnik ułatwiający poruszanie się po wilgotnym, błotnistym terenie jakimi są plaża i dno zbiornika wodnego (rys. 5).



Rys. 5. Segment gąsienicy - model 3D

Ogniwa są możliwie wąskie aby ułatwić ich poruszanie się po okręgu koła. Górną część segmentu wieńczy ząb (rys 6.). Gąsienica w swojej wewnętrznej części tworzy zębatkę, która współpracuje z kołami łożyska.

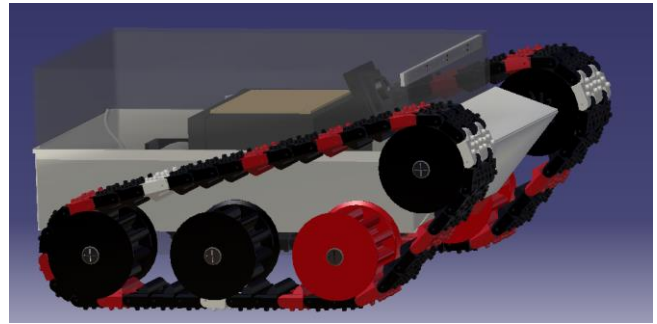


Rys. 6. Fragment gąsienicy - model 3D

5.3. Złożenie całkowite

Model złożeniowy przedstawia kompletny model 3D i obrazuje finalną postać łożyska. Model określa gabaryty urządzenia oraz jego ostateczny wygląd. Dopiero na tym etapie można ustalić niektóre

parametry jak np. końcowa liczba segmentów gąsienicy, rozstaw osi. Złożenie całkowite przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Złożenie całkowite - widok boczny

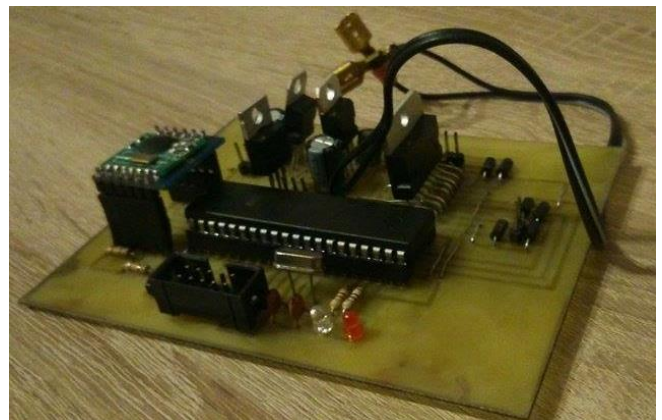
6. WYKONANIE FIZYCZNE EKSPŁORATORA

W eksploratorze zastosowano ogólnodostępne elementy elektroniczne: kamera (rys. 8.), akumulator, silniki łożyska, taśma LED oraz serwonapęd służący do sterowania kamerą. Pozostałe części to osie łożyska zbudowane ze śrub i mocowane nakrętkami, a także dodatkowe uszczelnienia w postaci pierścieni simmera i gniazdo do ładowania akumulatora.



Rys. 8. Kamera bezprzewodowa wraz z nadajnikiem [6]

Elektronikę zamontowano na specjalnie przygotowanej, wytrawianej płytce (rys. 9).



Rys. 9. Układ elektroniczny eksploratora

6.1. Elementy drukowane w 3D

W celu wytworzenia części niestandardowych lub szczególnie zaprojektowanych skorzystano z technologii wydruku 3D. Przy pomocy drukarki 3D wytworzono takie elementy jak koła łożyska,

segmenty gąsienic, mocowania silników, obudowy simmeringów oraz uchwyt kamery (rys. 10.).



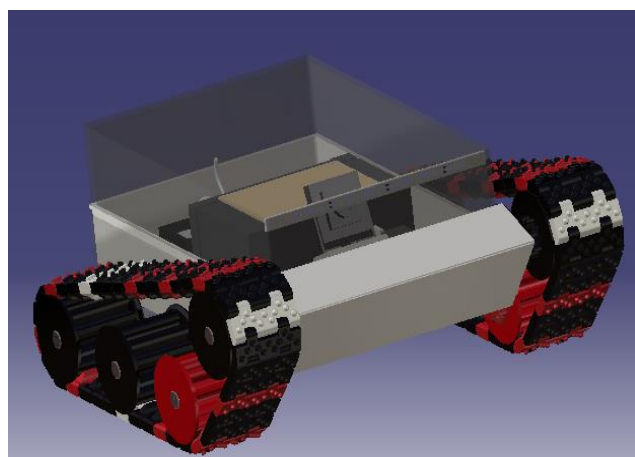
Rys. 10. Segmenty gąsienic - wydruk 3D

Budowa gąsienicy polegała na odpowiednim połączeniu segmentów. Dokonano tego przy pomocy odpowiednio przyciętych i zakończonych kawałków drutu. (rys. 11.).



Rys. 11. Gąsienica - wydruk 3D

Porównanie projektu 3D i modelu rzeczywistego przedstawiono na rysunkach 12 i 13.



Rys. 12. Gąsienicowy eksplorator podwodny - model 3D



Rys. 13. Gąsienicowy eksplorator podwodny z pilotem - wykonanie rzeczywiste

7. TESTY WYKONANEGO EKSPŁORATORA

Testowanie urządzenia miało na celu sprawdzenie poprawności działania zgodnie z założeniami. Eksplorator poddawano testom już na poszczególnych etapach budowy. Sprawdzano i dopracowywano m. in. poprawność wykonania układów elektronicznych, komunikację bezprzewodową, poprawne reakcje płytki łazika na sygnały z pilota. O poprawnie nadawanych i odbieranych sygnałach świadczą migające diody w układach pilota i pojazdu. Ważnym parametrem podwodnego urządzenia jest szczelność. Kompletny korpus eksploratora wraz z zamontowanym układem napędowym dociążono i zanurzono w wodzie. Na wyjściach ruchomych wałów przez pierścienie simmera nie zaobserwowano obecności wody.

Całkowicie złożone urządzenie zostało poddane testom mającym na celu sprawdzenie eksploratora podczas standardowej eksploatacji. Próbną jazdę pojazdu sprawdzono na dwóch rodzajach podłoża, szorstkim i gładkim. Eksplorator dobrze radził sobie na gładkim podłożu, natomiast szorstkie podłoże sprawiało problemy przy skręcaniu. Pozostałe funkcje łazika jak włączanie oświetlenia oraz ustawienie pozycji kamery działały bez zarzutu.

WNIOSKI

W projekcie eksploratora dokonano podstawowych obliczeń konstrukcyjnych i zaplanowano realizację funkcji urządzenia oraz wykonano model 3D. Podstawowymi problemami, które zostały rozwiązane w trakcie projektowania były wodoszczelność oraz komunikacja bezprzewodowa. Już na etapie projektowania pierwotne założenia wielokrotnie ulegały zmianom aż do momentu ostatecznego ukształtowania modelu.

Na podstawie zaprojektowanego modelu wykonano eksploratora. Przygotowano części i złożono urządzenie w całość. Podczas budowy i po jej zakończeniu dokonywano testów sprawdzających poprawne działanie pojazdu. Wynik testu zanurzenia był pozytywny. Pozostałe testy pokazały, że pojazd gąsienicowy spełnia podstawowe funkcje jakie są od niego wymagane. Łazik poprawnie odpowiada na sygnały nadawane z pilota. Sterowane urządzenie jeździ w zadanym kierunku, ustawia kamerę oraz poprawnie steruje oświetleniem.

Dokonując analizy konstrukcji oraz wyników testów stwierdzono, że gąsienicowy pojazd podwodny jest gotów do realizacji przeznaczonego mu zadania jakim jest eksploracja podwodna i transport niewielkich przedmiotów. Urządzenie może być używane przez badaczy bądź poszukiwaczy eksplorujących głębiny, a także policję szukającą zaginionych osób. Będzie również przydatny do oceny sytuacji podczas gdy statek osiadł na mieliźnie [2]. Jest to pojazd bezzałogowy, może być więc wysłany w miejsca zagrażające życiu lub zdrowiu człowieka. Takie zadania występują np. podczas określania położenia i likwidacji zagrożeń od niewybuchów podwodnych, głównie pozostałości po II Wojnie Światowej [3].

BIBLIOGRAFIA

1. Konopka S., *Kształtowanie struktur bezzałogowych platform lądowych i robotów inżynierskich wysokiej mobilności*, praca zbiorowa, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2014.
2. Małyшко M., Wielgosz M., *Analiza procesu decyzyjnego SAR DSS na przykładzie statku na mieliźnie*, Autobusy 4/2016, s. 33-38.
3. Cichocki, A., *Działalność marynarki wojennej w zakresie bezpieczeństwa transportu morskiego : metody likwidacji zagrożeń od niewybuchów podwodnych*, Autobusy 12/2016, s. 85-89.
4. Wyleżoł M., *Modelowanie bryłowe w systemie Catia. Przykłady i ćwiczenia*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2002.
5. Wikipedia, hasło: ROV, https://pl.wikipedia.org/wiki/Zdalnie_kierowany_pojazd_podwodny, dostęp: 15-05-2016.
6. Kamera bezprzewodowa, <http://www.karambol.pl/product-pol-5986-zestaw-Combo-BASIC-monitor-do-FPV-5-8GHz.html>, dostęp: 18-05-2016.

Underwater caterpillar explorer

The paper shows a process of designing and constructing a remotely controlled caterpillar jeep for underwater exploration. All required calculations were made. A list of required units was estimated. Then, a detailed 3D project and an electronic circuit of the explorer were shown. Further chapters describe an actual model of the vehicle and prosecuted tests.

Autorzy:

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