

FILIPEK Przemysław¹
 ŁUCZKIEWICZ Paweł²
 ŁABĄDŹ Michał³

Konstrukcja zdalnie sterowanego poduszkowca transportowego

WSTĘP

Poduszkowiec jest pojazdem o nietypowej a zarazem bardzo ciekawej konstrukcji, dzięki której może się poruszać po różnorodnym terenie. Wykorzystuje do tego poduszkę powietrzną, która powstaje między kadłubem pojazdu a podłożem. Jest ona utrzymywana przez specjalny elastyczny fartuch, wykonany z tkaniny powlekanej tworzywem sztucznym. Dzięki brakowi kontaktu pojazdu z podłożem, podczas jego ruchu prawie nie występuje tarcie, co ma duży wpływ na jego prowadzenie. Jazda poduszkowcem przypomina prowadzenie samochodu podczas jazdy po lodzie. Prawie wszystkie zakręty pokonywane są „bokiem” a wyhamowanie pojazdu czasami bywa kłopotliwe. Ponieważ nie posiada on hamulców tak jak konwencjonalny środek transportu to jego zatrzymanie następuje na większym dystansie. Dzięki swojej odmienności nie może być porównywany z innymi środkami transportu, bowiem tworzy on całkowicie odmienną grupę pojazdów.

Pomimo iż zostały wymyślone pod koniec XIX wieku, są używane od stosunkowo niedawna. Nie zyskały one szerokiej popularności z powodu dużej ilości problemów technicznych wynikłych w trakcie ich rozwoju, które sprawiły że wiele krajów bądź organizacji skupiło się na innych mniej uniwersalnych rozwiązaniach [1].

W obecnych czasach poduszkowce posiadają szeroką gamę zastosowań. Są wykorzystywane przez wojsko i służby ratownicze, jak i przez hobbystów i pasjonatów. Budowanie zdalnie sterowanych modeli, odzwierciedlających cechy dużego pojazdu, stało się bardzo popularne wśród konstruktorów amatorów.

W przeciągu ostatnich dwudziestu pięciu lat technologia na tyle posunęła się na przód, że umożliwiło to zarówno rządowi i organizacjom, a także wielu entuzjastom cieszyć się pojazdami poduszkowymi w wielu formach np. rysunek 1.



Rys. 1. Modern Hovercraft Concept [7]

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, adiunkt, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel. 81 5384499, p.filipek@pollub.pl

² Politechnika Lubelska, absolwent Politechniki Lubelskiej, pawelpogromca@o2.pl

³ Politechnika Lubelska, absolwent Politechniki Lubelskiej, sq8mxt@gmail.com

Dzisiejsze poduszkowce można podzielić na pięć grup, które mówią o charakterze ich zastosowania i wykorzystania [2, 3]:

- Poduszkowce transportowe, np. SR.N4, Neva
- Poduszkowce pasażerskie,
- Poduszkowce wojskowe, np. VA-3
- Poduszkowce ratownicze,
- Poduszkowce turystyczne, np. Aquabell.

Istnieje wiele różnych modeli zdalnie sterowanych poduszkowców. Część z nich jest produkowana w fabrykach i sprzedawana jako zabawki, lecz istnieją też takie, które zostały w pełni wykonane przez amatorów. Koncepcja budowy oraz użytych do niej materiałów różni się nieznacznie w każdym z wykonanych modeli.

Szkielety wykonywane są z różnych materiałów począwszy od drewnianych aż po styropianowe. Większość modeli amatorskich jest budowana z polistyrenu ekstrudowanego (zwanym potocznie XPS). Jest on wykorzystywany ze względu na swoje właściwości takie jak mała masa, duża sztywność i wytrzymałość oraz stosunkowo duża wyporność, która zapewnia możliwość bezpiecznego poruszania się modelu po wodzie, bez obaw przed jego zatonięciem. Można spotkać modele, do których budowy została wykorzystana modelarska balsa. Jest ona zarówno lżejsza od powszechnie znanej i stosowanej sklejk, a zarazem bardziej elastyczna i wytrzymalsza.

1 ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE PODUSZKOWCA

Projektowany model zdalnie sterowanego poduszkowca transportowego wykorzystuje do napędu dwa silniki. Jeden z nich jest umiejscowiony z tyłu pojazdu i zapewnia możliwość poruszania się całego modelu. Drugi znajduje się w specjalnie przystosowanym tunelu powietrznym, poprzez który wdmuchiwanie powietrze wypełnia poduszkę. Dzięki temu model może swobodnie poruszać się po każdej nawierzchni, ponieważ siła tarcia działająca między nim a podłożem jest stosunkowo niska. Do manewrowania pojazdem używany jest ster, który pozwala na wykonywanie gwałtownych zwrotów.

1.1 Parametry pojazdu

- masa całkowita pojazdu: 2 kg,
- masa transportowa: 4 kg,
- wymiary pojazdu: 450 x 900 x 380 mm,
- zasięg przy korzystaniu z akumulatorów: 2 km,
- zdalne sterowanie:
 - zasięg aparatury ok. 500 m,
 - 6 kanałowa aparatura.
- maksymalna prędkość poduszkowca: 20 km/h,
- wyporność kadłuba: 5 kg,
- promień skrętu modelu: 1,5 m.

1.2 Konstrukcja

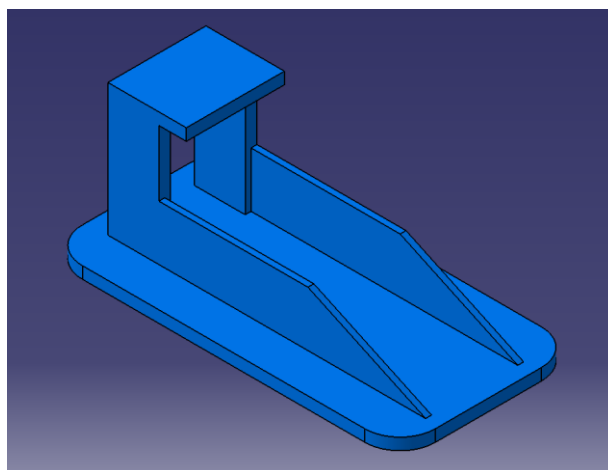
- Materiały konstrukcyjne:
 - polistyren ekstrudowany,
 - klej uniwersalny do połączenia elementów,
 - aluminiowe zaczepy przytrzymujące pokrywę bagażnika,
 - folia budowlana,
 - 2 drewniane płytki do zamocowania silnika,
 - śrubki i nakrętki.
- Rozwiązanie napędów:
 - jeden silnik napędzający pojazd,
 - drugi silnik pompujący płaszczyznę modelu.
- Płaszcz :
 - wykonany z folii budowlanej o grubości 0.3 mm,

- odpowiednio przycięty i przymocowany do modelu.
- Rozmieszczenie elementów:
 - silnik napędowy zamocowany na filarze znajdującym się na tyle pojazdu,
 - ster kierunku zamontowany w tunelu powietrznym,
 - serwomechanizm znajduje się pod tunelem,
 - silnik pompujący poduszkę umiejscowiony w tunelu, który znajduje się na środku płyty podłogowej modelu,
 - dwa kontrolery ESC, dwa akumulator oraz odbiornik znajdują się pomiędzy przednim tunelem powietrznym a filarem silnika napędowego,
 - bagażnik transportowy znajduje się z przodu pojazdu.

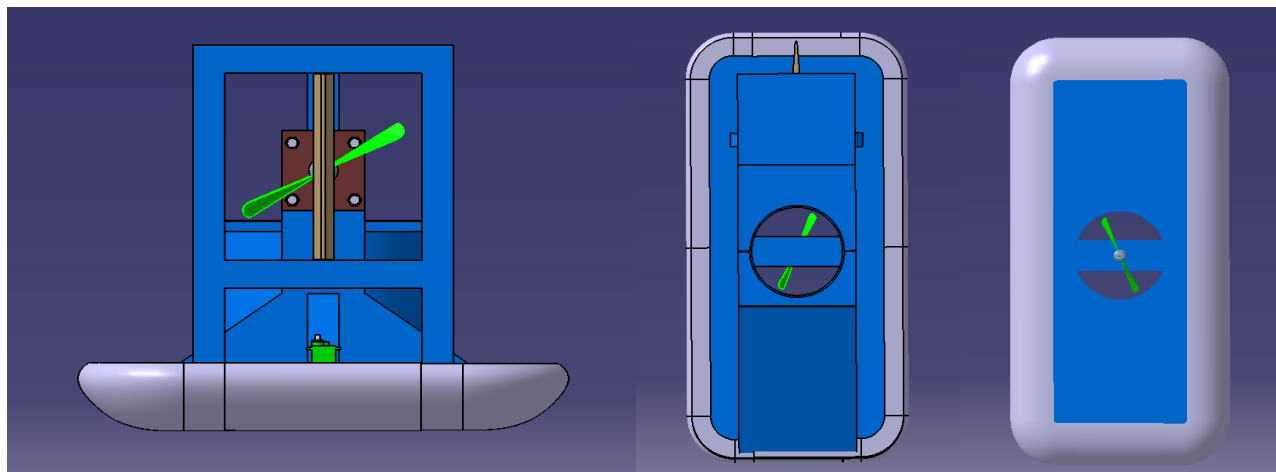
2 MODEL 3D PODUSZKOWCA TRANSPORTOWEGO

Projekt modelu 3D zdalnie sterowanego poduszkowca transportowego został wykonany w programie CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) [4, 5, 6]. Program ten jest nowoczesnym zintegrowanym systemem CAD/CAM/CAE, oferującym bogaty zestaw narzędzi programowych do wspomagania całego cyklu działań związanych z procesem konstrukcyjno - wytwórczym produktu.

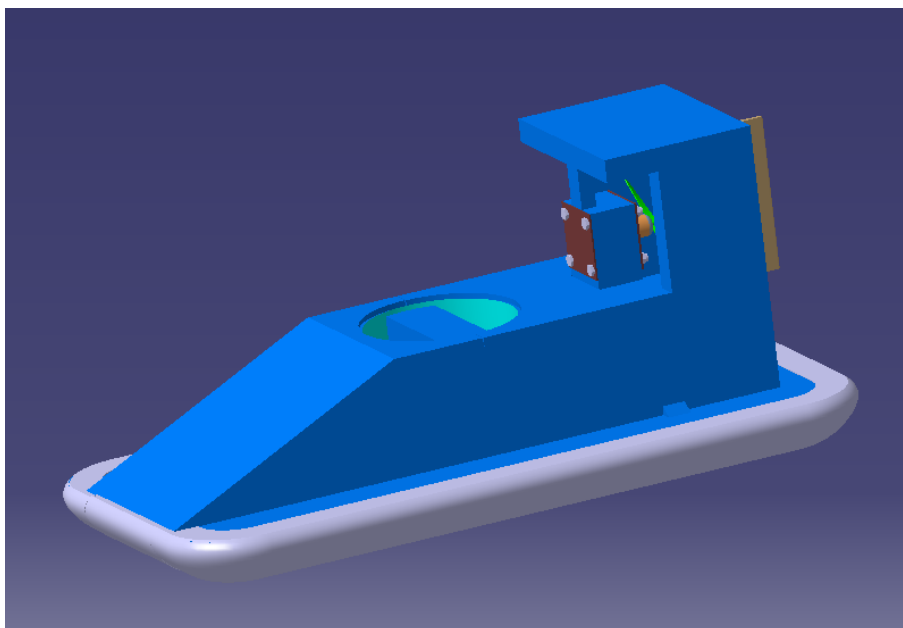
Projekt zdalnie sterowanego poduszkowca transportowego został wykonany zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi. Rysunek 2 przedstawia szkielet modelu wykonany na ich podstawie a rysunki 3 i 4 całe złożenie.



Rys. 2. Szkielet modelu zdalnie sterowanego poduszkowca transportowego



Rys. 3. Rzuty 3D poduszkowca transportowego: z tyłu, z góry i z dołu



Rys. 4. Zaprojektowany model 3D zdalnie sterowanego poduszkowca transportowego wraz z całym wyposażeniem

3 OBLICZENIA

Na podstawie wymiarów poszczególnych elementów poduszkowca obliczono masę pojazdu bez elektroniki, która wynosi 1400 g. Ciężar całego pojazdu wraz z elektroniką sterującą wynosi 1975 g.

Siła wyporu całej płyty podłogowej modelu wynosi 11 kg. Jest to 3 razy więc niż waga całego modelu wraz z maksymalnym transportowanym ładunkiem.

Do napędu użyto dwa silniki bezszczotkowe, które pobierają łącznie maksymalnie 62 A. Do zasilania użyto dwa akumulatory Li-Po 11,1 V mające łączną pojemność 4400 mAh. Ponieważ oba silniki nie pracują z pełną mocą, pobierają średnio 25 A. Stąd model poduszkowca może nieustannie pracować przez 10 minut i 30 sekund. Przy średniej prędkości wynoszącej 15 km/h (4,167 m/s) model pokona dystans 2 km 625 m.

Siła ciągu jaką wytwarza silnik wraz z zamontowanym śmigłem została obliczona na podstawie wzoru 3.1 [10].

$$T = \sqrt[3]{(\eta * P)^2 * 2\pi r^2 * \rho} \quad (3.1)$$

η – sprawność śmigła = 0,7

P - Moc (napięcie silnika * prąd silnika * wydajność silnika)

r - promień śmigła (w metrach)

ρ - gęstość powietrza (1,22 kg/m³)

Siła ciągu silnika napędowego:

$$T = \sqrt[3]{(0,7 * 11,6 V * 34 A * 0,7)^2 * 2 \pi * (0,0889 m)^2 * 1,22 kg/m^3} \approx 13,13 N \approx 1,34 kg$$

Siła ciągu silnika unoszącego:

$$T = \sqrt[3]{(0,7 * 11,6 V * 28 A * 0,7)^2 * 2 \pi * (0,0889 m)^2 * 1,22 kg/m^3} \approx 11,53 N \approx 1,17 kg$$

Z powyższych obliczeń wynika, że siła ciągu wytwarzana przez silnik napędowy oraz unoszący jest wystarczająca do poprawnej jazdy poduszkowca.

4 WYKONANIE RZECZYWISTE

Podczas wykonania rzeczywistego modelu wzorowano się na założeniach projektowych. Wygląd wykonanego modelu nieznacznie odbiega od zaprojektowanego, a różnice te wynikają z problemów napotkanych podczas pierwszej jazdy próbnej.



Rys. 5. Prototypowy model poduszkowca

Podczas pierwszego testu model rozpędzał się bardzo wolno. Główny wpływ na to miał zbyt duży stosunek masy do wytwarzanego ciągu napędowego. Ponadto zastosowane rozwiązanie poduszki powietrznej sprawiało, że pojazd w trakcie skręcania znacznie przechylał się na bok. Pierwszy prototyp poduszkowca posiadał podwójny ster kierunku, który nie spełniał należycie swojej roli. Rysunek 5 przedstawia pierwszą prototypową wersję modelu.

Problem został rozwiązany dzięki redukcji masy całkowitej pojazdu. Została ona osiągnięta poprzez zmniejszenie wymiarów płyty podłogowej, tylnego tunelu oraz zamontowanie pojedynczego steru kierunku. Dodatkowe zmniejszenie masy zostało uzyskane dzięki zastąpieniu bocznych ścian kadłuba o połowę cieńszymi. Wszystkie te modyfikacje poprawiły osiągi oraz kontrolę pojazdu.

Po przeprowadzonych pierwszych testach modelu okazało się, że do uniesienia pojazdu nie jest potrzebny silnik o tak dużej mocy jak było początkowo założone. Zamiana silników polepszyła właściwości jezdne pojazdu zarazem nieznacznie zmniejszając maksymalną dopuszczalną masę ładunku do 2,5 kg.

Zastosowana w prototypie poduszka powietrzna nie zapewniała odpowiedniej stabilności pojazdu. Z powodu wypukłego kształtu w trakcie jazdy a zwłaszcza podczas pokonywania zakrętów, cały model znacznie kołysał się na boki, co groziło jego wywróceniem. W celu poprawienia stabilności konieczna była modyfikacja fartucha. Nowy płaszcz po napompowaniu przybierał kształt „odwróconego pontonu”, co zapewniło bardzo dobrą stabilność pojazdu w zakrętach oraz całkowicie wyeliminowało boczne kołysanie modelu. Rysunek 6 prezentuje zmodyfikowaną poduszkę powietrzną po napompowaniu. Na rysunkach 7, 8 i 9 przedstawiono widok poduszkowca w warunkach rzeczywistych.



Rys. 6. Napompowana poduszka powietrzna



Rys. 7. Model rzeczywisty poduszkowca. Widok z lewej strony



Rys. 8. Poduszkowiec podczas jazdy nad podłożem utwardzonym



Rys. 9. Poduszkowiec transportowy podczas manewrów na wodzie

Do realizacji zdalnego sterowania został zastosowany sześciokanałowy bezkwarcowy zestaw nadajnik-odbiornik FHSS HK6S/HK6DF mode 2 marki Hobby King (rysunek 10). Charakteryzuje się on bardzo dobrym stosunkiem jakości do ceny oraz posiada wystarczający do naszego projektu zasięg, wynoszący około jednego kilometra.



Rys. 10. Nadajnik [8] i odbiornik [9] zdalnego sterowania poduszkowca

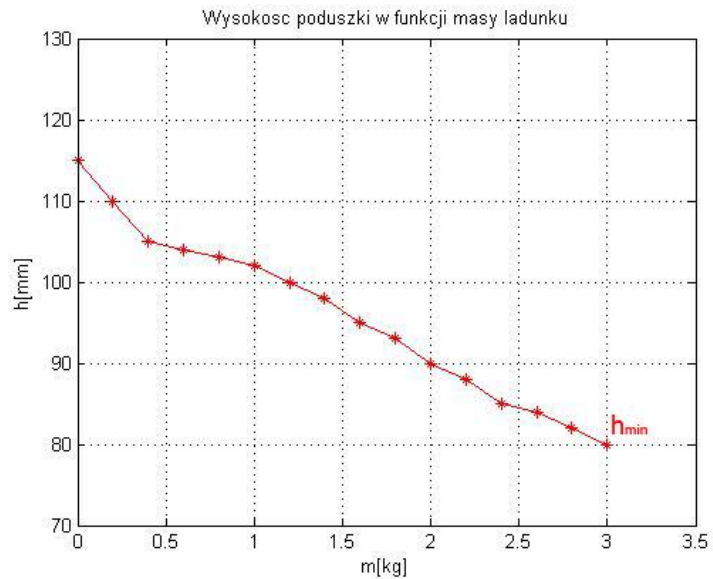
5 TESTY POJAZDU

Po wykonaniu modelu poduszkowca przeprowadzono test wpływu masy transportowanego ładunku na wysokość poduszki powietrznej. Przy stałej mocy silnika unoszącego wynoszącej 70 %, w zależności od obciążenia wysokość poduszki ulegała zmianie. Wahania te zostały przedstawione w tabeli nr 1.

Tab. 1. Wysokość poduszki w zależności od transportowanego ładunku

m [kg]	h [mm]
0	115
0,2	11
0,4	105
0,6	104
0,8	103
1	102
1,2	10
1,4	98
1,6	95
1,8	93
2	9
2,2	88
2,4	85
2,6	84
2,8	82
3	81

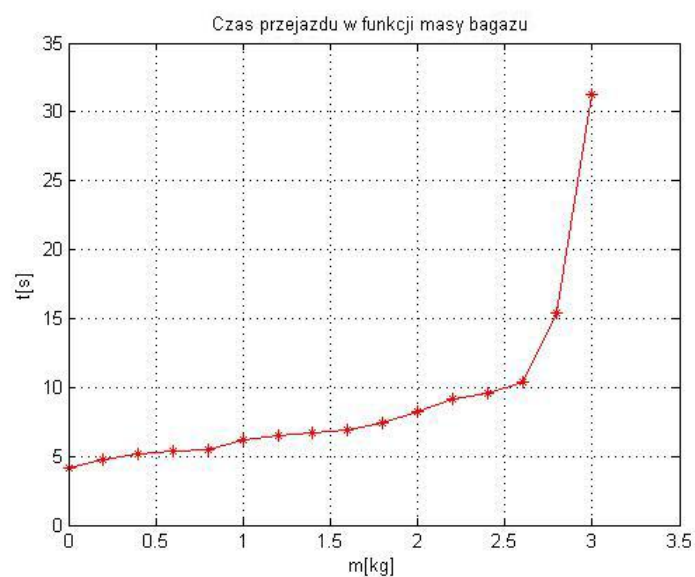
Na rysunku 11 przedstawiono charakterystykę wysokości poduszki w funkcji masy ładunku. Punkt oznaczony jako h_{\min} oznacza najmniejszą wysokość poduszki przy której poduszkowiec był w stanie się jeszcze poruszać. Dodatkowo dla każdego obciążenia został zmierzony czas przejazdu odcinka o długości 10 m. Wyniki pomiarów oraz średnia prędkość z każdego przejazdu zostały przedstawione w tabeli nr 2 i na rysunkach 12 i 13.



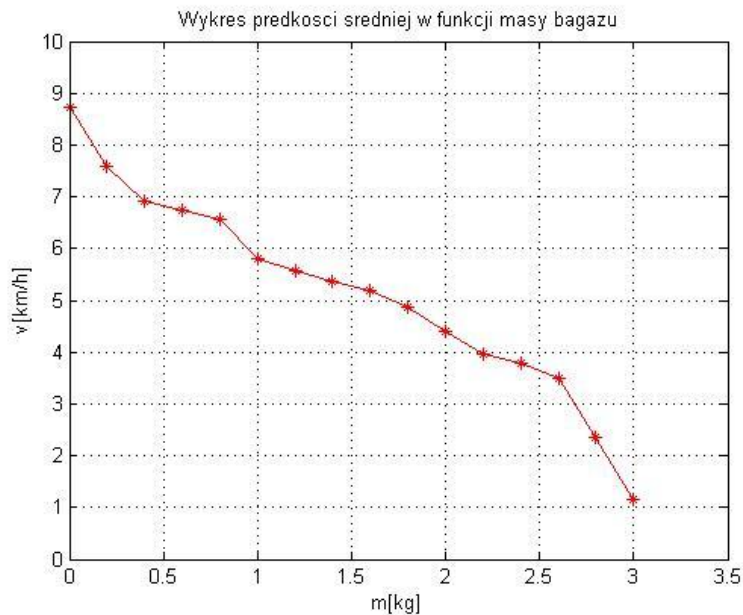
Rys. 11. Wykres wysokości poduszki w funkcji masy ładunku

Tab. 2. Czas przejazdu oraz średnia prędkość na odcinku 10 metrów.

m[kg]	t[s]	v[km/h]
0	4,12	8,74
0,2	4,74	7,59
0,4	5,21	6,91
0,6	5,33	6,75
0,8	5,49	6,56
1	6,21	5,80
1,2	6,45	5,58
1,4	6,69	5,38
1,6	6,94	5,19
1,8	7,37	4,88
2	8,20	4,39
2,2	9,11	3,95
2,4	9,52	3,78
2,6	10,34	3,48
2,8	15,41	2,34
3	31,24	1,15



Rys. 12. Wykres czasu przejazdu w funkcji masy bagażu



Rys. 13. Wykres czasu przejazdu w funkcji masy bagażu

Z wykonanych pomiarów widać, że po przekroczeniu 2,5 kg ładunku, osiągi poduszki drastycznie spadają. Z tego powodu zaleca się transport bagażu o masie nie przekraczającej 2,5 kg.

Następnie został przeprowadzony test zasięgu systemu zdalnego sterowania. Doświadczenie przeprowadzono na odcinku prostej drogi o długości wynoszącej 1,5 km, na której nie znajdowały się żadne przeszkody ograniczające widoczność. Uruchomiony pojazd został umieszczony w samochodzie, a następnie przewieziony na drugi koniec trasy. Maksymalny zasięg został wyznaczony, kiedy w trakcie jazdy silnik napędowy poduszki przestał pracować. Po przejechaniu 1100 metrów pojazd przestał reagować na sygnały z nadajnika. Odległość została wyznaczona za pomocą licznika dziennego samochodu oraz aplikacji korzystającej z sygnału GPS.

Pomimo że maksymalny zasięg wynosi około 1100 m, nie zaleca się przekraczania dystansu 800 metrów, gdyż podczas testu po jego przebyciu występowały bardzo krótkie przerwy w łączności, które objawiały się chwilowymi przerwami w pracy silnika.

WNIOSKI

Zdalnie sterowany poduszkowiec transportowy może z powodzeniem zostać wykorzystany między innymi do transportu żywności i medykamentów przez rzeki, jeziora i mokradła. Więcej zastosowań można uzyskać dzięki instalacji dodatkowego wyposażenia. Zamontowanie oświetlenia umożliwiłoby korzystanie z pojazdu po zmroku, a założenie kamery pozwoliłoby na wykorzystanie poduszki do celów zwiadowczych bądź patrolowych.

Przeprowadzone obliczenia, próby oraz testy pozwoliły również określić parametry przydatne dla użytkownika pojazdu. Z wyznaczonych charakterystyk oraz przeprowadzonych obliczeń można uzyskać informację o maksymalnej masie załadunkowej, zasięgu systemu zdalnego sterowania, prędkości oraz czasu pracy na akumulatorach.

Streszczenie

Artykuł przedstawia projekt oraz wykonany na jego podstawie model rzeczywisty zdalnie sterowanego poduszki transportowego. Poduszki są pojazdami o nietypowej a zarazem bardzo ciekawej konstrukcji, dzięki której mogą poruszać się po różnorodnym terenie. W obecnych czasach są wykorzystywane przez wojsko i służby ratownicze do różnorodnych misji, jak i do transportu pasażerskiego.

Model umożliwia transport ładunków do 2,5 kg, oraz realizację zadań reklamowych. Dobrano odpowiednie komponenty do konstrukcji poduszki, takie jak silniki bezszczotkowe, regulatory prędkości obrotowej, pakiet zasilający i system zdalnego sterowania.

W artykule zawarto założenia konstrukcyjne poduszki, obliczenia, projekt CAD oraz zaprezentowano

w pełni wykonany zdalnie sterowany poduszkowiec z opisem przeprowadzonych testów.

Construction remote-controlled transport hovercraft

Abstract

The article presents the design and made on the basis of it actual model of remote-controlled transport hovecraft. Hovercrafts are vehicles which due to their unusual structure are capable of moving on diverse terrains. Nowadays they are used by military and emergency services for variety of missions, as well as for public transportation.

Model lets trucking to 2,5 kg, and making advertising tasks. Selects the appropriate components for the construction of hovercraft, such as brushless motors, speed controllers, power battery pack and a remote control system.

In article presented technical assumptions of hovercraft, calculations, CAD design and presentation of fully operational model with a description of tests.

BIBLIOGRAFIA

1. Hollebhone A., The Hovercraft: A History, History Press, 2012
2. Jackson K., Discover the Hovercraft, Flexitech, LLC, 2004
3. Jackson K., Porter M., Introduction to RC Hovercraft, Flexitech, LCC, 2004
4. Wyleżoł M., CATIA. Podstawy modelowania powierzchniowego i hybrydowego, Helion 2003
5. Wyleżoł M., Modelowanie bryłowe w systemie CATIA. Przykłady i ćwiczenia, Helion 2002
6. Węlyczko A., Catia V5 Sztuka modelowania powierzchniowego, Helion 2009
7. Modern Hovercraft concept, <http://www.mymodernmet.com/profiles/blogs/modern-hovercraft-concept> (01.04.2014)
8. Nadajnik radiowy, http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__47080__hobbyking_hk6s_2_4ghz_fhss_6ch_tx_rx_white_mode_2_.html (09.04.2014)
9. Odbiornik, <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/6ch-receiver.jpg> (09.04.2014)
10. Ciąg silnika, <http://aeroquad.com/showthread.php?1048-Calculating-motor-thrust> (09.04.2014)