

FILIPEK Przemysław, POKRYWIŃSKI Karol

ŻYREK – PROJEKT AKUMULATOROWEGO, OSOBOWEGO, JEDNOKOŁOWEGO POJAZDU ŻYROSKOPOWEGO

Streszczenie

Artykuł zawiera projekt 3D jednokołowego pojazdu osobowego, zasilanego z akumulatora, który autonomicznie zachowuje równowagę w kierunku ruchu pojazdu oraz w kierunku poprzecznym do ruchu. Cały proces zachodzi dzięki opracowanemu rozwiązaniu przesuwu mas za pomocą układów balansu. Nadawanie prędkości realizowane jest za pomocą manetki zamontowanej do kierownicy pojazdu. Modelowanie przeprowadzono wykorzystując program Solid Edge ST5.

WSTĘP

W dobie wzrostu cen paliw ważnym elementem przy doborze własnego środka lokomocji stała się ekonomiczność podróżowania. Coraz częściej użytkownicy samochodów przesiadają się do mniejszych pojazdów lub całkiem z nich rezygnują, zdając się na komunikację masową. Taki stan skłania do szukania rozwiązań nietypowych, wykorzystujących alternatywne źródła energii. Pojazdem spełniającym takie wymagania ma być „Żyrek” – jednokołowy pojazd akumulatorowy z czujnikiem żyroskopowym. Dzięki jednokołowej konstrukcji jest znacznie mniejszy oraz lżejszy od pozostałych pojazdów dwu- lub czterośladowych. Jego parametry kwalifikują go do poruszania się w aglomeracjach miejskich.

Do napędu wykorzystano silnik elektryczny, zasilany z akumulatorów samochodowych, co czyni go ekologicznym oraz niewymagającym ze względu na obsługę i konserwację. Dzięki systemowi żyroskopowemu pojazd ten będzie w stanie utrzymywać równowagę, a skręcanie i wyważenie poprzeczne będzie zapewnione przez autonomiczny system balansu poprzecznego, określający położenie równowagi. Podczas spoczynku istnieje możliwość pozostawienia pojazdu na stopkach postojowych, dzięki czemu systemy balansujące mogą zostać wyłączone. Wiąże się to z oszczędnością energii, która jest bardzo ważna w pojazdach akumulatorowych, gdyż umożliwia wydłużenie czasu pomiędzy kolejnymi cyklami ładowania.

1. KOMERCYJNE POJAZDY ŻYROSKOPOWE

1.1. Dwukołowy pojazd Segway

Segway (rysunek 1) jest żyroskopowym pojazdem dwukołowym, stworzonym przez konstruktora Deana Kamena. Zadebiutował w 2001 roku i od razu odniósł wielki sukces. Powodzenie tego pojazdu związane jest z powstaniem nowego środka transportu, który przy niskich kosztach podróży umożliwia szybkie przemieszczanie. Produkt ten stale jest udoskonalany, co związane jest z co raz większym zainteresowaniem potencjalnych nabywców na całym świecie.



Rys. 1. Segway i2 a) poprawiona wersja, wypuszczona na rynek w 2006 roku [7], b) rozstrzał elementów w pojeździe Segway [8]

Ogólny system sterowania pojazdem opiera się na systemach żyroskopów, które w każdej chwili przemieszczania się i wykonywania manewrów kierowcy utrzymują pojazd w równowadze [1]. Sterowanie odbywa się poprzez balans ciała człowieka, który określa tym samym prędkość i kierunek ruchu. Następnie sygnał przekazywany jest na silniki napędzające koła. Skręt następuje poprzez odpowiednią różnicę prędkości kątowych każdego z kół. Całość czerpie energię z litowo-jonowej baterii umiejscowionej pod platformą Segway'a [7, 8].

Pojazd ten jest świetną alternatywą dla posiadaczy konwencjonalnych środków transportu, jednak nie jest pozbawiony wad. Podstawowym problemem jest pozycja i sterowanie. Przemieszczanie się na Segway'u wymaga nieustanej pracy ciałem, w celach utrzymania ruchu w odpowiednim kierunku a sama pozycja stojąca może być na dłuższą metę uciążliwa. Szczególnie problematyczne staje się to podczas transportu osób starszych lub tych, którzy podczas dojazdu do punktu przeznaczenia chcieliby zwyczajnie się odprężyć. Tych wad pozbawiony jest „Żyrek”, który umożliwia przemieszczanie w wygodnej pozycji siedzącej, bez konieczności balansu ciałem.

1.2. Jednokołowy pojazd Ryno

Najbardziej podobnym pojazdem do Żyrka jest jednokołowy pojazd Ryno (rysunek 2). Stworzony został w 2011 r. w Portland. Dzięki temu pomysłowi poruszanie się na jednym kole stało się realnie możliwe. Pozycja zajmowana na Ryno do złudzenia przypomina pozycję na motocyklu sportowym, co jest zdecydowanym plusem konstrukcji. Do pozostałych korzyści użytkowania takiego pojazdu należy zaliczyć dużą prędkość podróżowania (maksymalnie 40 km/h), zasięg blisko 50 km oraz niewielki promień skrętu, mieszczący się w jednym metrze. Ryno swą energię czerpie z baterii litowo-żelazowo-fosforanowej, która napędza silnik tarczowy znajdujący się w kole o rozmiarze 25", a całość waży 57 kg [3]. Na rynek wchodzi Ryno w wersji seryjnej z nieco gorszymi parametrami, jednak w porównywalnej cenie do prawdopodobnie największego rywala rynkowego – Segway'a. W przypadku Ryno, do jazdy wymagany jest również balans ciałem.



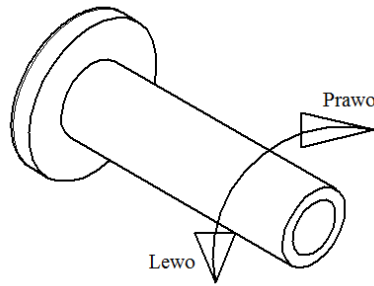
Rys. 2. Ryno [3]

2. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE ŻYRKA

Jednokołowy pojazd akumulatorowy z czujnikiem żyroskopowym „Żyrek” jest urządzeniem umożliwiającym przemieszczanie się w dowolnym kierunku jednej osobie o maksymalnej masie 100 kg. Po uruchomieniu pojazdu, systemy odpowiedzialne za balans ustalają pojazd w pozycji dynamicznie stabilnej. W momencie zajęcia pozycji siedzącej przez kierowcę, główna platforma ustala środek ciężkości między masą człowieka a masą systemu balansu poprzecznego. Podróż odbywa się przy nieziennej, siedzącej pozycji. Sterowanie pojazdem rozwiązane jest za pomocą dwóch potencjometrów zamontowanych na kierownicy, które odpowiednio służą do zmian prędkości oraz kierunku ruchu. W momencie dłuższego zatrzymania lub postoju, możliwe jest ustawienie stopek postojowych w postaci stalowych rurek z gumową osłoną, które umożliwią zachowanie pozycji wertykalnej przy wyłączeniu systemów balansujących w celu oszczędności energii.

2.1. Układ balansu kołem i masą

Najczęściej funkcja balansu w pojazdach jednokołowych jest rozwiązana w sposób dynamiczny. Polega ona na nadaniu odpowiedniej prędkości koła w oparciu o wskazania czujników. Rozwiązanie to nie jest jednak pozbawione wad. Przede wszystkim umożliwia utrzymanie równowagi wyłącznie podczas jazdy. Wymusza to nadanie prędkości wstępnej, która wiąże się ze zmniejszeniem komfortu jazdy. Pojazd „Żyrek” także posiada zdolność dynamicznego balansowania, lecz została ona wzbogacona o dodatkowe, wstępne ustalenie pozycji równowagi oraz balans poprzeczny. Daje to możliwość początkowego ustawienia pozycji równowagi, przez co wymuszenie prędkości wstępnej nie jest konieczne. Dodatkową innowacją jest balans boczny, którego współczesne pojazdy jednokołowe są pozbawione a balansowanie w kierunku poprzecznym jest pozostawione kierowcy. Obecność takiego balansu umożliwia pozostanie w bezpiecznej, pionowej pozycji jak najdłużej. Jednocześnie, gdy wystąpi konieczność zmiany kierunku jazdy, odbędzie się ona za pośrednictwem balansu poprzecznego, który obsługuje się jedną z manetek (rysunek 3).



Rys. 3. Obsługa manetki odpowiedzialnej za balans

Balans wzdłużny

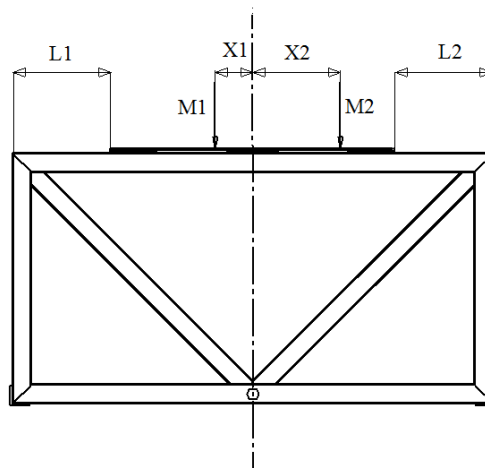
Masą balansującą w tym wypadku jest masa człowieka, umiejscowiona w niewielkiej odległości od masy balansu poprzecznego. Różnica tych mas jest wymuszeniem przesuwu platformy, aż do ustalenia pozycji równowagi, gdy zachodzi zależność:

$$M_1 * X_1 = M_2 * X_2, \quad (1)$$

gdzie: M_1 – siła wywierana przez kierowcę [N],

M_2 – siła wywierana przez balans poprzeczny [N],

X_1, X_2 – odległość od geometrycznego środka pojazdu [m].



Rys. 4. Zasada działania balansu wzdłużnego

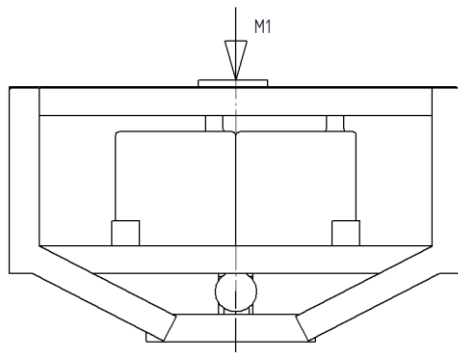
Umożliwia to usadowienie osoby kierującej w pewnej odległości ($X1$) od środka pojazdu (rysunek 4). Przesunięcie rzeczywistego punktu przyłożenia siły ($M1$) związane jest z nachyloną pozycją kierowcy, którego środek masy przesuwa się bliżej środka pojazdu. Odległości ($L1$) i ($L2$) pozostawione są w celu zapewnienia przesuwu, który związany jest ze zmienną masą użytkownika. Dodatkowo podczas postoju i nieobecności kierowcy, pojazd ustali siłę ($M2$) w położeniu osi geometrycznej pojazdu - pozostając w równowadze.

Balans poprzeczny

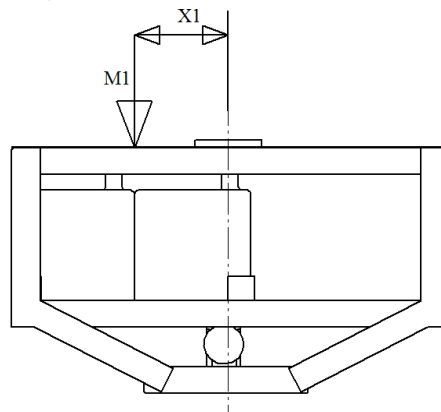
Zasada działania balansu poprzecznego opiera się na przesuwie masy w postaci akumulatorów (rysunek 5). W wyniku odchylenia akumulatorów od osi obojętnej powstaje moment powodujący przechył całego pojazdu. Istnieje także możliwość odwrócenia sytuacji, gdy przechył nie został wymuszony przez kierowcę. W takim wypadku system balansu przesunie masę w odpowiednią stronę w celu zachowania pozycji równowagi. Spowoduje to

powstaniem momentu żyroskopowego, którego działaniem będzie przechył pojazdu a w efekcie skręt w pożądanym kierunku.

a)



b)



Rys. 5 a) Balans w pozycji wyjściowej b) balans przy maksymalnym wysunięciu w lewo

2.2. Sposób sterowania

Sterowanie pojazdem odbywa się za pomocą dwóch potencjometrów zlokalizowanych w manetkach. Ich zadaniem jest zmiana prędkości poruszania oraz wychył mas akumulatorów, które odpowiadają za balans poprzeczny. Dzięki przesunięciu środka ciężkości w kierunku normalnym do ruchu, umożliwiona jest zmiana toru ruchu pojazdu. Ustalenie środka ciężkości w pozycji stycznej do ruchu jest automatyczne a kierowca na ustalenie równowagi wpływa jedynie swoją masą. W czasie ruchu za balans wzdłużny odpowiada dynamika ruchu całego pojazdu, zakładając, że masa całkowita nie zmienia się podczas jazdy.

W czasie spoczynku, gdy pojazd ustawiony jest na stopkach postojowych, system analizuje ewentualne zmiany środka ciężkości, lecz systemy balansujące zostają odłączone w celu zmniejszenia zużycia energii. W momencie podniesienia stopek pojazd włącza wszystkie systemy i wchodzi w tryb gotowości do jazdy.

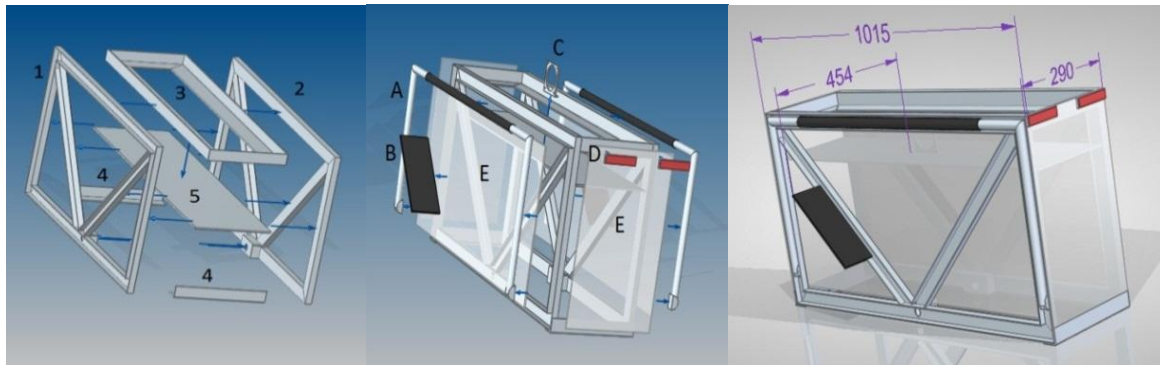
3. KONSTRUKCJA MECHANICZNA

Konstrukcja całej platformy jezdnej zbudowana jest ze stalowych elementów typu: ceownik, kątownik, płaskownik, rurka. Powodem zastosowania stali jest łatwość połączenia tych struktur poprzez spawanie oraz zwiększona wytrzymałość na wibracje występujące podczas jazdy. Dla ramy wykonano obliczenia wytrzymałościowe oraz przeprowadzono symulację naprężeń i przemieszczeń w module MES programu Solid Edge ST5.

3.1. Rama główna

Podstawowym elementem konstrukcyjnym pojazdu „Żyrek” jest rama główna, w skład której wchodzi (rysunek 6):

- a) rama boczna lewa - 1,
- b) rama boczna prawa - 2,
- c) rama pod prowadnice - 3,
- d) kątowniki dolne - 4,
- e) platforma dolna, ustalająca pozycję silnika napędowego oraz silnika przesuwu wzdłużnego - 5.



Rys. 6. a) Elementy ramy głównej, **b)** dodatkowe wyposażenie, **c)** złożenie z podstawowymi wymiarami

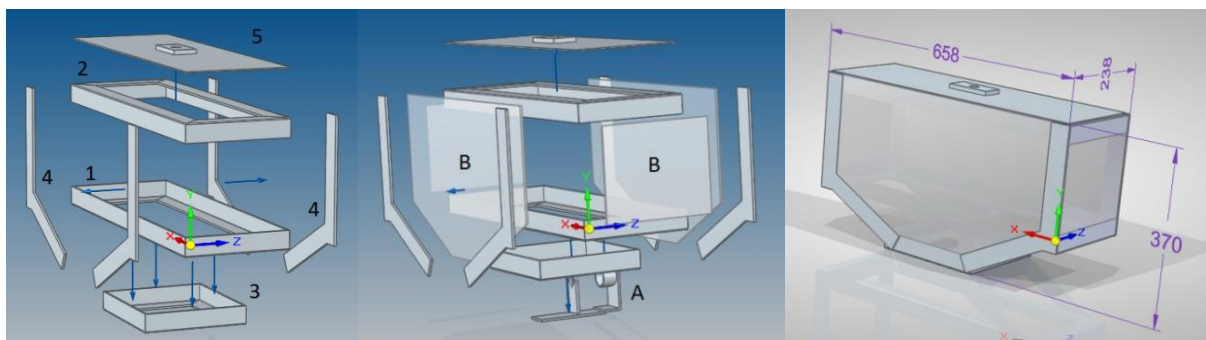
Wyposażeniem dodatkowym ramy są:

- a) stopki postojowe wraz z mocowaniem po obu stronach ramy - A,
- b) podnóżki po obu stronach ramy - B,
- c) elementy mocujące do silnika przesuwu wzdłużnego - C,
- d) elementy odblaskowe - D,
- e) przezroczyste płyty plexi zakrywające wnętrze ramy - E.

3.2. Rama balansu poprzecznego

Rama balansu poprzecznego jest elementem konstrukcyjnym, którego zadaniem jest przenieść obciążenie związane z niejednostajnym ruchem w kierunku poprzecznym oraz zabezpieczyć i zamocować elementy wewnętrzne. Rama zawiera w sobie elementy podstawowe, do których należą (rysunek 7):

- a) rama główna pod prowadnice - 1,
- b) rama górna - 2,
- c) rama dolna mocująca - 3,
- d) wsporniki boczne - 4,
- e) platforma górna do mocowania kierownicy - 5,



Rys. 7. a) Elementy ramy, **b)** dodatkowe wyposażenie **c)** złożenie z podstawowymi wymiarami

Dodatkowymi elementami są:

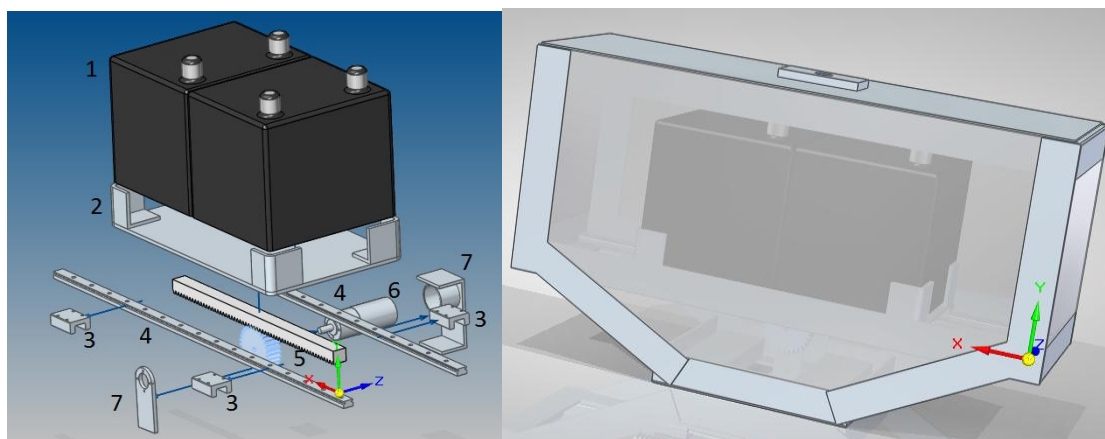
- a) elementy mocujące silnik – A,
- b) przezroczyste płyty plexi zakrywające wnętrze ramy – B.

3.3. System przesuwu wzdluznego i poprzecznego

Systemy przesuwu wzdluznego i poprzecznego mozna podzielic na elementy przesuwane, po sredniczace w przesuwie, zwiazane z napędem i przelozeniem momentu obrotowego oraz elementy pomocnicze.

Przesuw poprzeczny

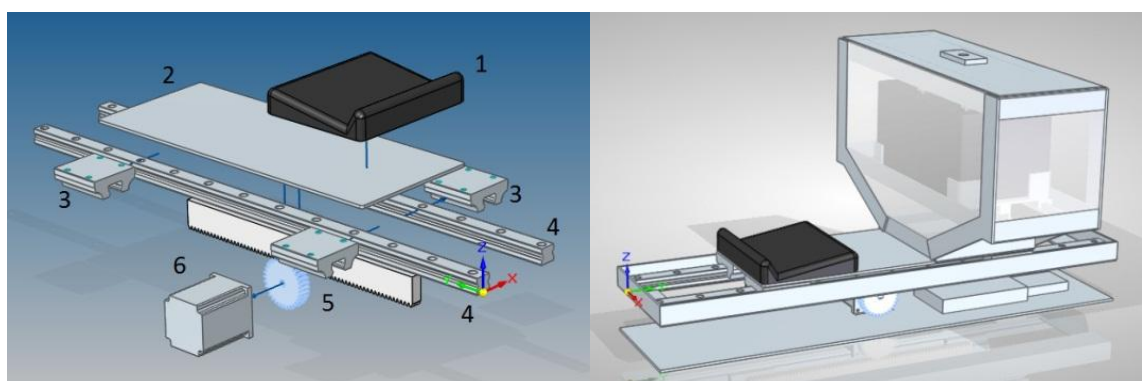
Do przesuwu poprzecznego (rysunek 8a) wykorzystywane sa prowadnice (4), na których umieszczone sa wózki (3), do których przymocowane sa akumulatory (1). Calosc napędzana jest silnikiem (6) zamontowanym w elementach mocujacych (7), który poprzez przekladnie zębatkowa (5) przemieszcza platforme z akumulatorami (2) w kierunku poprzecznym. Wszystkie elementy zawieraja sie w konstrukcji ramy balansu poprzecznego (rysunek 8b).



Rys. 8. a) Elementy balansu poprzecznego, **b)** umiejscowienie w ramie balansu

Przesuw wzdluzny

Do przesuwu wzdluznego (rysunek 9a) wykorzystywane sa prowadnice (4), na których umieszczone sa wózki (3), do których przymocowana jest platforma (2) z balansom oraz siedziskiem kierowcy (1). Calosc napędzana jest silnikiem (6) zamontowanym na platformie dolnej, który poprzez przekladnie zębatkowa (5) przemieszcza masy w kierunku wzdluznym. Wszystkie elementy zawieraja sie w konstrukcji ramy glownej (rysunek 9b).

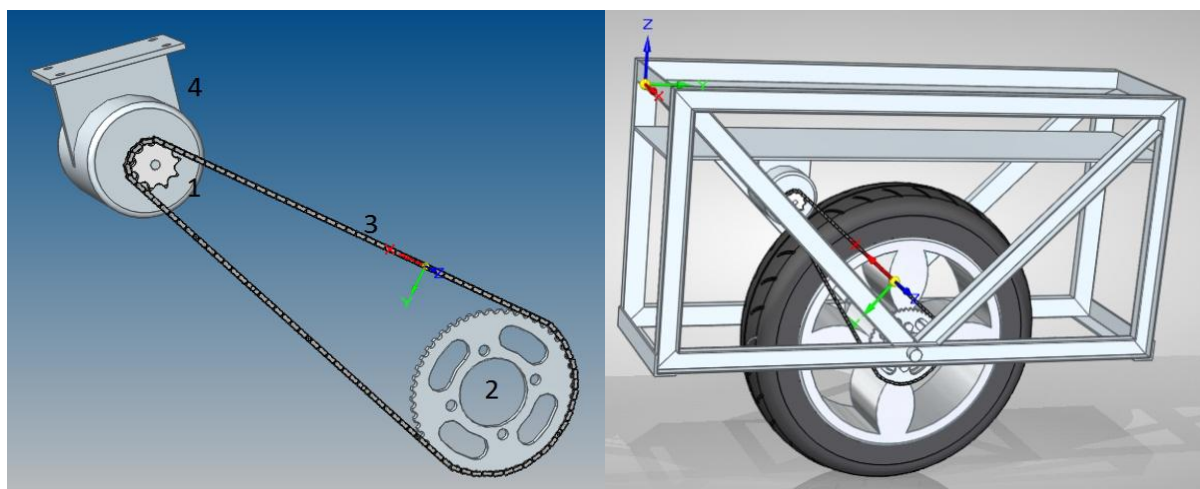


Rys. 9. a) Elementy przesuwu wzdluznego, **b)** umiejscowienie zlozenia z elementami przesuwanymi

3.4. Koło jezdne z napędem

Koło z aluminiową felgą R17 150/70 (rysunek 10b) zostało dobrane z motoru sportowoturystycznego Suzuki GSX 600F. Rozmiar związany jest z możliwie wysokim środkiem ciężkości, a dzięki dużej szerokości pojazd staje się stabilniejszy. Standardowe otwory pozwalają przymocować zębatkę oraz ramę całego pojazdu stosując połączenia śrubowe.

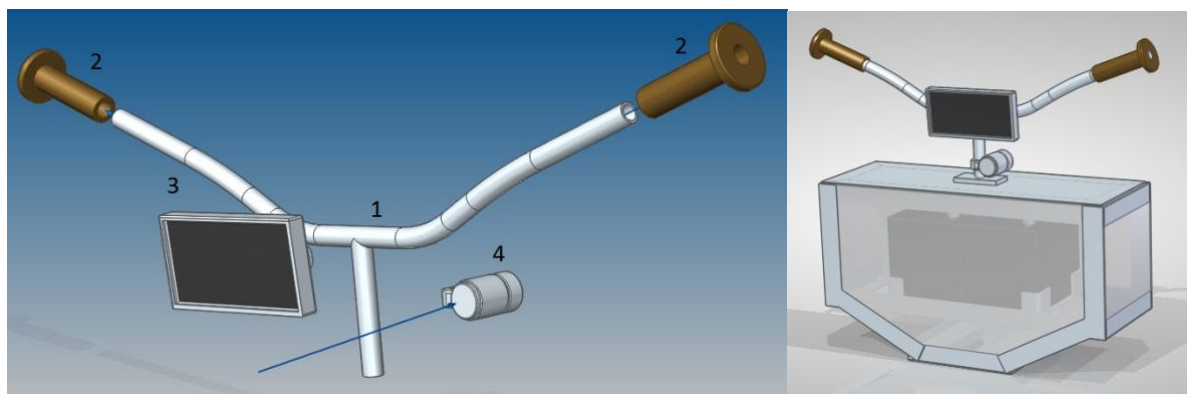
Napęd koła oraz pojazdu, (rysunek 10) zrealizowany jest dzięki silnikowi elektrycznemu prądu stałego (4) o mocy 250 W, na osi którego zamontowano zębatkę (1) przenoszącą moment obrotowy poprzez łańcuch (3) na zębatkę koła (2).



a) Elementy napędu koła, **b)** umiejscowienie w ramie głównej

3.5. Kierownica

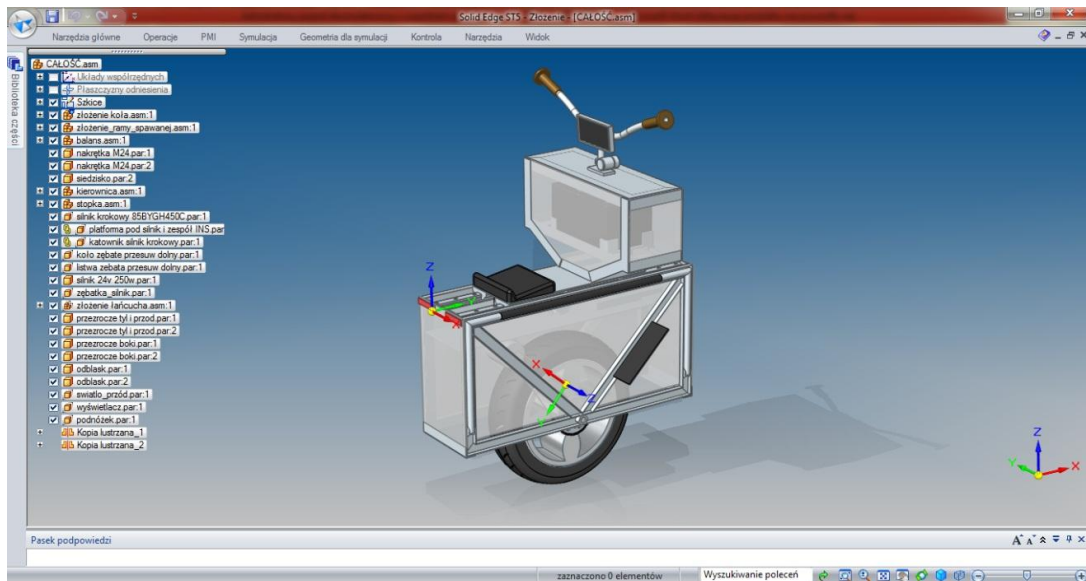
Kierownica (1) w pojeździe „Żyrek” spełnia inną rolę niż w klasycznych pojazdach dwukołowych (rysunek 11). Zamontowana na platformie balansu służy jako podpora sylwetki kierowcy oraz element sterujący wychyleniem mas i prędkością poruszania poprzez manetki (2). Dodatkowo jest miejscem mocowania światła przedniego (4) i wyświetlacza LCD (3) pokazującego aktualną prędkość, stan baterii, usytuowanie środka ciężkości oraz wiele innych wskazań.



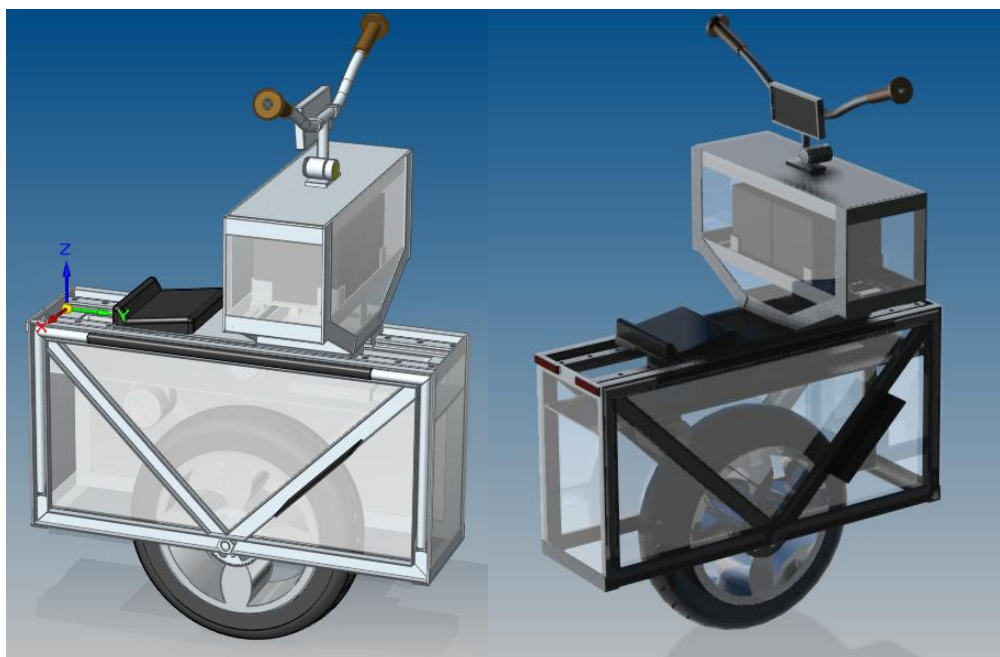
a) Elementy na kierownicy, **b)** zamocowanie kierownicy na ramie balansu poprzecznego

3.6. Złożenie końcowe

Pojazd „Żyrek” został całkowicie zamodelowany w programie Solid Edge wersja ST5 [2]. Złożenie całego pojazdu zawiera 216 elementów pogrupowanych w 16 podzłożeniach (rysunki 12 i 13).



Rys. 12. Model pojazdu Żyrek w środowisku CAD



Rys. 13. Model pojazdu – widok aksometryczny

4. PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE

Jako czujnik przyspieszenia w Żyrku został dobrany akcelerometr ADXL203 firmy Analog Devices. Jest to dwukierunkowy model o zakresie pracy $\pm 1,7g$. W stosunku do

innych konkurencyjnych akcelerometrów odznacza się bardzo dobrą stabilnością termiczną, małym poborem pracy i znakomitą liniowością [6].

Dla prawidłowych obliczeń pozycji w oparciu o dane z akcelerometru niezbędna jest znajomość zmian kierunków wyznaczanych przez osie pomiarów akcelerometru. Determinuje to zastosowanie modułu nawigacji inercyjnej czujnika ruchu obrotowego – żyroskopu [9]. Zastosowano układ ADXRS401 firmy Analog Devices [5]. Układ ten jest mikroelektromechanicznym miernikiem prędkości kątowej, działającym na zasadzie pomiaru siły Coriolisa.

Do sterowania urządzeniami elektronicznymi posłuży mikrokontroler Atmega 2560 firmy Atmel wbudowany w moduł Arduino 2560 R3 [11]. Element ten będzie przetwarzał informacje zebrane z czujników, a następnie sterował silnikami, w celu utrzymania pojazdu w równowadze. Dodatkowo jego rolą będzie analiza sygnałów z pozostałych czujników zamontowanych w konstrukcji oraz wyświetlanie wyników na wyświetlaczu LCD.

Jako silnik napędowy prądu stałego wybrano model 1016 250 W/24 V, którego głównym zastosowaniem jest napęd skuterów elektrycznych [4].

Silnik krokowy do przesuwu wzdłużnego nosi symbol 85BYGH450C, natomiast silnik do przesuwu poprzecznego 85BYGH-450-08. Napęd ten charakteryzuje się wysokim momentem obrotowym. Znajduje zastosowanie głównie w systemach pozycjonowania [10].

Do zapewnienia odpowiedniej energii pojazd wyposażono w dwa standardowe akumulatory kwasowe 12 V 45 Ah. Powodem zastosowania dwóch jest otrzymanie napięcia sterującego o wartości 24 V przy połączeniu akumulatorów w sposób szeregowy. Jednocześnie akumulatory służą jako masa balansu poprzecznego, gdzie masa jednego akumulatora byłaby zbyt mała.

WNIOSKI

Temat jednokołowych pojazdów balansujących jest bardzo obszerny. Dotyczy jednocześnie informacji z wielu dziedzin, po analizie których powstała propozycja budowy pojazdu działającego na zasadzie odwróconego wahadła. Do tego zagadnienia można także podejść z perspektywy automatyki, robotyki czy mechaniki. Przedstawione rozwiązanie jest związane z naciskiem na stronę mechaniczną pojazdu zamodelowanego w programie Solid Edge ST5. Największym problemem przy tego typu rozwiązaniach jest skomplikowanie sterowania, które odgrywa znaczącą rolę w pojazdach balansujących. Trudnością jest także relatywna nowość zagadnienia, co determinuje brak bezpośredniej literatury pomocnej przy rozwiązaniu danego problemu.

Największą nowością w projekcie pojazdu Żyrek jest system balansu poprzecznego. Brak danego zastosowania we współczesnej technice znacznie ogranicza określenie całkowitego efektu działania systemu, który należy sprawdzić w sposób empiryczny.

Należy także nadmienić, iż projekt ten będzie realizowany fizycznie w ramach prac koła naukowego ELMECH na Politechnice Lubelskiej.

BIBLIOGRAFIA

1. Kochan A., Chrzęszczyk R., *Napędy i sterowanie w pojazdach jednokołowych – przegląd rozwiązań koncepcyjnych*. Gliwice 2012.
2. Szymczak P., *Solid Edge*. Wyd. CAMdivision, Wrocław 2012.
3. Blog o tematyce nowych technologii, <http://www.vincentabry.com/en/ryno-motors-1-wheel-electric-motorcycle-605>, (20.11.2012).
4. Charakterystyki silników magma, <http://www.magmapolska.pl/page3.html>, (04.01.2013).
5. Hurtownia elektroniki, http://robosavvy.com/store/product_info.php/products_id/358, (04.01.2013).

6. Hurtownia elektroniki, <http://www.aunytor.com/english/elecview/AD/ADXL203CE.html>, (04.01.2013).
7. Informacje o Segway, <http://www.segwaylarioja.com/>, (20.11.2012).
8. Informacje o Segway, <http://www.segtour-berlin.de/index.php?id=501>, (22.11.2012).
9. Portal elektroniczny, <http://elektronikab2b.pl/technika/12098-yroskopy-i-akcelerometry-mems-w-elektronice-uytkowej>, (02.01.2013).
10. Silniki krokowe, http://www.wobit.com.pl/produkty/silniki/krokowe/silniki_krokowe.php, (05.01.2013).
11. Strona modułu Arduino, <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>, (04.01.2013).

ŻYREK – BATTERY DESIGN, A PASSENGER VEHICLE 1-WHEEL GYROSCOPIC

Abstract

The article includes 3D design 1-wheel passenger vehicle, powered by a battery that autonomously creates a balance in the direction of the vehicle and in the direction transverse to the movement. The whole process takes time thanks to mass displacement termination agreements with the balance. Transmission speed is achieved by means of shift paddles mounted to the steering wheel. Modeling was performed using Solid Edge ST5.

Autorzy:

dr inż. **Przemysław Filipek** – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
inż. **Karol Pokrywiński** – student studiów II stopnia Politechniki Lubelskiej