

Article citation info:

Golebiowski W. Concept of the construction of electric go-kart (eKart). The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2018; 80(2): 53-63.

<http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL80.ART4>

Koncepcja konstrukcji gokarta elektrycznego (eKarta)

Włodzimierz Gołębiowski¹

Streszczenie

Pojazdy elektryczne stają się coraz bardziej popularne w naszym życiu. Nie są jednak tak szeroko stosowane w sporcie motorowym. Formuła E, stworzona w celu zwiększenia popularności napędu elektrycznego w sporcie motorowym, nie wystarczy. Każdy kierowca, który chce awansować do Formuły 1 (seria wyścigów o najwyższej randze), powinien swą przygodę ze sportem motorowym rozpocząć od kartingu najlepiej w wieku 5 lat. Obecnie gokarty są napędzane tylko silnikami spalinowymi.

W celu zapewnienia młodym kierowcom możliwości ścigania się małymi pojazdami elektrycznymi zwanymi eKarts, silniki spalinowe powinny zostać zastąpione silnikami elektrycznymi. Jednocześnie, eKart powinien oferować osiągi podobne do gokartów spalinowych.

W artykule podsumowano efekty analiz możliwości budowy eKarta dla różnych kategorii wiekowych. Udowodniono, że obecna technologia umożliwia tworzenie eKartów dla kategorii dzieci i juniorów.

W publikacji zaproponowano również koncepcję budowy eKarta wykorzystującego zalety silników elektrycznych. Zaproponowana koncepcja budowy zakłada wprowadzenie niezależnego napędu kół osi tylnej pozwalającą na tzw. torque vectoring

Słowa kluczowe: eKart, elektryczny motorsport, formuła-e, elektryczne gokarty, budowa elektrycznego układu napędowego, elektryczny dyferencjał.

1. Wstęp.

Historia samochodu elektrycznego rozpoczęła się na początku ery automobilizmu, tzn. w XIX wieku. W tym czasie pojazdy elektryczne konkurowały z pojazdami spalinowymi i parowymi, nie tylko na ulicach, ale także na torach wyścigowych. Światowy rekord prędkości lądowej w wysokości 105,88 km / h został ustanowiony przez Belgę Camille Jenatzy w 1899 roku w pojeździe elektrycznym i został niepokonany przez kolejne 3 lata [1] [2]. Na trasie wyścigu Paryż-Bordeaux-Paryż brał udział pojazd elektryczny francuskiego konstruktora Charlesa Jeantauda. Samochód ten miał świetne osiągi, lecz w 15 punktach trasy musiał wymieniać akumulatory o masie 950 kg. Problem z przecho-

¹ Technical University of Lodz, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Vehicles and Fundamentals of Machine Design, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Lodz, Poland; e-mail: golebiowskiw@wp.pl

wywaniem energii elektrycznej był powodem dla którego pojazdy elektryczne już dawno zniknęły z ulic, a także ze sportu motorowego. .

Wzrost świadomości ekologicznej i poszukiwanie nowych obszarów usprawnień w sporcie motorowym doprowadziły do opracowania technologii hybrydowej, która była pierwszą oznaką powrotu do energii elektrycznej. W serii wyścigów F1 wzrosły wymagania dotyczące efektywności energetycznej, a udział systemów hybrydowych, odzyskiwania energii wzrósł. W 2006 r. Ogłoszono przepisy, a w 2009 r. Wprowadzono kinetyczny system odzyskiwania energii w serii wyścigów F1. System zwany KERS (Kinetic Energy Recovery System) pozwolił na uwalnianie energii do 400 kJ na jednym okrążeniu [4] [5] i nie więcej niż 60 kW. Wagę systemu hybrydowego potwierdziły rezultaty pierwszego najbardziej prestiżowego wyścigu długodystansowego, w którym wystartowały pojazdy hybrydowe. W wyścigu LeMans w dniach 16-17 czerwca 2012 roku na dwóch pierwszych miejscach sklasyfikowano dwa samochody hybrydowe Audi. Poza Audi-LMP1 e-tron Toyota wprowadziła również swój hybrydowy pojazd TS030.

Kolejnym krokiem w kierunku ekologicznego motorsportu było stworzenie elektrycznej serii E. W Formule E wyścig trwa około 50 minut, a problem przechowywania niedostatecznej ilości energii został rozwiązany przez obowiązkowy pit-stop i wymianę samochodu. Formuła E wykorzystuje łatwą kontrolę energii i zwiększa interakcję z kibicami. W trybie wyścigowym maksymalna moc jest ograniczona do 170kW. Jednak trzech kierowcy, którzy wygrywają fan-boost w głosowaniu on-line, mogą otrzymać dodatkowe 100kJ zwiększającą maksymalną moc do 200kW przez kilka sekund.

Formuła E została zaakceptowana przez kierowców wyścigowych. Były kierowca F1 i obecny kierowca Formuły E, Nelson Piquet Jr, powiedział, że "Jeśli zależy Ci na sławie i błysku fleszy, F1 jest najlepszą serią wyścigową, ale równie ekscytująca walka na torze jest w Formule E. Formuła E została stworzona aby zwiększyć popularność sportu motorowego elektrycznego, ale nadal niestety niewiele jest serii wyłącznie elektryczne".

Praktycznie każdy kierowca F1 aby dostać się do tej serii musiał zacząć od kartingu w wieku od 5 do 8. Ale teraz gokarty są zasilane tylko silnikami spalinowymi. Aby wprowadzić dla młodych kierowców możliwość ścigania się lekkimi pojazdami wyścigowymi elektrycznymi, tak zwanymi eKartami, silniki spalinowe muszą zostać wymienione na silniki elektryczne. Założono, że aby eKarts zyskał popularność, powinien zapewnić parametry gokartów o silnikach spalinowych. W poprzednim artykule autora udowodniono, że dzięki istniejącej technologii bateryjnej Li-Ion możliwe jest tworzenie eKartów dla dzieci i młodzieży (do 15 roku życia) [12]. Oczekuje się, że rozwój technologii baterii, która powinna nastąpić w ciągu 3 lat, pozwoli na zapewnienie gęstości energii co najmniej 350Wh / kg, czyli pozwoli na wypracowanie rozwiązań dla starszych kategorii eKartów (15 i więcej). Pojawia się zatem pytanie: jaka powinna być konstrukcja eKarts wykorzystująca zalety budowy gokartów spalinowych?

2. Konstrukcja gokarta z silnikiem spalinowym

W celu zaprezentowania budowy eKarta, dokonano analizy konstrukcji gokartów o napędzie spalinowym (ICE), w celu znalezienia niezbędnych własności i obszarów usprawnień.

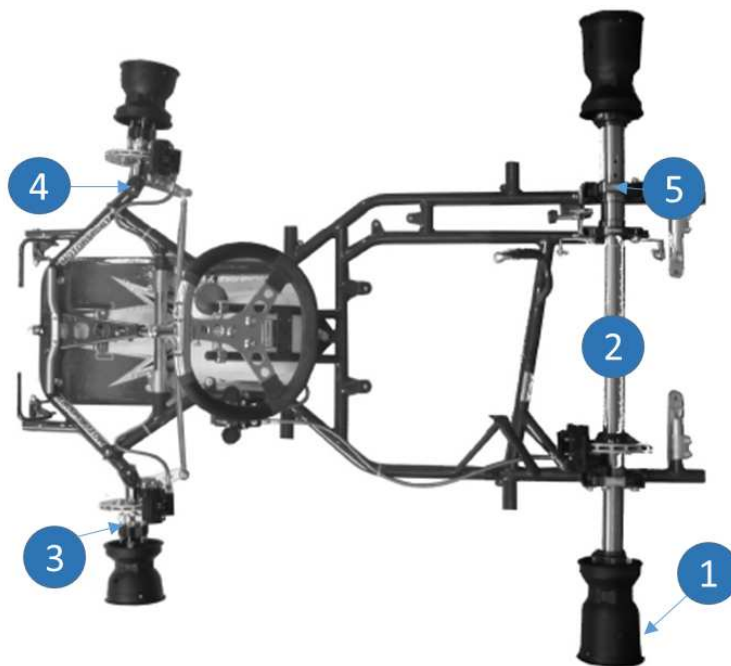
Gokarty są prostą konstrukcją samochodów wyścigowych. Są one zbudowane na ramie bez zawieszenia, z napędem na sztywną oś tylną, bez mechanizmu różnicowego.

Istnieje wiele konstrukcji gokartów ICE, ale istnieją dwa typy homologowanych podwozi gokartów wyścigowych, pierwszy - rozstaw osi kół 950 mm dla kategorii dziecięcych,

drugi - rozstaw osi 1045 mm dla młodzieży i doświadczonych zawodników. Kształt ramy i główne wymiary są określone przez przepisy CIK-FIA [6].

Rysunek 1 przedstawia budowę konstrukcji Birel typ RY 30 w zgodnych z przepisami CIK-FIA. Jego główne składniki to:

1. Oś tylna
2. Oś przednia
3. Regulowany sworzень zwrotnicy, siodło sworznia zwrotnicy
4. Podpory tylnej osi

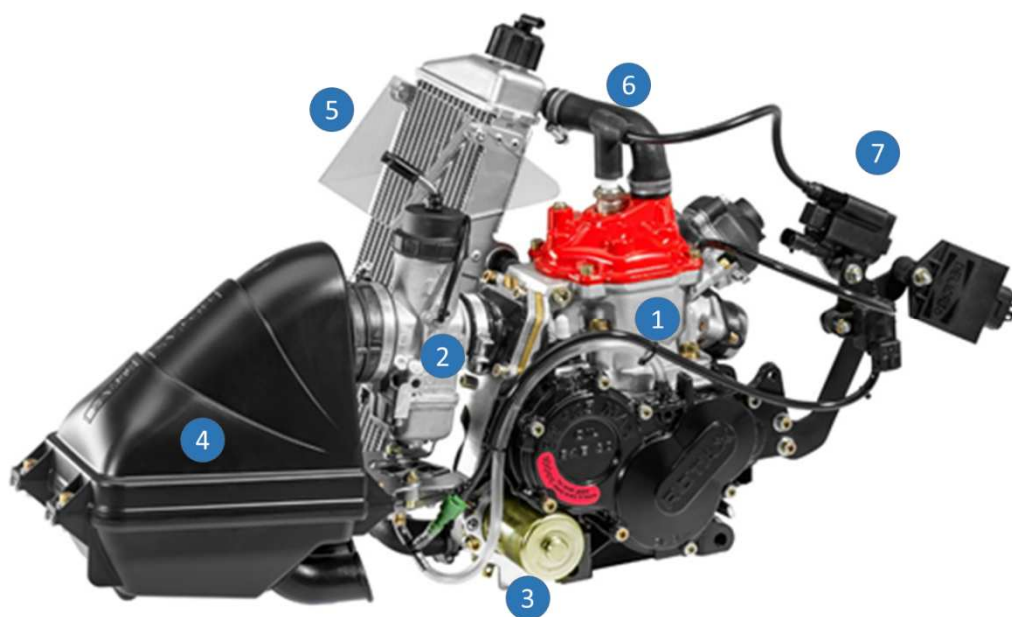


Rysunek 1 Podwozie gokarta spalinowego Birel RY 30, główne elementy [7] [8]

Układ kierowniczy jest bezpośrednim (krzywkowym) trapezowym mechanizmem zwrotniczym. Brak mechanizmu różnicowego i bardzo duża przyczepność mechaniczna osi tylnej, wymusiły konstrukcję układu kierowniczego w gokarcie pozwalającą na regulację efektu Ackermanna. Dzięki regulowanej pozycji mocowania dolnego i górnego sworznia zwrotnicy czyli m.in. kąta wyprzedzenia osi sworznia zwrotnicy możliwe jest pełna regulacja prowadzenia koła. Konstrukcja ta powoduje, iż przy skręcie kół następuje opuszczanie przedniego zewnętrznego koła i podniesieniu przedniego wewnętrznego koła, co skutkuje przesunięciem środka masy oraz odciążenie tylnego wewnętrznego koła. Dzięki tym efektom obniżone zostają opory ruchu przy pokonywaniu zakrętów [9]

W przypadku podwozia 1045 mm możliwe są dwie konfiguracje układu hamulcowego, hamulec hydrauliczny na tylną oś, lub hamulec na tylną oś wraz z tarczami na osi przedniej, zasilane oddzielnymi pompami hydraulicznymi (uruchamianymi pedałem hamulca, dźwignia koła kierownicy).

Najbardziej popularnymi silnikami w kartingu wyczynowym są jednostki dwusuwowe jednocylindrowe. Pojemność silników jest różna w zależności od serii i kategorii wyścigowej. Dominują dwie pojemności silników 60 cm³ oraz 125 cm³, których prędkości obrotowe sięgają 20 000 obrotów na minutę. W kategoriach juniorskich i seniorskich dominują jednostki o pojemności 125 cm³. Na rysunku 2 przedstawiono silnik Rotax Max o pojemności 125 cm³ wraz z osprzętem.



Rysunek 2 Silnik Rotax Max o pojemności 125 cm³ dla kategorii junior wraz z osprzętem [10]

1. Silnik (cylinder)
2. Gaźnik
3. Rozrusznik
4. Pojemnik rezonansowy dolotu
5. Chłodnica (kierownica powietrza chłodnicy)
6. Świeca zapłonowa, fajka świecy zapłonowej
7. Cewka zapłonowa

Przełożenie układu przeniesienia jest określone przez organizatorów serii dla wybranych torów dla poszczególnych zawodów i kategorii zgodnie z regulacjami CIK-FIA.

W wyższych kategoriach wyścigowych stosowane są również napędy ze zintegrowanymi skrzyniami biegów.

Oś tylna łożyskowana jest łącznie w trzech punktach, w jednym punkcie po lewej stronie i dwóch po prawej stronie, po stronie przeniesienia napędu.

Gokarty wyposażone są w elementy aerodynamiczne, pełniące jednocześnie funkcje bezpieczeństwa. Wielkości elementów aerodynamicznych i ich umocowanie jest określone w regulacjach CIK-FIA.

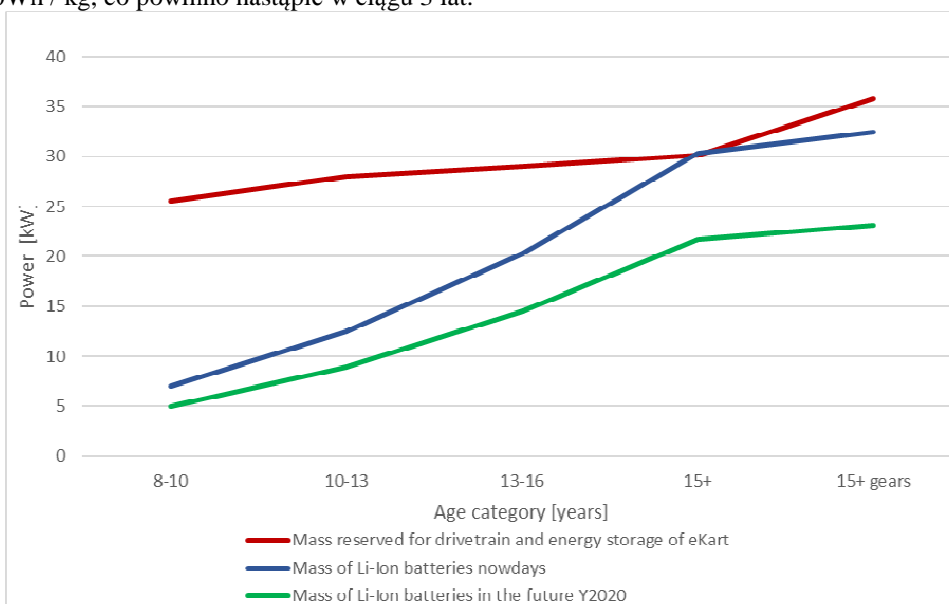
3. Analiza danych napędu gokarta o napędzie spalinowym

W celu ustalenia założeń dla eKart, przeprowadzono analizę parametrów układu napędowego i parametrów trakcyjnych zarejestrowanych na wyścigach i treningach oficjalnych serii Rotax Max Challenge 2016, na następujących certyfikowanych torach kartingowych:

- Speedworld in Bruck, Austria
- Goethe Stadium w Keckemet, Węgry
- Pann Ring w Ostffyasszonyfa, Węgry
- Autodromo Vysoke Myto w Vysoke Myto, Czechy
- Tor Radom, w Radomiu, Polska
- Bydgoszcz w Bydgoszczy, Polska
- 7 Laghi Kart - International Circuit in Castelletto di Branduzzo, Włochy

Rezultaty i wnioski zostały opisane szerzej w artykule autora “Analysis of vehicle dynamics parameters for electric go-kart (eKart) design” [12].

Podczas przeprowadzonych badań, udowodniono, że przy użyciu istniejącej technologii akumulatorów litowo-jonowych możliwe jest tworzenie eKartów kategorii dla dzieci i juniorów z wymogiem, że obecna waga gokartowca w każdej kategorii wiekowej jest podana na rys. 3. Stwierdzono również że w celu zapewnienia rozwiązania dla starszych kategorii, należałoby zmienić przepisy, na przykład: czas wyścigowy i ciężar pojazdu, lub oczekiwać na nowe technologie baterii, aby zapewnić gęstość energii co najmniej 350Wh / kg, co powinno nastąpić w ciągu 3 lat.



Rysunek 3. Maksymalna masa zespołu napędowego eKart z akumulatorami w porównaniu do potencjalnej masy baterii w obecnej technologii Li-Ion i w technologii oczekiwanej w ciągu 3 lat dla określonych kategorii wiekowych

4. Koncepcja elektrycznego pojazdu

Do opracowania koncepcji założyliśmy, że projekt eKarta powinien być prostym, cztero-kołowym pojazdem z napędem na tylne koła, wykorzystującym zalety napędu elektrycznego. Kluczowe zalety napędu elektrycznego to kompaktowy rozmiar, stosunek mocy do ciężaru, wysoki moment obrotowy i możliwość zapewnienia niemal identycznych parametrów wyjściowych (prędkość, moc, moment obrotowy).

Możliwość zapewnienia identycznych parametrów jezdnych stała się również podstawą do zaprojektowania podwozia pojazdu. Przyjęto, iż dla zachowania prostoty eKart będzie pojazdem opartym na ramie rurkowej z zawieszeniem bez elementów resorujących. W projekcie eKarta zdecydowano się na stosowanie niewielkich wymiarów silnika elektrycznego. Założono, że każde koło tylnej osi będzie napędzane oddzielnym silnikiem. Rozwiązanie to pozwoli na zróżnicowanie szybkości obrotowej wewnętrznego i zewnętrznego koła osi tylnej podczas pokonywania zakrętów. Pomoże to również osiągnąć lepszą stabilność przy zachowaniu podobnego rozłożenia masy eKarta w stosunku do gokarta o napędzie spalinowym.

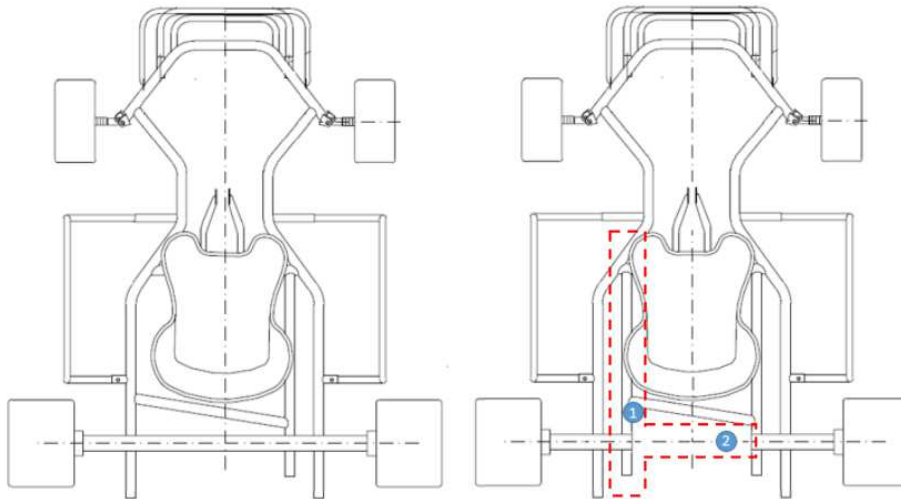
Ze względu na fakt iż konstrukcja gokarta spalinowego jest regulowana przepisami, usprawniana i standaryzowana od 50 lat przy tworzeniu koncepcji eKarta, gokart spalinowy był wzorcem do porównania.

Przyjęto, iż eKart będzie konstrukcją wykonaną w technologii obecnie produkowanych gokartów. eKart ma też posiadać wymiary i masy podobne do obecnie wykorzystywanych bolidów, aby zapewnić dostępność torów o odpowiedniej geometrii, i dopasować pojazd do możliwości fizycznych zawodników w różnych grupach wiekowych.

Założono, iż eKart powinien dzielić jak najwięcej ustandaryzowanych części z platformy gokartów spalinowych tak aby dostęp do części, a tym samym adopcję pojazdu, z drugiej strony nie rezygnując z zapewnienia jak największej porównywalności osiągow pojazdów. I dlatego np.: przewidziano taki sam układ kierowniczy i podobne podwozie a odmiennie zaprojektowano oś tylną z elektronicznym rozkładem siły napędowej nazwany elektronicznym mechanizmem różnicowym, korygujący moc/obroty silników przy jeździe w zakrętach.

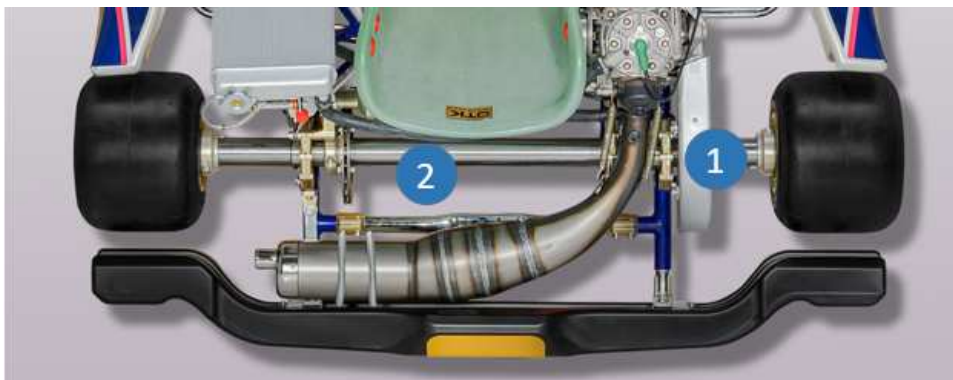
Zastosowanie elektronicznego mechanizmu różnicowego jest wykorzystaniem zalet silnika elektrycznego do zapewnienia takich samych lub lepszych własności jezdnych. W przypadku gdy gokart o napędzie spalinowym porusza się w zakręcie sztywno, łącząca koło lewe i prawe oś tylna wymusza dużą podsterowność, ponieważ koło wewnętrzne porusza się prędkością wyższą niż wynikająca z drogi koła po okręgu, a koło zewnętrzne porusza się z prędkością niższą niż wynikająca z drogi koła po okręgu. Dzięki korekcji moc/obrotów niezależnych silników eKart w zamierzeniu powinien prowadzić się neutralnie lub możliwe będzie korygowanie jego ustawień tak aby w zależności od toru można było konfigurować efekt pod lub nad sterowności.

Zgodnie z przedstawionymi założeniami, przyjęto następujące wytyczne do projektu eKarta. Konstrukcja eKarta będzie bazowała na gokartach spalinowych. Na rysunku 4. przedstawiono dwie modyfikacje podwozia gokarta spalinowego na potrzeby eKarta.



Rysunek 4 Szkic poglądowy modyfikacji podwozia gokarta spalinowego do konstrukcji eKarta

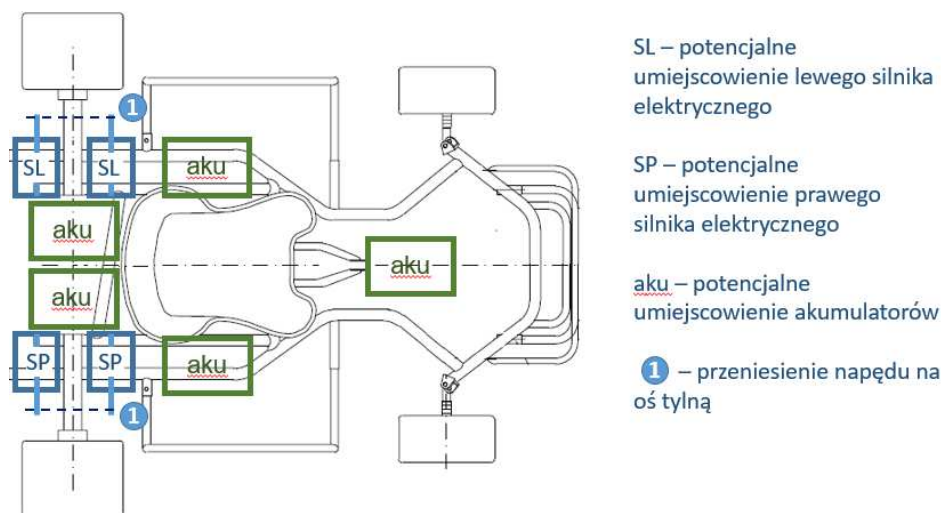
Pierwszą modyfikacją oznaczoną nr 1 na rysunku 4 jest dodanie podpory osi tylnej z lewej strony symetryczne do istniejących podpór (zaprezentowane na rysunku 5, z numerem 2, ze strony prawej tak, aby możliwe było podzielenie osi tylnej na dwa elementy. Drugą modyfikacją oznaczoną nr 2 na rysunku 4 jest podzielenie osi tylnej na dwa niezależne elementy. Ponieważ oś tylna łączy jej punkty podparcia, stanowi jednocześnie element konstrukcyjny tyłu pojazdu. W gokartach tylna oś występuje o różnych parametrach sztywności, aby możliwe było ustawienie właściwości trakcyjnych tyłu pojazdu. W eKarcie właściwości trakcyjne tyłu pojazdu będą regulowane rozprórką między wewnętrznymi punktami podparcia osi (rozwiązanie nie występujące w gokartach o napędzie spalinowym) i rozprórką między zewnętrznymi punktami podparcia (rozwiązanie występujące w gokartach o napędzie spalinowym oznaczone nr 1 na rysunku 5)



Rysunek 5 Tylne elementy zawieszenia Kosmic MERCURY MY15 [11]

Ponieważ w gokartach podpory ułożyskowania osi tylnej prawej strony stanowią jednocześnie elementy konstrukcyjne mocowania silnika spalinowego, modyfikacja podwozia oznaczona nr 1 na rysunku 4 pozwoli na zamontowanie odrębnych silników dla obu kół osi tylnej. Silniki elektryczne będą zainstalowane na elementach konstrukcyjnych podpór

osi tylnej. Na etapie projektowania zostanie ustalone czy silniki znajdować się będą przed czy za osią tylną pojazdu, zgodnie z prezentacją na rysunku 6 możliwe są oba warianty.



Rysunek 6 Rozmieszczenie głównych elementów eKarta

Silniki elektryczne w zależności od kategorii będą występowały w kilku wariantach mocy. W zależności od mocy silniki mogą być zarówno chłodzone powietrzem jak i cieczą.

Rysunek 6 przedstawia również miejsca mocowania akumulatorów tak aby zapewnić jak najlepsze wyważenie eKarta. Umieszczenie akumulatorów jednocześnie musi zapewniać ich maksymalną ochronę ze względu na zatrucia lub oparzenia zawodnika w przypadku ich uszkodzenia. Umieszczenie akumulatorów zostało zaproponowane w miejscach najmniej narażonych na kontakt z innymi eKartami i elementami toru (barierami). Proponowane miejsca instalacji akumulatorów z tyłu pojazdu znajdują się między osią tylną i zabezpieczone są poprzez zderzak tylny, miejsca instalacji z boku zabezpieczone są kesonami bocznymi, elementy aerodynamiczne i zderzak zgodne ze specyfikacją gokartów o napędzie spalinowym przedstawione. Miejsce na akumulator przedni znajduje się w miejscu zbiornika gokartów. Zaletą miejsc mocowania akumulatorów z tyłu lub z boku jest bliskość silników natomiast zaletą miejsca z przodu jest lepsze wyważenie.

Akumulatory będą dodatkowo zabezpieczone poprzez obudowy kompensujące uderzenia będące izolatorami, tak aby pojazd mógł być użytkowany bezpiecznie w zawodach sportowych i w różnych warunkach pogodowych. Konstrukcja akumulatorów musi zapewnić ich łatwą wymianę i modularność. Każdy z wykorzystywanych akumulatorów musi być tych samych wymiarów, aby można było ich użyć zamiennie. Akumulatory powinny mieć możliwość szybkiego łączenia ich w większe jednostki.

W przypadku zastosowania akumulatorów wydzielających duże ilości ciepła, do rozstrzygnięcia na etapie projektowania będzie określenie typu układu chłodzenia. Podobnie jak w przypadku silnika, możliwe jest zastosowanie chłodzenia powietrzem lub cieczą.

Najważniejszym elementem eKarta jest sterownik. Zakłada się, iż sterownik silników będzie możliwy do zabezpieczenia przed nieautoryzowanymi modyfikacjami i będzie umożliwiał przetworzenie informacji z czujników:

- położenia kierownicy
- położenia pedału gazu
- położenia pedału hamulca
- prędkości obrotowej koła
- przeciążenia poprzecznego i wzdłużnego
- dot. napięcia, natężenia prądu i oporności
- dot. bieżącego położenia wału silnika

Położenie sterownika w naturalny sposób będzie bliskie silnikom i akumulatorom tj. w tylnej części pojazdu za fotelem kierowcy.

Ze względu na właściwości silników elektrycznych, założono iż układ hamulcowy osi tylnej będzie zapewniony przez elektryczny układ napędowy. Ze względu na modyfikacje podwozia pojazdu umiejscowiono podpory wału napędowego z lewej strony w miejscu, gdzie występował układ hamulcowy osi tylnej gokarta. Dla bezpieczeństwa przyjęto, iż eKart będzie posiadał hamulec awaryjny na osi przedniej. Awaryjny układ hamulcowy będzie bazował o standardowe podzespoły gokarta o napędzie spalinowym.

5. Wnioski

W artykule "Analiza parametrów dynamiki dla pojazdu elektrycznego (eKart) design" [12] autor dowodzi, że przy użyciu istniejącej technologii akumulatorów litowo-jonowych możliwe jest skonstruowanie eKartów dla kategorii dzieci i młodzieży.

W tym artykule autor przedstawia koncepcję eKarta zgodną z założeniem, że eKart będzie zbudowany na bazie technologii i komponentów gokarta spalinowego. Oczekuje się, że eKart dzięki elektrycznemu mechanizmowi różnicowemu zwanym torque vectoring. może aktywnie zarządzać momentem obrotowym i mocą na każdym z tylnych kół.

Dzięki torque vectoring eKart ma zapewnić lepsze osiągi zwłaszcza przy pokonywaniu zakrętów.

Bibliografia

- [1] Renault S.A.S. The Electric Revolution, www.youtube.com (Available 2011).
- [2] Jastrzębska G. Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.
- [3] Węglarz A, Pleśniak M. Samochód Elektryczny Instytut na Rzecz Ekorozwoju. Warszawa 2011, Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.
- [4] FIA, Formula one technical regulations, ww.fia.com/regulations 2009
- [5] Jacob J, Colin J A, Montemayor H, Sepac D, Trinh HD, Voorderhake SF, Zidkova P, Paulides JJH, Borisaljevic A, Lomonova EA. InMotion hybrid racecar: F1 performance with LeMans endurance. The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, 2015.
- [6] Karting technical regulations, CIK-FIA.
- [7] Technical drawing No. 1 Chassis frame and chassis main parts, CIK-FIA.
- [8] Birel Homologation, CIK-FIA.
- [9] William F. Milliken, Douglas L. Milliken. Race Car Vehicle Dynamics: Problems, Answers and Experiments, Publisher: Society of Automotive Engineers Inc, 2003.
- [10] BRM <http://www.rotax-kart.com/en/Products/MAX-Engines/> (cited January 2018).
- [11] <http://www.kosmickart.com> (cited January 2018).
- [12] Golebiowski W, Szosland A, Kubiak P. Analysis of vehicle dynamics parameters for electric go-kart (eKart) design, Mechanics and Mechanical Engineering International Journal (przyjęta do publikacji), issn 1428-1511.