

Adrian KRZEMIŃSKI
Mariusz KOSOBUDZKI *

WSTĘPNA ANALIZA WYMAGAŃ STAWIANYCH KOŁOM JEZDNYM DO POJAZDU WYSOKIEJ MOBILNOŚCI

Słowa kluczowe: *Scorpio, Rover Challenge, druk 3D, łożek, URC, off-road*

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie podstawowych wymagań, jakie powinny spełniać koła jezdne do pojazdów wysokiej mobilności. Zakres wymagań i analiz został ograniczony do łożek kontaktów koła z podłożem, w tym łożeka Scorpio X, tworzonego przez Koło Naukowe OFF-ROAD działające na Wydziale Mechanicznym PWi. Autorzy scharakteryzowali aktualne rozwiązania stosowane w pojazdach najlepszych, wybranych kół studenckich z całego świata. Punktem wyjścia była analiza sił działających na koła jezdne analizowanego pojazdu w wybranych warunkach ruchu. Oceniono również istniejące rozwiązanie wykonania kół materiałowych wykonanych z materiału Cordura.

1. WSTĘP

Od lat ludzkość myśli poważnie o możliwości przeprowadzenia misji załogowych na Marsa. Ograniczeniem są ciągle wysokie koszty przedsięwzięcia oraz istniejące bariery techniczne i technologiczne. W przełamywaniu istniejących ograniczeń największe światowe agencje kosmiczne (w tym NASA) inspirują koła studenckie uczelni technicznych z całego świata do rozwijania pojazdów autonomicznych, przystosowanych do ruchu w warunkach terenowych, nazywanych łożkami marsjańskimi.

Areną zmagania do powstających w ramach działalności studenckich kół naukowych rozwiązań technicznych takich pojazdów są międzynarodowe zawody z serii Rover Challenge. Jednym z najtrudniejszych i jednocześnie najbardziej znanych konkursów jest University Rover Challenge (URC). Założeniem tego konkursu jest przeprowadzenie zawodów na pustyni w stanie Utah, Stany Zjednoczone, w warunkach wiernie odtwarzających te panujące na Marsie. Co roku 36 łożków walczy o miano najlepszego w 4 różnych konkurencjach. Jedną z nich jest test „Traversal Task”, który sprawdza

* Adrian Krzemiński – Koło Naukowe Pojazdów Niekonwencjonalnych OFF-ROAD,
Politechnika Wroclawska
Mariusz Kosobudzki - Katedra Inżynierii Maszyn Roboczych i Pojazdów Przemysłowych,
Politechnika Wroclawska.

możliwości opracowanych zawiesznień konkurujących łażników. Duża konkurencja w zawodach powoduje, że zespoły co roku sięgają po nowe rozwiązania technologiczne mające zapewnić przewagę nad rozwiązaniami konkurencyjnymi.

Koło Pojazdów Niekonwencjonalnych Off-Road bierze z sukcesami udział w zawodach URC od 2011 roku. Łażnik Scorpio III, który zajął II miejsce na URC 2013, po raz pierwszy zastosował unikatowe w skali świata opony materiałowe, wykonane z materiału trudnościeralnego – Cordura. Powodem zastosowania tak niekonwencjonalnego rozwiązania była potrzeba redukcji masy oraz problem ze znalezieniem komercyjnych rozwiązań, które mogłyby zastąpić klasyczne koła gumowe.

2. ZAŁOŻENIA OGÓLNE DO ŁAZIKÓW MARSJAŃSKICH

Podstawowym założeniem jest zbudowanie pojazdu przystosowanego do jazdy poza drogami. Jednym z ważniejszych układów takich pojazdów jest ich zawieszenie i układ jezdny, a kluczowym komponentem układu jezdnego są koła, w tym opony, które mają być w stanie zapewnić dostatecznie dużą przyczepność do podłoża podczas jazdy w trudnym terenie. Zasadniczym wymaganiem jest możliwość rozwinięcia wymaganej siły napędowej na powierzchni kontaktu koła z podłożem, uzyskania małych oporów ruchu oraz minimalizację oporów ruchu wynikających ze skrętu pojazdu.

Wstępne wymagania do kół pojazdu są wynikiem analiz warunków ruchu pojazdu w terenie, w jakim odbywają się poszczególne zawody.

Poniżej przedstawiono listę trzech największych zawodów z serii Rover Challenge:

- URC – Hanksville, USA
- ERC (European Rover Challenge) – Kielce, Polska
- CIRC (Canadian International Rover Challenge) – Drumheller, Kanada

Każdy organizator konkursu indywidualnie podchodzi do zagadnienia symulacji warunków marsjańskich. Ze względu na istniejące lokalne ograniczenia, w tym teren do przeprowadzenia zawodów, nie ma możliwości całkowitego ujednoczenia występujących przeszkód terenowych. Zawody URC wykorzystują naturalną pustynię jako symulację terenu, na ERC wykorzystuje się specjalnie zbudowany „Mars Yard”, pokazany na rys. 1. CIRC wykorzystuje naturalny teren polodowcowy, który został także zmieniony przez działalność archeologiczną. Jednolitym założeniem każdego zawodów jest nawierzchnia piaskowo-żwirowa z możliwymi przeszkodami w postaci kamieni. Każde z zawodów posiada także unikalne cechy, które narzucają dodatkowe ograniczenia podczas definiowania założeń systemów zawieszenia. Jedną z takich cech jest dopuszczenie roślinności na terenie zawodów CIRC [1], czy bardziej ekstremalny teren w postaci pionowych spadków i zboczy do 45° w przypadku zawodów URC [2].



Rys. 1. „Mars Yard” zlokalizowany na terenie Politechniki Świętokrzyskiej [9].
Fig. 1. „Mars Yard” located on the premises of Kielce University of Technology [9].

Kolejnymi założeniami, które wynikają z regulaminów zawodów jest ograniczenie masy maksymalnej całego łoża do 50 kg. Ponadto zespoły dostają punkty dodatkowe za każdy zaoszczędzony kilogram poniżej limitu, co zachęca do daleko idącej optymalizacji pojazdu i znaczącej redukcji masy. Innymi ograniczaniem są dopuszczalne wymiary zewnętrzne podwozia pojazdu 1,2 m x 1,2 m. Należy także zwrócić uwagę, że te wymiary dotyczą łoża przed rozłożeniem. Zespoły budują wyposażenie specjalistyczne pojazdów w taki sposób, żeby po kontroli wymiarów podwozia bazowego osprzęt łoża mógł się rozłożyć i przyjąć położenie robocze. Takie rozwiązania mają na celu symulowanie ograniczonej przestrzeni ładunkowej w rakiecie transportowej. Organizatorzy zawodów nie wprowadzają póki co ograniczenia wysokości pojazdu.

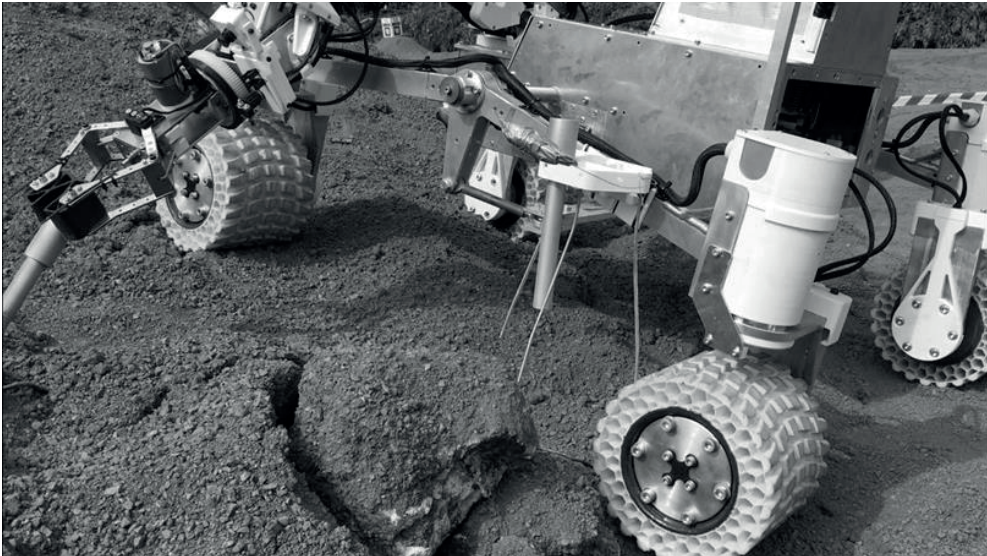
3. PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ KÓŁ JEZDNYCH ZBUDOWANYCH PRZEZ KLUCZOWE ZESPOŁY STUDENCKIE

Ogólne wymagania przedstawione w rozdziale 1. pozwalają na dość swobodne kształtowanie różnych rozwiązań i wykorzystywanie dostępnych technologii przez poszczególne zespoły. W tym obszarze można wskazać na upowszechniającą się technikę druku 3D, która pozwala na szybkie prototypowanie elementów oraz tworzenie skomplikowanych części z materiałów, jakie nie były wcześniej dostępne. Jednym z bardziej utytułowanych zespołów, który korzysta z druku 3D przy produkcji kół, jest AGH Space Systems [3]. Koła w ich pojeździe zostały wykonane w technolo-

gii FFF – Fused Filament Fabrication. Do wykonania felg został wykorzystany wytrzymały materiał PET-G – politereftalan etylenu modyfikowany glikolem. Sama opona została wykonana z elastomeru termoplastycznego firmy Fiberlogy – Fiberflex 40D. Wykorzystanie elastomeru pozwala na osiągnięcie zjawiska podatności – dopasowania opony do podłoża. Wnętrze opony jest stworzone wg struktury plastra miodu, co zapewnia dobre właściwości wytrzymałościowe. Strukturę koła oraz felgi można zobaczyć na rys. 2.

Kolejnym zespołem, który osiąga duże sukcesy w zawodach jest zespół Impuls z Politechniki Świętokrzyskiej z łazikiem Impuls II. W tym pojeździe wykorzystano inną koncepcję budowy koła, które składa się z trzech jednakowych kół pojedynczych o średnicy 300 mm [4]. Podobne rozwiązania stosuje się w maszynach rolniczych w celu zwiększenia siły uciążu podczas pracy na polach przy jednoczesnym ograniczeniu deformacji gruntu. Opony są wykonane prawdopodobnie z gumy i wykazują się bardzo niską podatnością. Należy tutaj wskazać na brak możliwości skrętu kół. Z tego powodu łazik Impuls II skręca poślizgowo, co generuje dodatkowe obciążenia w układzie zawieszenia.

Innym zespołem, który odnosi sukcesy, jest Stanford Student Robotics ze Stanford University. Ich łazik opiera się na konstrukcji sześciokołowej. Ich koncepcja kół zakłada wykonanie ich w innej technologii; są one zrobione z gotowych, dmuchanych opon. Cały układ jezdny również nie posiada kół skrętnych, co wymusza skręcanie poślizgowe. Ciekawym rozwiązaniem wydaje się zamontowanie dodatkowych łańcuchów z nylonu w celu zwiększenia przyczepności. Prowadzi to do wniosku, że koła dmuchane mogą nie zapewniać wymaganej siły przyczepności.



Rys. 2. Koła łazika Kalman, stworzonego przez zespół AGH Space Systems [10].

Fig. 2. Wheels of Kalman rover, made by AGH Space Systems team [10].

4. ANALIZA STOSOWANYCH ROZWIĄZAŃ KÓŁ W POJAZDACH MARSJAŃSKICH

Analizując wykorzystywane koncepcje budowy kół można zauważyć, że takie same wstępne wymagania prowadzą do bardzo odmiennych rozwiązań. Parametry kół znacząco różnią się od siebie i można tutaj wyróżnić generalny podział na koła sztywne i podatne. Przykładowym rozwiązaniem zastosowania kół o małej podatności jest pojazd Impuls II. W pozostałych przykładach, inne pojazdy, w tym łazik Scorpio X, wykorzystują koła podatne. Warto zauważyć, że Impuls II jako jedyny posiada zawieszenie niezależne, które jest w stanie przejąć obciążenia od nierówności podłoża, które w pozostałych pojazdach są pochłaniane przez podatne koła. Kolejnym ważnym parametrem kół jest ich współczynnik tłumienia. Jest on zależny głównie od materiału opony i wpływa na redukcję obciążeń powstających podczas toczenia się koła na różnym podłożu. Koła łazików Scorpio X oraz Kalman posiadają dobre współczynniki tłumienia uzyskane dzięki materiałowi wypełnienia opon (pianka Memory Foam w przypadku Scorpio). Koła łazika Impuls II wykazuje się małym współczynnikiem tłumienia nierówności, co można zaobserwować na filmie SAR [4]. W tym przypadku koła przekazują drgania na układ zawieszenia, który skutecznie tłumi powstające przemieszczenia kół. Najmniejsze tłumienie mają opony łazika ze Stanfordu ze względu na wypełnienie opon gazem [5].

Kolejnym parametrem charakteryzującym koła jest ich przyczepność do podłoża. Zależy ona od terenu na jakim porusza się pojazd oraz konstrukcji samego koła, w tym opony. W przypadku Scorpio X, Kalmana oraz Impuls II mamy do czynienia z dobrą/bardzo dobrą przyczepnością, łazik Stanfordu wykazuje się dużym poślizgiem kół przy najeżdżaniu na przeszkody, pomimo zastosowania dodatkowych łańcuchów z nylonu.

Ostatnim parametrem jest odkształcenie boczne opon. Parametr ten ma bardzo duże znaczenie przy wykonywaniu skrętu, zwłaszcza metodą poślizgową. W tym przypadku Impuls II wykazuje się całkowitą sztywnością boczną, Kalman oraz Stanford posiadają niskie odkształcenia opon, a łazik Scorpio X posiada najgorszą stabilność boczną ze względu na materiałowe opony oraz podatne wypełnienie.

Podsumowanie analizowanych parametrów przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Naprawy eksploatacyjne pojazdów w skali roku [11].

Tab. 1. Vehicle service repairs per year [11].

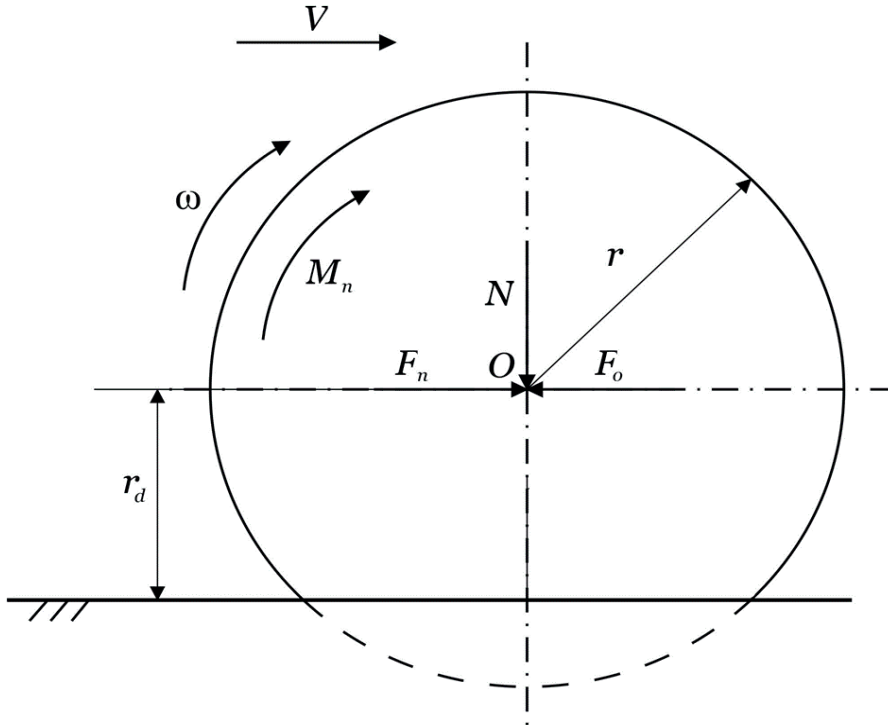
	Scorpio X	Impuls II	Kalman	Stanford
Podatność	duża	bardzo mała	średnia	duża
Wsp. tłumienia	duży	średni	duży	mały
Przyczepność	dobra	dobra	bardzo dobra	mała
Odkształcenie boczne	duże	zerowe	małe	średnie
Średnica	~300 mm	300 mm	~200 mm	b.d.
Bieżnik	brak	tak, mały	tak, duży	tak, łańcuchy nylonowe

5. SIŁY DZIAŁAJĄCE NA OPONĘ

Przed wstępnym określeniem parametrów optymalnej opony, należy przeanalizować rozkład obciążeń działających na koło podczas wybranych warunków pracy, którymi w przypadku pojazdu skręcającego poślizgowo są:

- jazda na wprost,
- skręcanie,
- pokonywanie kołem przeszkody.

Podczas jazdy ustalonej na wprost występuje zjawisko toczenia się koła (zakładamy, że bez poślizgu). W takim przypadku dolna część opony znajduje się w kontakcie statycznym z podłożem. Współczynnik przyczepności koła do podłoża przyjmuje wartość odpowiadającą spoczynkowi i nazywany jest przyłgowym (statycznym). Siły działające na koło w ruchu ustalonym zostały przedstawione na rys. 4 [7].



Rys. 3. Diagram sił i momentów występujących w kole podczas jazdy na wprost [11].

Fig. 3. Diagram of forces and moments applied on wheel during forward movement [11].

r , r_d – promień koła: odpowiednio bez obciążenia koła oraz dynamiczny,
 M_n – moment napędzający koło.

Biorąc pod uwagę fakt, że łaźnik Scorpio X jest zbudowany na planie kwadratu, możemy zdefiniować nacisk na koło N jako $\frac{1}{4}$ wartości siły ciężkości, wynikającej z masy łaźnika Q (1). Na koło działa moment napędowy M_n , który rozwija siłę obrotową F_{obr} (2).

$$N = \frac{1}{4} Q \quad (1)$$

$$F_{obr} = \frac{M_n}{r_d} \quad (2)$$

Przeciw ruchowi pojazdu działa siła oporów ruchu F_o , która zależy od siły normalnej N oraz współczynnika oporów toczenia się kół f (3). Siła napędzająca koło pojazdu F_n zależy od wartości współczynnika przyczepności μ_{st} oraz siły nacisku N (4). Wartość współczynnika tarcia przyłgowego μ_{st} zależy od warunków współpracy opony z podłożem (m.in. materiału z jakiego wykonane są opony, kształtu bieżnika, czy rodzaju nawierzchnia drogi).

$$F_o = Nf \quad (3)$$

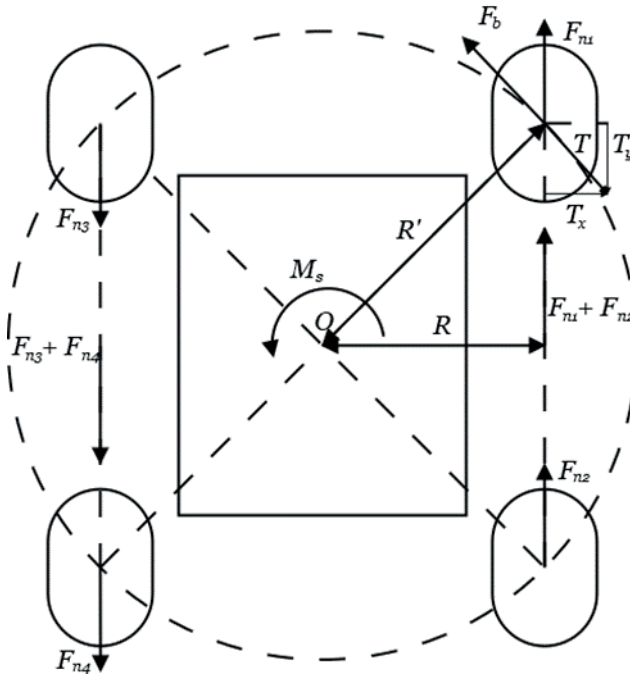
$$F_n = N\mu_{st} \quad (4)$$

Ostatecznie można zapisać, że:

$$\frac{M_n}{r_d} \geq F_n = N\mu_{st,kin} > Nf \quad (5)$$

Dla ustalonej jazdy na wprost możemy określić moment napędowy krytyczny, po przekroczeniu którego koło wpadnie w poślizg ($\mu_{st} \rightarrow \mu_{kin}$, $\mu_{kin} < \mu_{st}$) (5). Jest to zjawisko niepożądane z punktu widzenia jazdy na wprost (spadek siły napędowej).

Kolejną rozpatrywaną sytuacją jest skręcanie poślizgowe. Ze względu na brak skrętnych osi (kół), łaźnik Scorpio X skręca poślizgowo. Do skręcania poślizgowego konieczne jest celowe wprowadzenie kół napędzanych w poślizg i wytworzenie momentu skrętu M_s . Po przekroczeniu wartości krytycznej momentu napędowego M_n siła napędowa F_n zmniejsza swoją wartość ($\mu_{kin} < \mu_{st}$). Koła po jednej stronie pojazdu obracają się przeciwnie do kół drugiej strony, co prowadzi do powstania momentu skrętu M_s . schematyczny rozkład sił podczas skrętu poślizgowego przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Diagram sił występujących podczas skręcania poślizgowego łazikiem [11].

Fig. 4 Diagram of forces applied during rover slip turning [11].

Siłę napędową po każdej stronie F_{nx} można sprowadzić do jednej siły, działającej na ramieniu R . Generuje to moment skręcający M_s , który powoduje skręt łazika. W przypadku spełnienia warunku (6) mamy do czynienia ze skręcaniem w miejscu, w każdym innym przypadku, skręcaniem po łuku.

$$F_{n1} + F_{n2} = F_{n3} + F_{n4} \quad (6)$$

Powstały moment skręcający M_s wywołuje ruch boczny każdego koła spowodowany siłą F_b (7):

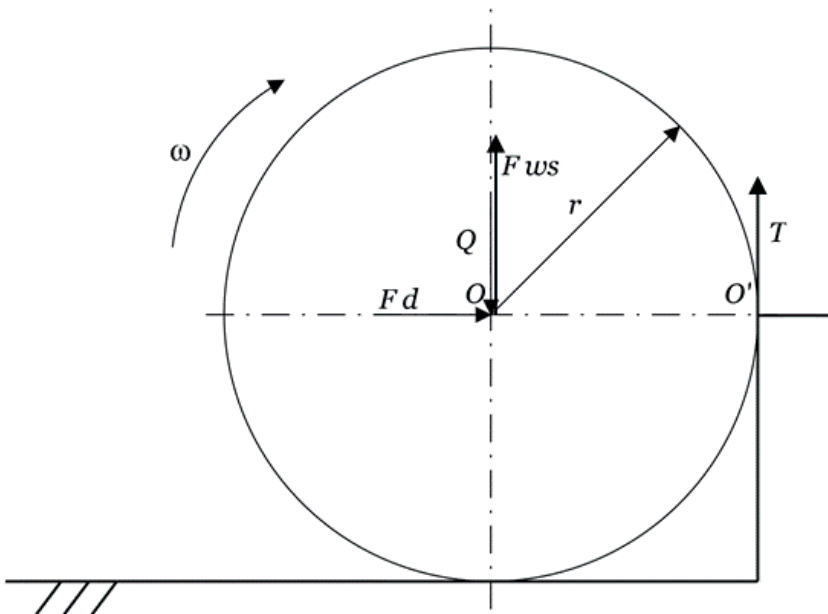
$$F_b = \frac{M_s}{4R'} = \frac{(F_{n1} + F_{n2} + F_{n3} + F_{n4})R}{4R'} \quad (7)$$

Ruchowi temu przeciwdziała siła oporu skrętu T , której wartość wypadkowa zależy od składowych T_x oraz T_y . Składowe tarcia T_x oraz T_y można obliczyć ze wzoru (4), uwzględniając μ_{kin} . Należy pamiętać, że opona może posiadać inne współczynniki tarcia dla kierunku x i y, co zależy m.in. od typu bieżnika umieszczonego na oponie.

Kolejnym aspektem ważnym dla pojazdów wysokiej mobilności jest pokonywanie różnego rodzaju przeszkód. Typowe pojazdy charakteryzują się możliwością pokonywania przeszkód do $1/3$ średnicy koła. Łaziki NASA są konstruowane z założeniem możliwości pokonywania przeszkód o wysokości do średnicy koła [8], jednak tylko w sprzyjających warunkach. Koło, które napotyka małą przeszkodę (do $1/3$ średnicy koła) jest w stanie przetoczyć się przez dany obiekt bez większego problemu. Aby pokonać wyższe przeszkody, silnik koła musi być w stanie wygenerować odpowiedni moment, żeby nastąpiło wjechanie koła na przeszkodę. Do wjechania na przeszkodę można:

- wykorzystać siłę przyczepności koła do powierzchni przeszkody,
- wykorzystać kształt bieżnika jako punkt zaczepienia.

Optymalizacja efektywności pierwszej metody wymaga kontrolowania momentu napędowego tak, aby nie dopuścić do poślizgu koła i jednocześnie wytworzyć dużą siłę nacisku koła na przeszkodę. Jedną z propozycji jak można tego dokonać jest wykorzystanie napędu drugiego koła po tej samej stronie łożyska, gdyż użycie silników po drugiej stronie spowoduje stworzenie momentu skręcającego. Ponownie można skorzystać ze wzoru (4), który określa jaką wartość siły tarcia jest w stanie wytworzyć skojarzenie koło - przeszkoda przy danej mocy silników. Mechanizm wspinania przedstawiono na rys. 6.



Rys. 5. Diagram sił występujących podczas wspinania koła na przeszkodę [11].

Fig. 5. Diagram of forces applied during wheel obstacle climbing [11].

Siła Q powoduje nacisk na powierzchnię drogi (w poziomie), przeciwdziałając pokonaniu przeszkody. Wytwarzając odpowiednią siłę F_d (np. silnikiem tylnym), a w konsekwencji również siłę T doprowadzamy, do sytuacji, gdzie chwilowy środek obrotu koła leży w punkcie O' . W konsekwencji można wytworzyć siłę F_{ws} , która podnosi koło ponad przeszkodę.

Druga propozycja jest zdecydowanie łatwiejsza, gdyż nie wymaga specjalnego sterowania silnikami w przypadku najechania na przeszkodę. Wykorzystanie bieżnika prowadzi jednak do konieczności rozwiązania problemu doboru jego kształtu i wielkości.

6. OKREŚLENIE PARAMETRÓW OPTIMALNEJ OPONY

Z przedstawionych analiz sił wynika, że kluczowymi parametrami, które należy ustalić podczas doboru optymalnego koła do pojazdu terenowego jest m.in.:

- podatność promieniowa i osiowa koła,
- wartość współczynnika tłumienia,
- wartości współczynników przyczepności odpowiednio w osi x i y ,
- średnica koła,
- szerokość koła,
- rodzaj i wielkość bieżnika opony.

Zespoły biorące udział w zawodach pokazały, że podatność nie jest koniecznym warunkiem dla koła pojazdu wysokiej mobilności, jednak w przypadku braku podatnych opon, pojazd musi posiadać inny element zawieszenia, który jest w stanie przyjąć energię od nierówności podłoża oraz skutecznie ją rozproszyć. Wysoki współczynnik tłumienia gwarantuje stabilność pojazdu na nierównym podłożu i może być bardzo dużą zaletą przy wykorzystywaniu w pojeździe komponentów wrażliwych na drgania. Przyczepność zależeć będzie głównie od nacisku koła na podłoże (jest to parametr zależny od wymiarów geometrycznych opony oraz jej podatności). Odkształcenie boczne koła i opony wpływa negatywnie na stateczność ruchu, ale może zostać wykorzystane do optymalizacji sił przy skręcaniu poślizgowym [6]. Wymiary geometryczne koła powinny być dobrane w sposób odpowiedni do gabarytów pojazdu – dla łażników biorących udział w zawodach stosuje się wiele podejść, w przypadku konstrukcji czterokołowych, zazwyczaj stosuje się większe średnice, co ogranicza naciski kół na podłoże przy tej samej masie pojazdu. Bieżnik jest pożądanym ze względu na poprawę możliwości pokonywania przeszkód, ale powinien on zostać dobrany w sposób, który nie będzie zwiększał oporów ruchu koła przy skręceniu poślizgowym. Zwiększenie tarcia poprzecznego spowoduje zwiększenie potrzebnej mocy na skręcanie poślizgowe co jest niekorzystne.

7. PODSUMOWANIE

W artykule zostały przeanalizowane głównie łożyski osiągające sukcesy w zawodach z serii Rover Challenge. Na podstawie tabeli 1 oraz [4-6] można wyciągnąć wnioski dotyczące ogólnej charakterystyki kół dla pojazdu wysokiej mobilności. Słabe tłumienie opon wypełnionych gazem powoduje, że nie jest to dobre rozwiązanie dla robota wysokiej mobilności. Zwiększenie średnicy kół jest pożądane dla konstrukcji czterokołowych, pozwala to na pokonywanie większych przeszkód, pod warunkiem posiadania odpowiednio silników napędowych wymaganej mocy o momencie obrotowym. Analizując wysokość przeszkód na poszczególnych zawodach, średnica koła wynosząca około 300 mm wydaje się być odpowiednia.

Analizując wartości poszczególnych sił powstających w różnych warunkach ruchu pojazdu można dojść do wniosku, że podatność osiowa koła jest niepożądana z punktu widzenia stateczności ruchu. Natomiast podatność promieniowa może ułatwić wjazd koła na przeszkodę, ponieważ zwiększa stopień dopasowania powierzchni styku opony do przeszkody. Bieżnik jest korzystny przy pokonywaniu przeszkód, jednak utrudnia skręcanie poślizgowe.

Przedstawione analizy są wstępem do realizowanej pracy dyplomowej, której celem jest opracowanie innowacyjnych kół jezdnych do łożyska Scorpio.

LITERATURA

- [1] [https://circ.cstag.ca/2020 r./rules/](https://circ.cstag.ca/2020%20r./rules/) (dostęp 6.11.2020 r.).
- [2] <http://urc.marssociety.org/home/urc-news/2021universityroverchallengerulesreleased> (dostęp 6.11.2020 r.).
- [3] ZAKRĘCKI A., GACZOREK B., KANIA A., BERENT K. Projekt i wykonanie w technologii przyrostowej kół łożyska marsjańskiego z wypełnieniem strukturalnym, *Mechanik* nr 03/2018 244-248
- [4] https://www.youtube.com/watch?v=b_DWUqoZijE (dostęp 7.11.2020 r.).
- [5] https://www.youtube.com/watch?v=_NrNb2-1i04 (dostęp 8.11.2020 r.).
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=Vg3dqzE0yBI> (dostęp 8.11.2020 r.).
- [7] GUSKOV V., MIKULIC T. PAVLOVA V., SOCHNEV A. The theoretical basis of the method of optimizing parameters of the propulsion multipurpose wheeled vehicles. *MATEC Web of Conferences*. 182. 01031. 10.1051/mateconf/201818201031
- [8] R. A. LINDEMANN AND C. J. VOORHEES, "Mars Exploration Rover mobility assembly design, test and performance," 2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Waikoloa, HI, 2005, pp. 450-455 Vol. 1, doi: 10.1109/ICSMC.2005.1571187.
- [9] [https://roverchallenge.eu/wp-content/uploads/2020 r./01/ERC_4587.jpg](https://roverchallenge.eu/wp-content/uploads/2020%20r./01/ERC_4587.jpg) (dostęp 6.11.2020 r.).
- [10] <https://www.facebook.com/aghspac/photos/a.1580071235541102/2181960158685537/> (dostęp 6.11.2020 r.).
- [11] Opracowanie własne.

PRELIMINARY ANALYSIS OF WHEEL REQUIREMENTS FOR HIGH MOBILITY VEHICLE

Key words: *Scorpio, Rover Challenge, 3D printing, rover, URC, off-road*

The target of this article is to define requirements which should be satisfied by wheels of high mobility vehicle. Divagations are made based of mars rovers, including Scorpio X rover made by OFF-ROAD Student Association based at Mechanical Faculty at Wroclaw University of Science and Technology. Authors introduced several solutions applied by the most successful teams from all around the world. The starting point was the analysis of the forces acting on the road wheels of the analysed vehicle in selected traffic conditions. The existing solution for fabric wheels made of Cordura was also assessed.

Corresponding author:

e-mail: adrian.krzeminski@outlook.com