

Adam BARTNICKI¹
Marian J. ŁOPATKA²
Tomasz MUSZYŃSKI³

SZACOWANIE OPORÓW SKRĘTU BURTOWEGO WIELOOSIOWYCH PLATFORM KOŁOWYCH

W referacie przedstawiono problematykę szacowania oporów skrętu burtowego dla wieloosiowych platform kołowych. Z uwagi na brak w dostępnej literaturze odpowiednich modeli obliczeniowych, zaproponowane zostały metody modyfikacji zależności stosowanych w przypadku pojazdów gąsienicowych. Przedstawiono również na konkretnym przykładzie obliczeniowym różnice, jakie dają poszczególne sposoby podejścia do tej problematyki.

ESTIMATED SKID STEER RESITANCE OF MULTI-AXIAL WHEEL PLATFORMS

In the paper issues of estimating oppositions of the side turn were presented for multi-axial of wheeled platforms. Because of the lack in accessible to the literature of right computational models, methods were offered to the alteration of relations applied in case of tracked vehicles. On the computational concrete example differences individual approaches are giving which to these issues were also described.

1. WSTĘP

Zagrożenia z jakimi spotykają się żołnierze podczas misji pokojowych i stabilizacyjnych sprawiają, że bardzo duży nacisk kładziony jest obecnie na robotyzację pola walki. We wszystkich wysoko rozwiniętych armiach, w tym również i w polskiej, prowadzone są prace, mające na celu opracowanie wielozadaniowych bezzałogowych platform. Z uwagi na warunki terenowe w jakich muszą być one zdolne do poruszania się, szczególnie nacisk kładzie się na ich dzielność terenową. Istotnymi parametrami są tutaj: maksymalna prędkość jazdy, wartość nacisków jednostkowych układu bieżnego na podłoże oraz zwrotność.

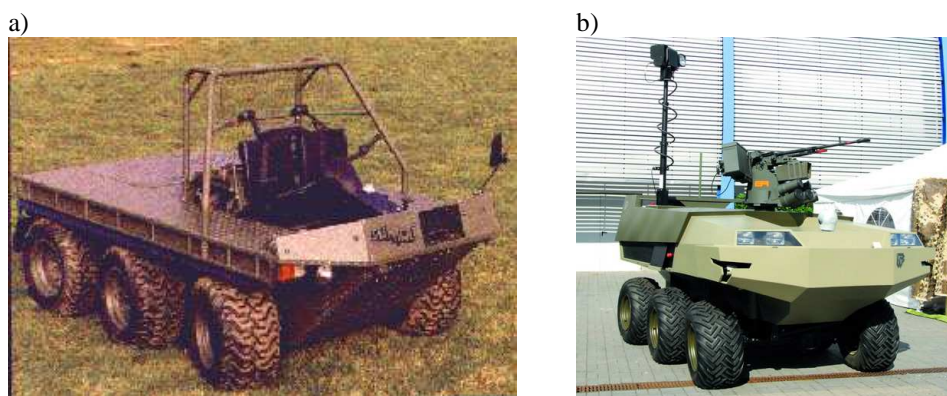
¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny; 00-908 Warszawa; ul. Gen. S. Kaliskiego 2.
Tel.: +48 22 683-93-88, Fax: +48 22 683-72-11, e-mail: abartnicki@wat.edu.pl

² Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny; 00-908 Warszawa; ul. Gen. S. Kaliskiego 2.
Tel.: +48 22 683-96-16, Fax: +48 22 683-72-11, e-mail: mlopatka@wat.edu.pl

³ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny; 00-908 Warszawa; ul. Gen. S. Kaliskiego 2.
Tel.: +48 22 683-71-07, Fax: +48 22 683-72-11, e-mail: tmuszynski@wat.edu.pl

W Katedrze Budowy Maszyn WAT (KBM WAT) trwają obecnie prace badawczo-rozwojowe na jedną z wersji takich platform, przeznaczonych do realizacji misji IOD/EID. Przeprowadzone analizy dotyczące sposobu osiągnięcia zakładanego poziomu mobilności wraz z analizą ekonomiczną wykazały, że najkorzystniejszym rozwiązaniem będzie tu zastosowanie trójosiowego podwozia kołowego. W odróżnieniu jednak od tego typu platform budowanych przez inne ośrodki (rys.1), opracowywane w KBM WAT demonstrator wyposażony będzie w burtowy system skrętu.

Jednym z problemów napotkanych podczas prac projektowych było oszacowanie oporów skrętu. W literaturze można odnaleźć zależności, pozwalające wyznaczyć ich wartości dla pojazdów gąsienicowych. Jednak nie udało się znaleźć publikacji, które dotyczyłyby wieloosiowych podwozi kołowych. W niniejszym referacie zostaną zaprezentowane metody, którymi posłużono się do wyznaczenia szukanych parametrów.



Rys. 1.1. Przykłady trójosiowych kołowych platform lądowych, gdzie: a) Supacat MK111 (GB) [5], b) Lewiatan (PL)[4]

2. OPORY SKRĘTU BURTOWEGO

Jednym z etapów projektowania układu bieżnego jest wyznaczenie niezbędnej wartości siły napędowej. Wymaga to przeanalizowania skrajnych przypadków obciążeń występujących podczas jazdy. W przypadku burtowego systemu skrętu, będzie się to wiązało m.in. z określeniem wartości momentów oporów skrętu. Przy układzie napędowym, który umożliwia uzyskanie przeciwnych zwrotów wektorów prędkości prawej i lewej burty, najbardziej niekorzystna sytuacja występuje podczas wykonania zwrotu w miejscu (tzn. przy zerowej wartości promienia).

Dla gąsienicowego układu bieżnego moment oporów skrętu, przyjmując schemat oznaczeń przedstawiony na rysunku 2, można wyznaczyć z zależności [1,2,3]:

$$M_s = \mu \frac{G \cdot L_G}{4}, \quad (1)$$

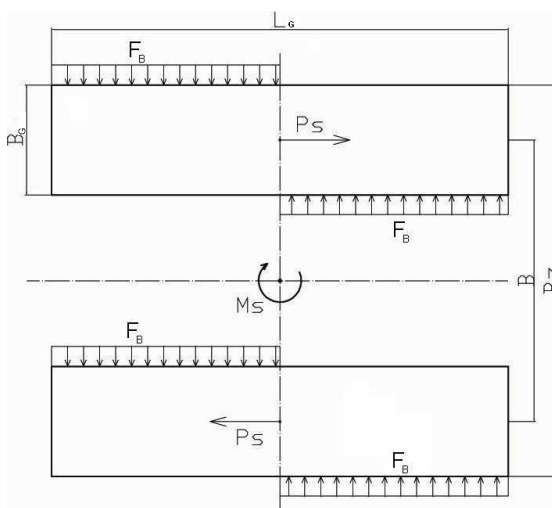
gdzie: μ – współczynnik oporów skrętu przyjmujący wartości zależne od podłoża,
 G – ciężar pojazdu,

L_G – odległość pomiędzy osiami skrajnych kół dociskających gąsienicę do podłoża.

Z kolei siła jaką musi wytworzyć układ bieżny jednej burty wyznaczamy korzystając ze wzoru [1,2,3]:

$$P_s = \mu \frac{G \cdot L_G}{4 \cdot B} = \mu \frac{G \cdot L_G}{4 \cdot (B_z - B_G)} \quad (2)$$

Zastosowanie tego modelu obliczeniowego dla pojazdu kołowego jest problematyczne chociażby z uwagi na rozbieżność pól powierzchni styku układu bieżnego z podłożem. Dlatego w dalszej części referatu zaprezentowano dwie inne metody szacowania oporów skrętu, które stanowią modyfikację zależności (2.1) do postaci bliższej podwoziu kołowemu.



Rys.2. Rozkład sił na gąsienicach pojazdu przy skręcie burtowym o zerowej wartości promienia, gdzie: M_s – moment oporów skrętu, P_s – siła oporów skrętu, F_B – siła parcia bocznej gruntu na pas gąsienicy, B_z – szerokość zewnętrzna gąsienic, B – rozstaw gąsienic, B_G – szerokość gąsienicy, L_G – odległość pomiędzy osiami skrajnych kół dociskających gąsienicę do podłoża

2.1. Metoda I – zmodyfikowany model gąsienicy

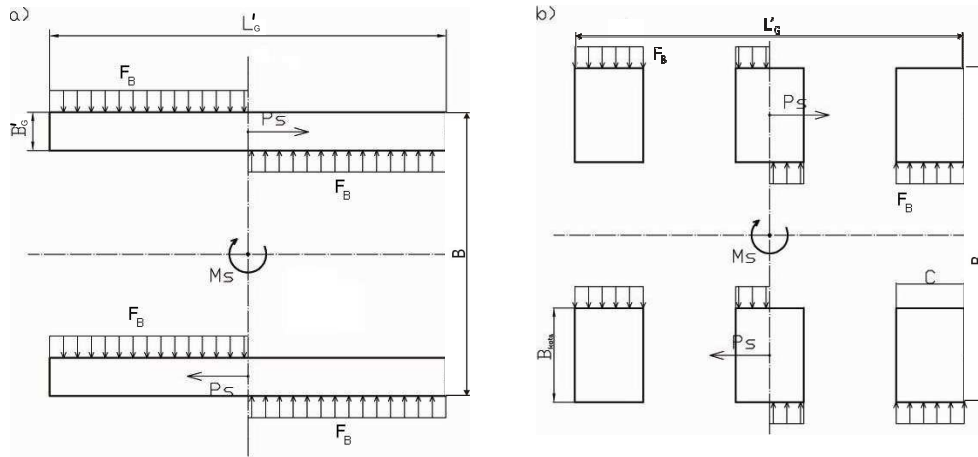
W metodzie tej zaproponowano wyjście z założenia równoważności powierzchni kontaktu układów bieżnych z podłożem (rys.3):

$$A_G = A_K, \quad (3)$$

gdzie: $A_G = 2 \cdot (B'_G \cdot L'_G)$ - pole powierzchni styku z podłożem podwozia gąsienicowego,

$A_K = 2 \cdot (B_{koto} \cdot L'_G)$ - pole powierzchni styku z podłożem podwozia kołowego.

Długość styku gąsienicy odpowiada tu odległości pomiędzy skrajnymi punktami przylegania do gruntu kół pierwszej i ostatniej osi L'_G (a nie osiami tych kół), a jej szerokość B'_G obliczana jest z wykorzystaniem warunku (2.3).



Rys.3. Schemat ilustrujący powiązanie pomiędzy charakterystycznymi wymiarami kołowego układu bieżnych: a) zmodyfikowany układ gąsienicowy, b) układ kołowy

W tym przypadku zależność na moment oporów skrętu będzie przedstawiał się następująco:

$$M_{SZG} = \mu \frac{G \cdot L'_G}{4} \quad (4)$$

Zaś wzór na siłę napędową jednej burty przyjmie postać:

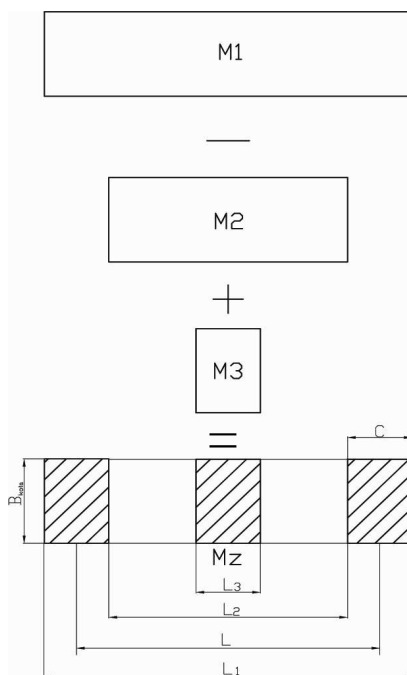
$$P_{SZG} = \mu \frac{G \cdot L'_G}{4 \cdot B} = \mu \frac{G \cdot L'_G}{4 \cdot (B_z - B'_G)} \quad (5)$$

2.2. Metoda II – zastępczy model kołowy

Druga z zaproponowanych metod opiera się o sumowanie i odejmowanie momentów oporów skrętu, liczonych dla różnicowanych długości styku układu bieżnego z podłożem L_i . Liczba i wartości tej długości, są zależne od ilości kół oraz rozmiaru ogumienia. Dla trójosiowego układu bieżnego schemat postępowania ilustruje rysunek 4. Moment M_1 jest wyznaczany odpowiednio dla długości L_1 , moment M_2 – dla długości L_2 , a moment M_3 – dla długości L_3 .

Takie podejście skutkuje jednak zmianą wartości nacisków jednostkowych na podłoże. Dlatego też należy wprowadzić współczynnik korygujący, który wyraża się następująco:

$$k_{KG} = \frac{B_{kolo} \cdot L_1}{B_{kolo} (L_1 - L_2 + L_3)} \quad (6)$$



Rys.4. Graficzna interpretacja sposobu obliczania momentu oporów skrętu dla zastępczego modelu kołowego, gdzie: L_1 – odległość pomiędzy skrajnymi punktami przylegania opon skrajnych osi pojazdu, L_2 – odległość pomiędzy wewnętrznymi punktami przylegania opon skrajnych osi pojazdu, $L_3=C$ – długość przylegania pojedynczego koła

Ostatecznie wzór na moment oporów skrętu dla zastępczego modelu kołowego wyrazi się następująco:

$$M_{SZK} = \mu \frac{G}{4} (L_1 - L_2 + L_3) k_{GK} \quad (7)$$

2.3. Weryfikacja analityczna

Chcąc ocenić różnice, jakie dają zaprezentowane metody, w wartościach momentu oporów skrętu i sile na napędowej potrzebnej do rozwinięcia na jednej burcie przeprowadzono obliczenia dla konkretnego modelu pojazdu. Przyjęto, że będzie on charakteryzował się następującymi parametrami: masa $m=3000$ kg, rozstaw skrajnych osi

pojazdu $L_G=2,1$ m, szerokość pojazdu $B_Z=2,1$ m, długość styku opony z podłożem $C=0,35$ m, liczba osi $n=3$, współczynnik oporów skrętu burtowego $\mu=0,85$. Wyznaczone w oparciu o zależności (1) do (7) wartości zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie parametrów opisujących opory skrętu burtowego wyznaczonych różnymi metodami dla przyjętego modelu pojazdu kołowego

Parametr / Metoda		Metoda gąsienicowa	Metoda I	Metoda II
Moment Oporów skrętu	Wartość [Nm]	13 388	15 619	15 619
	Różnica w stosunku do modelu gąsienicowego [%]	0	17	17
Siła napędowa na jednej burcie	Wartość [N]	7 521	8 555	8 775
	Różnica w stosunku do modelu gąsienicowego [%]	0	14	17

3. WNIOSKI

Analiza wartości zawartych w tab.1 pozwala zauważyć, że obydwie zaproponowane metody modyfikacji zależności na szacowanie oporów skrętu, dają wartości poszczególnych parametrów większe od tych, jakie uzyskujemy dla klasycznego modelu gąsienicowego. Dla momentu oporów skrętu wynik w obydwu przypadkach jest 17% większy. Z kolei dla siły, jaką musi wytworzyć układ napędowy na jednej burcie *Metoda I* daje wartość o 14% wyższą, a *Metoda II* - o 17% wyższą.

Ocena słuszności przyjętych założeń modyfikacyjnych, a tym samym i poprawności uzyskanych wyników, zostanie przeprowadzona po przeprowadzeniu badań doświadczalnych na obiekcie rzeczywistym.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Prochowski L., *Mechanika ruchu*, WKN, Warszawa 2008.
- [2] Przychodzień T., *Maszyny fortyfikacyjno-drogowe*, Część 1, WAT, wewn. 1985/86.
- [3] Tyro G., *Maszyny ciągnikowe do robót ziemnych*, WNT, Warszawa 1986.
- [4] www.hydromega.com.pl
- [5] www.supacat.com