

Alicja ZIELIŃSKA

POKONYWANIE PRZESZKÓD WODNYCH PRZEZ POJAZD GĄSIENICOWY

Streszczenie: W artykule rozpatrzono możliwość pokonywania przeszkody wodnej przez pojazd gąsienicowy. Przeprowadzono analizę możliwości pokonywania przeszkody wodnej dla różnego ukończenia pojazdu: wariant A - podwozie z wieżą oraz wariant B - ukończenie bez wieży. Analizę przeprowadzono dla obu wariantów, biorąc pod uwagę pokonywanie przeszkody wodnej po dnie oraz możliwość pływania. Problem rozpatrywano pod kątem wpływu własności gabarytowo-masowych na zachowanie się pojazdu w nurcie rzeki.

Słowa kluczowe: pojazd gąsienicowy, przeszkoda wodna, wyporność, nurt rzeki.

1. WSTĘP

W procesie projektowania współczesnych pojazdów gąsienicowych oczekiwane jest spełnienie wielu wymagań. Jednym z nich, jest możliwość pokonywania przeszkód wodnych, co gwarantuje wykonanie różnorodnych zadań w trudnych warunkach terenowych. Przedmiotem niniejszego artykułu jest określenie istotnych warunków, które pozwalają na wykorzystanie pojazdu gąsienicowego do wykonywania również takich zadań.

2. PODSTAWOWE DANE I ZAŁOŻENIA

Dane masowe :

Masa wieży	- 13,5 t
Masa całkowita pojazdu	- 33,9 t

Podstawowymi założeniami dla pokonywania przeszkody wodnej przez pojazd gąsienicowy po dnie są:

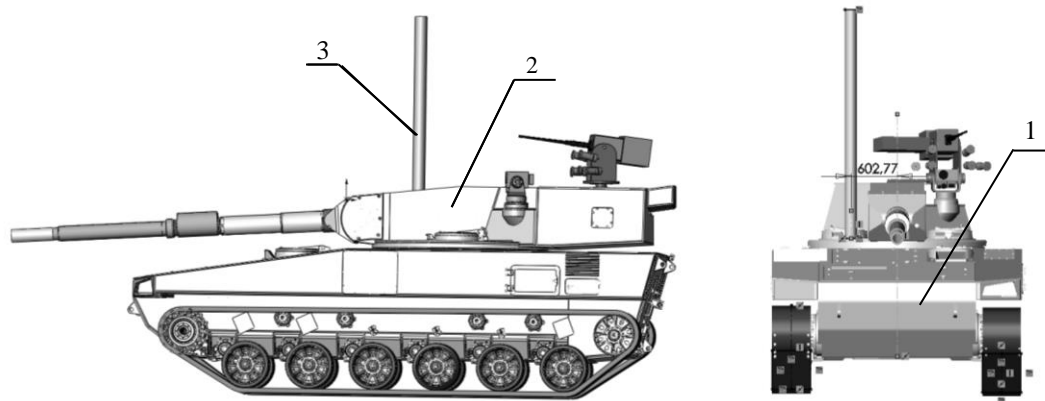
- głębokość pokonywanej przeszkody 5 m,
- prędkość nurtu przeszkody wodnej 1,5 m/s,
- pojazd wyposażony jest w rurę ssącą powietrze do wnętrza.

Do określenia objętości elementów konstrukcji wykorzystano modele 3D wykonane w oparciu o oprogramowanie SolidWorks. W pozostałych wykorzystano metody tradycyjne.

Założeniem jest możliwość przeprawy przez przeszkodę wodną o prędkości nurtu 1,5 m/s. Model bryłowy z SolidWorks-a wykorzystano do wyznaczenia i oszacowania

objętości samego podwozia oraz kompletnego pojazdu. Na podstawie danych oszacowano masę pojazdu gaśnicowego, która wynosi 33,3t. Ponadto uwzględniając minimalną masę cieczy w pojeździe 0,6 t, uzyskano całkowitą masę wyrobu 33,9 t.

Poniżej przedstawiono pojazd w ukompletowaniu umożliwiającym mu pokonywanie przeszkód wodnych .



Rys. 1. Widok ogólny pojazdu -warant A

1- podwozie, 2- wieża, 3- rura ssąca

Podstawowe dane (tablica 1), takie jak : ciężar pojazdu, objętości kadłuba, wieży, kół jezdnych, koła napędowego i napinającego , gaśnic oraz wieży z wyposażeniem stanowią podstawę do obliczeń wyporności całego pojazdu oraz pojazdu bez wieży. Dla naszego pojazdu te dane wynoszą odpowiednio:

Tablica 1

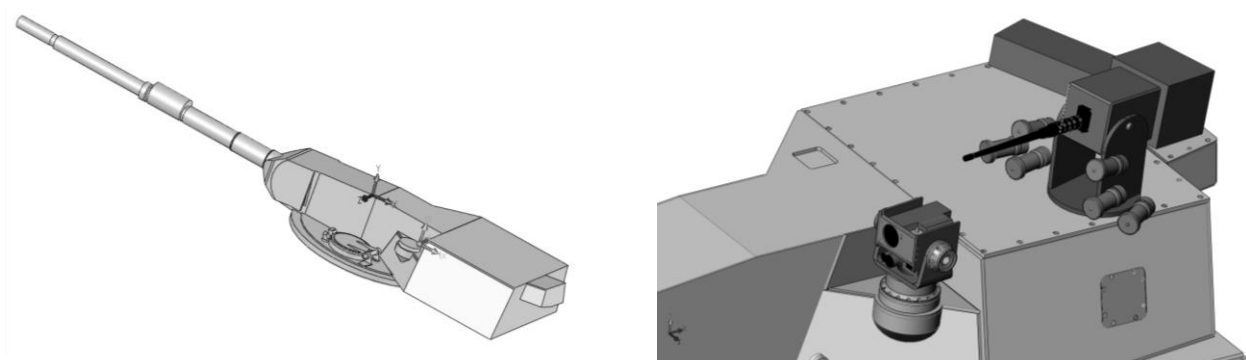
Q	339 000 N	ciężar kompletnego pojazdu
Q _w	135 000 N	ciężar wieży z wyposażeniem
V _k	$22,6 - 0,435 = 22,16$ [m ³]	objętość kadłuba (bez kół i zawieszenia)
V _w	4,6 [m ³]	objętość wieży z wyposażeniem i rurą
V _j	$((78+25) / 7,8 + 60/2.2) / 1000 = 0,04$ [m ³]	objętość koła jezdnych (1 szt.)
V _{jn}	$12 \times V_j = 0,49$ [m ³]	objętość kół jezdnych (12 szt.)
V _{nn}	$0,4 / 7,8 = 0,36$ [m ³]	objętość koła napędowego i napinającego
V _g	$2,8 / 7,8 = 0,36$ [m ³]	objętość gaśnic
V _z	$0,9 / 7,8 = 0,12$ [m ³]	objętość zawieszenia
V _{p-w}	23,49 [m ³]	łączna objętość pojazdu bez wieży i rury
V _p	28,09 [m ³]	łączna objętość pojazdu z wieżą i rurą

Uwagi: Przyjęte w obliczeniach uproszczenie to $g=10\text{m/s}^2$

Objętość kadłuba (bez kół i zawieszenia) 22,6 [m³] uzyskano z modelu bryłowego, pomniejszono o współczynnik (2/3) wypełnienia wodą chłodnicy 0,409[m³] i współczynnik 0,2 wypełnienia skraplacza 0,026 [m³]. Objętość kół jezdnych, koła napędowego i napinającego oraz gašienic uzyskano na podstawie wagi części stalowej i gumowej zweryfikowanej przez dane uzyskane z modelu bryłowego wykonanego w programie SolidWorks.

Na objętość wieży składa się :

- objętość wieży bez wyposażenia - 4,3454 [m³]
- objętość wyposażenia znajdującego się na wieży - 0,18 [m³]
- objętość zanurzonej rury (przyjęto 2,5 m) - 0,0503 [m³]



Rys. 2. Widok modelu wieży i wyposażenie

Łącznie objętość wieży wynosi 4,6 [m³].

Podstawowe dane rury ssącej przyjętej w obliczeniach:

h_w	- 2,5 [m]	- wysokość rury do lustra wody
D	- 3 [m]	- całkowita długość rury
f	- 0,16 [m]	- zewnętrzna średnica rury
g	- 0,01 [m]	- grubość ścianki rury

Poniżej (tablica 2) przedstawiono zestawienie danych niezbędnych do obliczeń.

Ciężar pozorny Q_p układów jest obliczony zgodnie ze wzorem :

$$Q_p = Q - V_k r$$

gdzie : k = wariant A, wariant B

Tablica 2

Ciężar pojazdu	$Q=339\ 000$ [N]
Ciężar pojazdu bez wieży	$Q-w = 204\ 000$ [N]
Powierzchnia boczna kadłuba bez wieży i rury	$S_{bk} = 11,2$ m ²
Powierzchnia boczna wieży z wyposażeniem i rurą	$S_{bw} = 5,34$ m ²
Powierzchnia boczna układu ssącego	$S_s = 0,4$ m ²
Powierzchnia czołowa podwozia (bez wieży i rury)	$S_{cp} = 5,11$ m ²
Powierzchnia czołowa kadłuba z wieżą (bez rury)	$S_{cpw} = 7,323$ m ²
Prędkość nurtu	$v_w = 1,5$ [m/s]
Głębokość przeszkody	$H = 5$ [m]
Objętość wieży z lufą i rurą (układ ssący)	$V_w = 4,6$ [m ³]
Objętość rury (z układu ssącego)	$V_s = 0,05$ [m ³]
Objętość kadłuba (bez wieży i układu jezdnego)	$V_k = 22,16$ [m ³]
Objętość układu jezdnego	$V_j = 0,9$ [m ³]
Objętość całkowita - wariant A	$V_a = 28,09$ [m ³]
Objętość całkowita - wariant B	$V_b = 23,55$ [m ³]
Ciężar pozorny pojazdu dla wariantu A	$Q_{p'} = 58\ 100$ [N]
Ciężar pozorny pojazdu dla wariantu B	$Q_{p''} = -31.500$ [N]
Ciężar właściwy wody	$r = 1000$ [kg/m ³]

Poniżej zestawiono wyniki uzyskane dla obu układów z wieżą i bez wieży.

	Wyrób z wieżą	Wyrób bez wieży
Ciężar własny	339 000 N	204 000 N
Siła wyporu	281 000 N	236 000 N

Pojazd z wieżą ulega zanurzeniu, gdyż siła wyporu jest mniejsza niż ciężar całkowity pojazdu z wieżą.

Z kolei pojazd bez wieży (wariant B) nie ulega całkowitemu zanurzeniu, gdyż siła wyporu jest większa niż ciężar własny pojazdu. Pojazd bez wieży ma więc dostatecznie dużą wyporność, by unosić się na powierzchni rzeki, więc pokonywanie przeszkody wodnej po dnie w tym ukończeniu jest niemożliwe.

3. SIŁA NAPORU NURTU PRZESZKODY WODNEJ NA POWIERZCHNIĘ BOCZNĄ POJAZDU

Na pojazd pokonujący przeszkodę wodną działa siła naporu pochodząca od przepływającego strumienia wody. Siłę tę oblicza się ze wzoru:

$$F_{bocz} = C_x \frac{\rho v_w^2}{2} S_b \quad (1)$$

gdzie:

- C_x - bezwymiarowy współczynnik oporu
- ρ - gęstość wody
- v_w - prędkość nurtu
- S_b - powierzchnia boczna pojazdu

Współczynnik C_x dla naszego pojazdu należałoby wyznaczyć doświadczalnie, więc do obliczeń przyjęto go na podstawie tablic zamieszczonych w literaturze [1], w uproszczeniu jak dla opływu prostokątnej płyty o proporcjach odpowiadających proporcjom kadłuba. Współczynnik w naszych obliczeniach wynosi: $C_x = 1,16$.

Przy założeniu, że kierunek pokonywania przeszkody jest prostopadły do kierunku nurtu wody, powierzchnia boczna pojazdu jest powierzchnią naporu wody. Została ona policzona programem SolidWorks. Dla prędkości maksymalnej nurtu wody $v_w = 1,5\text{m/s}$ siła naporu wody wynosi:

$$F_{bocz} = 21\ 647\ \text{N}$$



Rys. 3. Napór boczny w funkcji prędkości nurtu

W związku z tym, że parametr C_x został przyjęty szacunkowo, dla porównania podano wartość siły bocznej naporu dla współczynnika $C_x = 2$ przy pozostałych parametrach bez zmian $F_{bocz} = 37\ 322\ \text{N}$.

4. SIŁA NAPORU NURTU PRZESZKODY WODNEJ NA POWIERZCHNIĘ CZOŁOWĄ POJAZDU.

Podobnie, korzystając z wzoru (1) na siłę naporu obliczamy siłę naporu na powierzchnię czołową, która dla pojazdu z wieżą i rurą wynosi :

$$F_c = 10\ 080\ \text{N}$$

Z kolei na samą rurę powietrzną działa siła naporu o wartości:

$$F_{cr} = 520\ \text{N}$$

5. CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE POJAZDU

Podczas pokonywania przeszkody wodnej przez pojazd istotnym parametrem jest przyczepność do podłoża, aby mógł on przenieść siły pochodzące od gąsienicy. Trudno jest określić w tych warunkach jednoznacznie współczynnik przyczepności do podłoża μ ze względu na różnorodność ukształtowania podłoża, jego rodzaj itp. Można dla porównania przedstawić warunki jazdy do jazdy po lodzie, gdzie współczynnik $\mu = 0,2$. W takich warunkach wartość siły napędowej P , która może być przeniesiona przez podłoże wynosi:

$$P_{gr} = \mu * Q_p$$

gdzie:

P_{gr} - graniczna wartość siły napędowej

μ - współczynnik przyczepności do podłoża

Q_p - ciężar pozorny pojazdu zanurzonego w wodzie

Na podstawie powyższego wzoru dla $Q_p = 58100\ \text{[N]}$ i dla $\mu = 0,2$

$$P_{gr} = 11\ 620\ \text{[N]}.$$

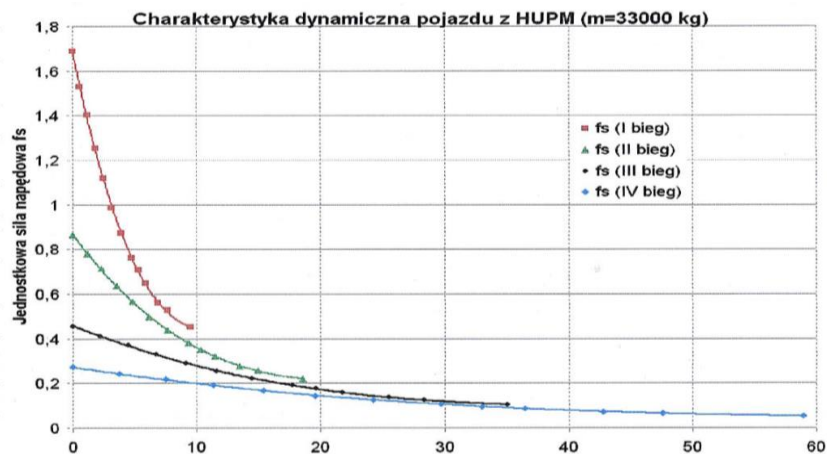
Wynika z tego, że wartość siły napędowej jaka jest możliwa do przeniesienia w tych warunkach wynosi 11620 N [1],[2]. Nie jest to dużo, zwłaszcza, że strugę wodną traktuje się jako jednorodną.

Poniżej przedstawiono wpływ współczynnika przyczepności na siłę napędową wyrażoną w [N].



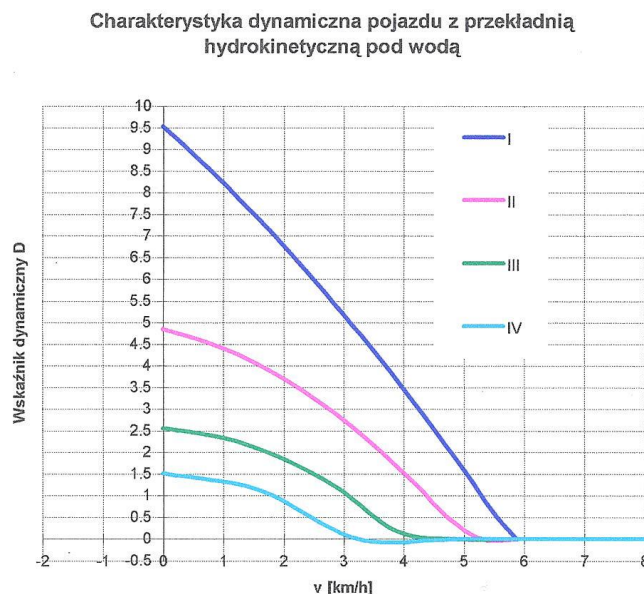
Rys. 4. Siła napędowa w funkcji współczynnika przyczepności

Na poniższym rys. 5 przedstawiono charakterystyki dynamiczne dla pojazdu o masie 33 t (źródło - rys.17 pozycja literaturowa [4]).



Rys. 5. Charakterystyka dynamiczna pojazdu gaśnicowego

Nasz pojazd ma przeprowiać się przez przeszkodę wodną. Poniżej na rys. 6 przedstawiono (źródło - pozycja literaturowa [3]) charakterystykę dynamiczną pojazdu poruszającego się po dnie rzeki.



Rys. 6. Charakterystyka dynamiczna pojazdu

Na podstawie tej charakterystyki wnioskuje się, aby zapewnić możliwie wysoki współczynnik tarcia gaśienicy o dno (przyczepność), współczynnik dynamiczny D nie może przekraczać współczynnika przyczepności do dna, co jest możliwe pod warunkiem jazdy pojazdu gaśnicowego na I biegu z prędkością większą niż 5,5 [km/h], na II biegu z prędkością większą niż 4,5 [km/h], na III biegu z prędkością większą niż 3,5 [km/h] i na IV biegu z prędkością większą niż 2,5 [km/h] (przy założeniu współczynnika przyczepności do dna $\mu = 0,5$). W charakterystyce dynamicznej ukryta jest siła oporu hydrodynamicznego.

Ponadto podczas przeprawy dodatkowo występuje moment skręcający działający na pojazd wywołany asymetrią powierzchni czołowej pojazdu, który wynosi około 0,3 [kNm]. W naszym przypadku dla uwarunkowań gabarytowo-masowych - gdzie ciężar pozorny

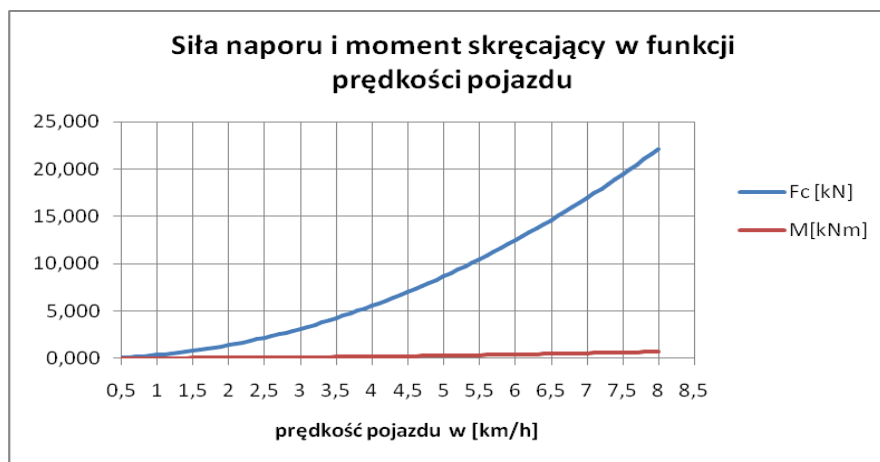
wynosi około 58 kN, a rozstaw gąsienic wynosi 2736 mm, aby pojazd samoczynnie nie skręcał, współczynnik tarcia o dno powinien wynosić, co najmniej $\mu = 0,004$. Wynika to z równania momentów zgodnie z poniższym wzorem [2]:

$$F_{cs} d = d_g \mu Q_p,$$

gdzie:

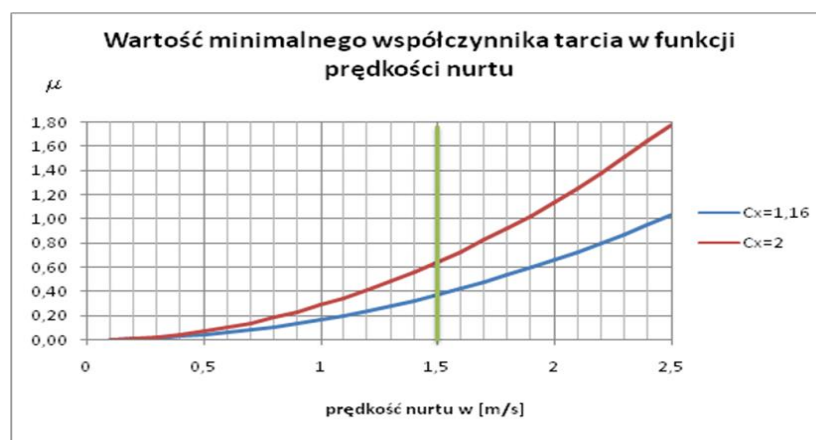
$d_g = 1,368$ m	- połowa rozstawu gąsienic
$v = 1,5$ [m/s]	- prędkość poruszania się pojazdu
$S_s = 0,45$ [m ²]	- powierzchnia czołowa rury powietrznej
$d = 0,603$	- odległość środków naporu na kadłub i rurę powietrzną
$F_c = 10080$ [N]	- siła naporu na powierzchnię czołową kadłuba z wieżą
$F_{cs} = 520$ [N]	- siła naporu na powierzchnię czołową rury powietrznej

Ocena tego współczynnika zależy od wielkości rzeczywistego współczynnika tarcia występującego dla danego materiału w wodzie. Wydaje się, że powinien być to wystarczający zapas.



Rys. 7. Wykres siły naporu i momentu skręcającego

Na kolejnym wykresie (rys. 8) przedstawiono charakterystykę zmiany współczynnika tarcia w zależności od prędkości nurtu przeszkody wodnej dla pojazdu, który pokonując przeszkodę wodną uniknie poślizgu bocznego. Wykres obrazuje minimalny współczynnik tarcia między gąsienicą a dnem, który uniemożliwić może poślizg boczny pojazdu.



Rys. 8. Zależność współczynnika tarcia od prędkości nurtu

Na podstawie powyŹszego wykresu (rys. 8) moŹna wywnioskować, Źe krytycznym warunkiem ograniczajacym przeprawę jest wpływ naporu bocznego na pojazd podczas przeprawy, a wlaściwie wartośc parametru, jakim jest prędkość nurtu rzeki.

Dla prędkości nurtu 1,5 m/s moŹliwość przeprawy zapewni minimalny współczynnik tarcia gašenicicy o dno $m = 0,37$, aby pojazd nie ulegał bocznemu ślizgowi.

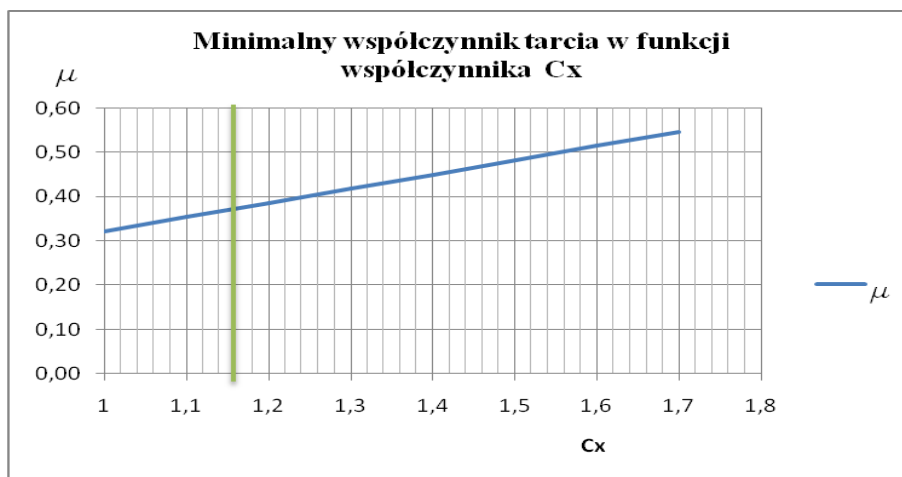
Trudno jest określić wartośc współczynnika tarcia, jaki wystąpi w rzeczywistości, gdyż zaleŹy to od wielu czynników i najlepiej wyznaczyć go doświadczalnie.

PoniŹej (rys. 9) przedstawiono wpływ wartośc współczynnika oporu C_x na siłę naporu bocznego oraz zaznaczono (zieloną linią) przyjątą do obliczeń wartośc C_x .



Rys. 9. Zależność siły naporu bocznego od współczynnika oporu

Na kolejnym wykresie (rys. 10) przedstawiono wpływ współczynnika oporu C_x na współczynnik tarcia.



Rys. 10. Zależność współczynnika tarcia od współczynnika oporu

Zwiększenie masy pojazdu wpływa korzystnie na zachowanie się pojazdu podczas przeprawy. Do obliczeń nieznanne współczynniki oporu kształtu dla naszego pojazdu przyjęto z literatury w sposób szacunkowy. PoniŹej przedstawiono przykładowo współczynniki oporu kształtu dla płyty prostokątnej o wymiarach a , b .

C_x	1,15	1,16	1,2	1,22
a/b	1	2	5	10

Nie znając dokładnej wartości współczynnika przyczepności do podłoża w warunkach przeprawy, przyjęto na podstawie [2] wartość współczynnika dla wilgotnego gruntu gliniastego (dla wilgotności >20%), która wynosi od 0,3 do 0,4.

6. WNIOSKI

W wyniku wstępnych analiz uzyskano :

- a) pojazd gaśnicowy w pełnym ukończeniu (podwozie + wieża) pokona głęboką (5m) przeszkodę wodną po dnie,
- b) podwozie (jako odmiana platformy bojowej) przeszkodę wodną może pokonać płynąc.

Prędkość pływania zależy od docelowej konstrukcji (napęd wykorzystujący ruch gaśnic lub dodatkowy napęd wykorzystujący pędnik), co wymaga wykonania dodatkowych analiz.

7. LITERATURA

- [1] Bukowski J.: Mechanika płynów. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1975.
- [2] Burdziński Z.: Teoria ruchu pojazdu gaśnicowego. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1972.
- [3] Wyciślok P., Zielińska A. :Wstępna ocena możliwości pokonywania przeszkód wodnych po dnie Gepard-1 z uwzględnieniem oddziaływań hydrodynamicznych. Opracowanie OBRUM TK/2156/96, (niepublikowane).
- [4] Właściwości trakcyjne czołgu lekkiego wyposażonego w hydromechaniczny układ napędowy. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa 2010. (Opracowanie niepublikowane).

SURMOUNTING WATER OBSTACLES BY TRACKED VEHICLE

Abstract: An opportunity to surmount water obstacles by tracked vehicles was considered in the paper. Analysis of possibilities to surmount water obstacles was performed for various vehicle sets: variant A – a chassis with turret and variant B – a set without turret. Analysis for both variants was performed, taking into consideration surmounting water obstacles on the bottom and possibility to swim. The problem of weight and dimension properties influence for behaviour of vehicle in midstream was considered.

Key Words: tracked vehicle, water obstacle, displacement tonnage, midstream.

Recenzent: dr inż. Andrzej SZAFRANIEC - OBRUM sp. z o.o., Gliwice

W artykule wykorzystano wyniki projektu rozwojowego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w Warszawie o numerze O R00 0030 05.