

Andrzej **SZAFRANIEC**  
Stanisław **TOMASZEWSKI**

## **ANALIZA MOŻLIWOŚCI PRZEPRAWY PODWODNEJ MOSTU SZTURMOWEGO MG-20**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono analizę możliwości i ograniczeń związanych z pokonywaniem głębokiej przeszkody wodnej po dnie przez most szturmowy na podwoziu gąsienicowym MG-20. Poddano analizie i oceniono różne warianty pokonywania głębokiego brodu: z przęsłem na podwoziu, z przęsłem uniesionym, z przęsłem holowanym i z przęsłem zatapianym. Zdefiniowano zalecenia dla przyszłych badań.

**Słowa kluczowe:** mosty szturmowe, mosty towarzyszące, przeprawa podwodna.

### **1. WPROWADZENIE**

Mosty szturmowe na podwoziu gąsienicowym towarzyszą jednostkom pancernym w czasie przemarszów i działań bojowych. Ich mobilność nie powinna więc znacząco odbiegać od mobilności innych pojazdów zmechanizowanych, w tym: czołgów, transporterów, samobieżnych dział itd. Wymagania taktyczno-techniczne stawiane mostom w zakresie prędkości poruszania się, osłony balistycznej, pokonywania przeszkód terenowych, w tym brodów, są bardzo zbliżone do wymagań stawianych pojazdom bojowym.

Przez tzw. głęboką przeszkodę wodną rozumie się bród o głębokości do 5 m, długości 1000 m, pochyleniach brzegów na wjeździe i wyjeździe do 30%. Przyjmuje się prędkość nurtu do 2 m/s. Nośności gruntu nie definiuje się.

Ciężki sprzęt pancerny może taką przeszkodę pokonać po moście, na promie, przy pomocy specjalnych pływaków lub samodzielnie - po dnie, co jest tematem niniejszego artykułu.

Wymagania dla mostów szturmowych określają, że powinien on być zdolny do pokonania przeszkody po dnie tak jak czołg. Wynika z tego, że czas przygotowania mostu do przeprawy, jak i samej przeprawy, nie powinien znacząco odbiegać od czasów przyjętych dla czołgu.

Różnice w gabarytach i masie między mostem szturmowym, który niesie na sobie przęsło mostowe, a pojazdami pancernymi, stanowią podstawową trudność w realizacji przeprawy mostu po dnie głębokiej przeszkody wodnej.

### **2. SPECYFIKA MOSTU MG-20 I JEJ WPŁYW NA POJAZD W ZANURZENIU**

#### **2.1. Dane masowe i wypornościowe mostu MG-20**

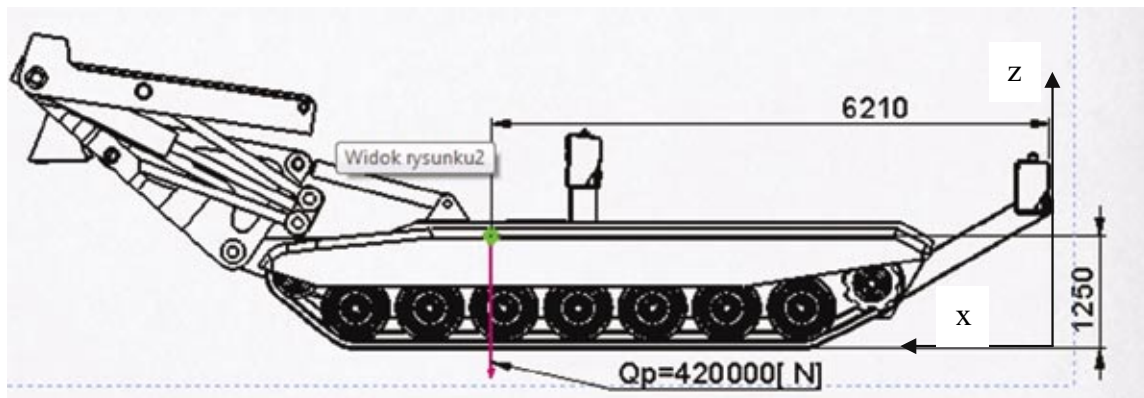
Most szturmowy MG-20 składa się z podwozia bazowego PMG-20, opartego na podzespołach PT-91 oraz przęsła mostowego PM-20 (Rys.1).



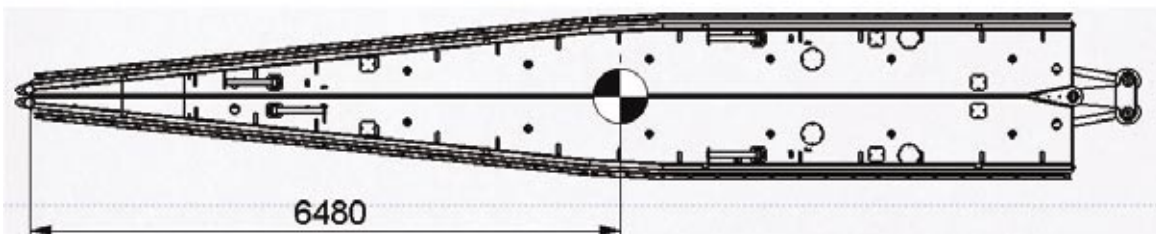
**Rys 1. Most MG-20**

Masa wyrobu:	57 000 kg (podwozie 42 000 kg, przęsło 15 000 kg)
Maksymalny kąt najazdu:	30°
Siła wyporu:	440 kN (podwozie 216 kN, przęsło 224 kN)
Pozorny ciężar mostu w zanurzeniu:	119 kN

Współrzędne środka ciężkości podwozia i przęsła: rys. 2 i rys. 3



**Rys. 2. Położenie środka ciężkości podwozia**



**Rys. 3. Położenie środka ciężkości przęsła**

Współrzędne środka ciężkości podwozia w układzie współrzędnych, jak na rysunku 2 i przechodzącym przez środek symetrii wozu, są następujące:

$$x_c = 6210 \text{ mm}, \quad y_c = 39,5 \text{ mm}, \quad z_c = 1250 \text{ mm [2]}.$$

$$\text{Powierzchnia boczna podwozia:} \quad 14,14 \text{ m}^2$$

$$\text{Powierzchnia czołowa:} \quad 9,84 \text{ m}^2$$

$$\text{Wyporność podwozia:} \quad 22,05 \text{ m}^3$$

$$\text{Dla przęsła (Rys.3)} \quad x_c = 6480 \text{ mm}$$

$$\text{Powierzchnia boczna przęsła:} \quad 16,85 \text{ m}^2$$

$$\text{Powierzchnia czołowa przęsła:} \quad 5,55 \text{ m}^2$$

$$\text{Wyporność przęsła:} \quad 22,8 \text{ m}^3.$$



**Rys. 4. Badanie siły wyporu podwozia [2]**

## 2.2. Siły oddziałujące na pojazd w zanurzeniu

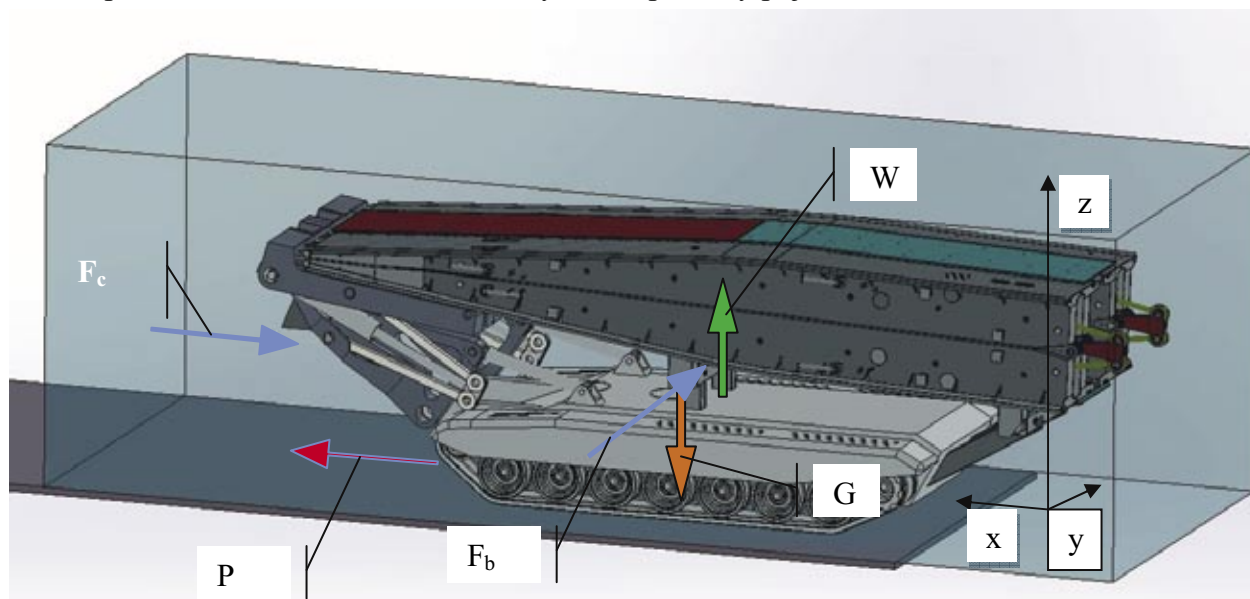
Na poruszający się pojazd w zanurzeniu działają następujące siły (Rys 5):

- siła ciężkości  $G$ ,
- siła wyporu  $W$ ,
- siła naporu bocznego (od prądu)  $F_b$ ,
- siła oporu czołowego wody  $F_c$ ,
- opory jazdy  $R$ ,
- reakcja podłoża na pojazd.

Siły te umiejscowione są w określonych punktach:

- siła ciężkości  $G$ , w środku ciężkości zestawu – skierowana wzdłuż osi  $z^+$ ;
- siła wyporu  $W$ , w środku wyporu – skierowana wzdłuż osi  $z^-$ ;

- siła naporu bocznego  $F_b$ , w środku powierzchni bocznej - skierowana wzdłuż osi  $y^+$  liczona dla prędkości nurtu 2 m/s;
- siła naporu czołowego wody  $F_c$ , w środku powierzchni czołowej pojazdu - skierowana wzdłuż osi  $x^-$ , liczona dla prędkości ruchu 2 m/s;
- opory jazdy, na poziomie dna, skierowane wzdłuż osi  $x^-$ ;
- reakcja podłoża (posiadające trzy składowe: wzdłuż osi  $x$ ,  $y$  oraz  $z$ ). Składowa wzdłuż osi  $x$  stanowi siłę napędową  $P$ . Składowa wzdłuż osi  $y$  równoważy siłę naporu bocznego  $F_b$ . Wartości tych reakcji są ograniczone przyczepnością podłoża. Składowa pionowa, wzdłuż osi  $z$ , równoważy ciężar pozornego pojazdu.



**Rys. 5. Siły działające na zanurzony pojazd**

Ze względu na złożoną budowę pojazdu i trudności w dokładnym modelowaniu wielkości oporów ruchu, wartości i kierunki tych sił przyjęto na podstawie oszacowania. Zestawienie współrzędnych punktów przyłożenia poszczególnych sił i ich wartości przedstawiono w tabelicy nr 1 na podstawie obliczonych i zmierzonych patrz [1] i [2].

**Tablica 1.** Zestawienie sił działających na zanurzony pojazd.

Siła	Symbol	Wartość [kN]	Współrzędne		
			x	y	z
Ciężar zestawu	G	559	5421	22	1595
Wypór zestawu	W	440	4867	0	2337
Napór boczny	$F_b$	73,2	5163	0	2162
Napór czołowy	$F_c$	35,8	12500	0	2000

Układ współrzędnych związany jest z gruntem (osie  $x$  i  $y$ ), przy czym początek układu znajduje się w osi symetrii pojazdu, a oś  $z$  przechodzi pionowo od poziomu gruntu przez krawędź tylnej belki nośnej przęsła. Oś  $x$  skierowana jest do przodu wozu, oś  $y$  prostopadła do kierunku ewentualnego ruchu pojazdu (patrz rys 2. i rys. 5).

Siła ciężaru pozornego jest różnicą sił ciężaru i wyporu. W przypadku swobodnie pływającego ciała linia jej działania jest linią pionową, przechodzącą przez środek ciężkości (i środek wyporu). W sytuacji gdy linie działania sił wyporu i ciężkości nie pokrywają się (a są równoległe) powstaje moment obracający obiekt aż do pozycji, gdy linie działania obu sił zaczną się pokrywać. Jeżeli głębokość zanurzenia jest zbyt mała, i obiekt nie może takiej pozycji przyjąć, nastąpi wówczas częściowe wynurzenie się obiektu oraz taka zmiana położenia obiektu w wodzie tak, żeby obie linie działania sił: zmienionego wyporu i ciężaru, się pokryły.

Napór boczny wynika z powierzchni bocznej oraz prędkości nurtu. Przyjmując prędkość nurtu 2 m/s oraz wielkość powierzchni bocznej - 31,1 m<sup>2</sup>, siłę naporu oszacowano na 73,2 kN i przyłożono w środku geometrycznym powierzchni bocznej. Napór czołowy oszacowano podobnie jak napór boczny – dla powierzchni czołowej 15,4 m<sup>2</sup> i prędkości jazdy 2 m/s, otrzymano 35,5 kN.

Oporo jazdy są trudne do oceny, przyjęto, że zależą od rodzaju podłoża, czyli współczynnika oporu toczenia  $f$ . W tabelicy 3 podano współczynniki oporu dla kilku rodzajów podłoża, niemniej dotyczą one sytuacji na wolnym powietrzu a nie w wodzie. Do porównywania różnych metod przeprawy przyjęto jedną wartość  $f = 0,1$ , jak dla mokrego piasku. Oporo podjazdu (przy wyjeździe z brodu) zależą od pochylenia wyjazdu z przeprawy. Obliczane są analogicznie jak oporo toczenia, przy czym współczynnik oporu jest tangensem kąta podjazdu (wg wymagań wartość ta wynosi max. 0,3 - kąt wyjazdu może wynieść 30%).

Tarcie (przyczepność do podłoża) powinno równoważyć siłę naporu bocznego oraz zapewnić siłę napędową  $P$  dla pokonania oporu czołowego i oporów jazdy. Jego maksymalna wartość ograniczona jest współczynnikiem tarcia (przyczepności) gąsienic do gruntu. Szacowano ją na podstawie danych literaturowych [5]. Przykładowe wartości współczynnika tarcia podano w tabelicy 2.

**Tabela 2.** Wartości współczynników przyczepności gruntu  $\mu$  [5]

Rodzaj gruntu	Współczynnik przyczepności $\mu$
Asfalt	0,75 – 0,80
Sucha łąka	1,04
Błoto	0,35 -0,4
Śnieg sypki	0,2
Piasek	0,4 - 0,7

**Tabela 3.** Wartości współczynników oporów toczenia  $f$

Rodzaj gruntu	Współczynnik oporów ruchu
Asfalt	0,03 – 0,06
Łąka ze skoszoną trawą	0,08
Droga gruntowa błotnista (wilgotność 20%)	0,12 – 0,15
Ściernisko	0,07 – 0,08
Wilgotny piasek	0,1

### 2.3. Ocena możliwości przeprawy pojazdu w pełnym zanurzeniu, z przęsłem

Pierwszym warunkiem zrealizowania przeprawy podwodnej jest, by ciężar pozorny  $G'$ , liczony jako różnica ciężaru pojazdu i jego wyporu, był dodatni. W rozpatrywanym przypadku warunek jest spełniony, ciężar pozorny wynosi 119 kN.

Linie działania siły wyporu  $W$  i ciężaru  $G$  nie pokrywają się. O ile ze względu na symetrię wyrobu współrzędne „y” obu środków są praktycznie te same, o tyle istnieją różnice we współrzędnej „x”. Nastąpi więc podniesienie tyłu wyrobu i dociążenie przedniej części poruszającego się pojazdu, co zresztą sugerują badania przeprowadzone przez Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej w ramach badań kwalifikacyjnych MG-20 (Rys.6) [2]. Współrzędna „x” działania siły wyporu nie pokrywa się ze współrzędną „x” siły ciężkości, a jest w stosunku do niego przesunięta do tyłu pojazdu o ok. 160 mm.

Obserwowane podniesienie tyłu wozu tylko częściowo tłumaczy się przesunięciem środka wyporu w stosunku do środka ciężkości. Ponieważ ciężar pozorny mostu wynosi jedynie 119 kN przy ciężarze rzeczywistym 559 kN, to w zanurzeniu, zawieszenie pojazdu podnosi cały pojazd i próba, przy głębokości niewiele większej od wysokości pojazdu (4 m) nie pozwala na określenie pod jakim kątem zanurzony pojazd się znajduje i czy rzeczywiście następuje oderwanie częściowe gąsienic od podłoża.

W przypadku wody nieruchomej, przy równym dnie przeszkody, przeprawa wydaje się być teoretycznie możliwa (prowadzone dotychczas próby nie dały jednoznacznej odpowiedzi).

W przypadku wody płynącej z prędkością 2m/s, napór boczny obliczony w opracowaniu [1] wynosi 73,2 kN, co jest wartością porównywalną z naciskiem wyrobu na dno. Różnica współrzędnych „x” środka naporu bocznego i środka nacisku na dno ( $\Delta = 258 + 162$  mm) spowoduje powstanie momentu obracającego tył pojazdu z kierunkiem prądu rzeki. Wartość tego momentu wynosi 31 kNm. Istnieje więc ryzyko obrócenia tyłu wyrobu z prądem, gdyż przyczepność gąsienic o dno może nie zapewnić wystarczającego momentu oporu.

Napór boczny jest również źródłem momentu (152 kNm) usiłującego wywrócić pojazd. Moment równoważący (wynikający z ciężaru pozornego) jest co prawda większy (180 kNm), ale jak wynika z danych, nadwyżka wynosi tylko 20%.

Oporo podjazdu, opory toczenia i napór czołowy działają w tym samym kierunku. Aby je pokonać, przyczepność gąsienicy o dno powinna być większa od łącznej wartości tych oporów. Zakładając nacisk na grunt równy ciężarowi pozornemu ( $G - W$ ), otrzymuje się wartość minimalnego współczynnika przyczepności podłoża  $\mu$ , dla przeprawy w wodzie stojącej:

- dla pokonania naporu czołowego:  $\mu_{\text{graniczne}} > 0,30$
- dla ruchu po płaskim dnie:  $\mu_{\text{graniczne}} > 0,3 + 0,1 = 0,4$
- dla wyjazdu z przeprawy:  $\mu_{\text{graniczne}} > 0,3 + 0,1 + 0,3 = 0,7$ .

W celu uwzględnienia konieczności zrównoważenia naporu bocznego należy geometrycznie dodać do  $\mu_{\text{graniczne}}$  składową tarcia niezbędną dla pokonania samego naporu bocznego  $\mu_b > 0,46$ . Ostatecznie współczynniki graniczne przyczepności powinny wynosić odpowiednio: 0,55 – 0,61 i 0,84.

Są to wartości wysokie i zgodnie z tablicą 2, żaden grunt nie spełnia tego warunku. Podłoże utwardzone lub piaszczyste pozwala na jazdę po dnie. Przy wyjeździe, warunki nie są spełnione. Jedynie zmniejszenie prędkości ruchu pojazdu (np. z 2 m/s do 1 m/s) spowoduje ograniczenie wymagania na wartość  $\mu_{\text{graniczne}}$  przy wyjeździe do poziomu 0,66.

Nasuwa się wniosek, że przeprawa po dnie mostu z przęsłem na podwoziu mogłaby być możliwa w wodzie stojącej przy podłożu utwardzonym lub piaszczystym. W obecności prądu poprzecznego 2 m/s przeprawę taką ocenia się jako ryzykowną. Dodatkowo, każdorazowo przy wyjeździe z przeprawy należałoby zmniejszyć prędkość pojazdu w celu ograniczenia oporów jazdy i naporu czołowego.



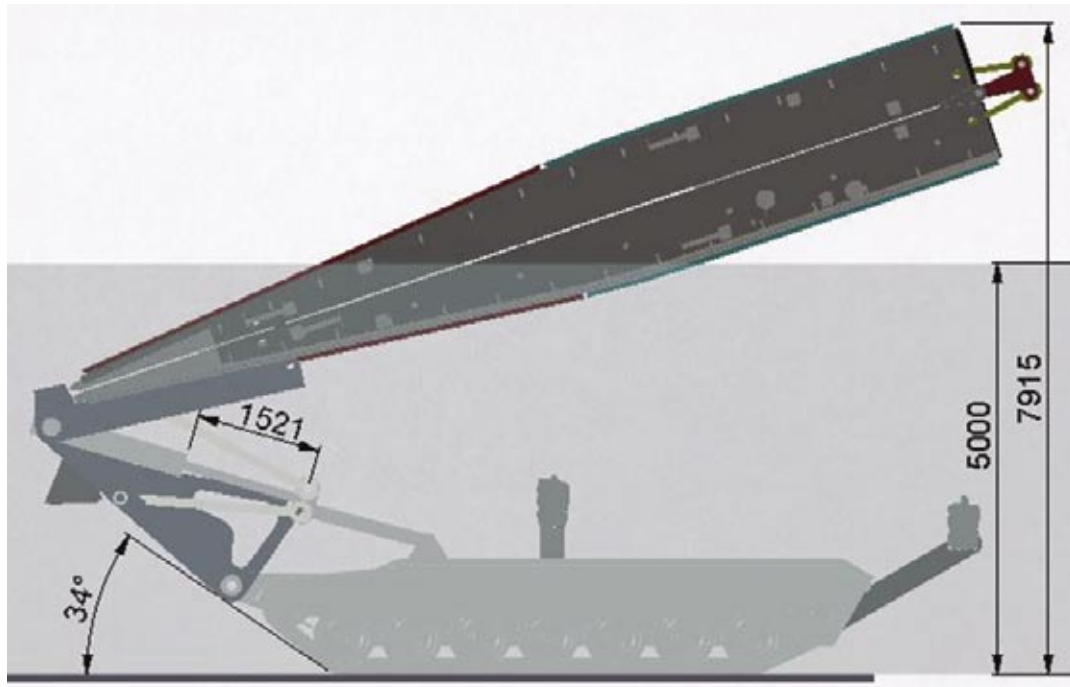
**Rys. 6. Badania MG-20 w WITPiS [2]**



**Rys. 7. Podniesienie tylnej części mostu [2]**

#### 2.4. Ocena możliwości przeprawy pojazdu, z przesłem podniesionym

Dla zapewnienia pełnych możliwości przeprawowych należałoby ograniczyć siły naporu bocznego i zwiększyć ciężar pozorny pojazdu. Oba te warunki spełnia przeprawa z podniesionym przesłem.



**Rys. 8. Przeprawa z podniesionym przesłem**

W przypadku przesła wystającego nad lustro wody tak, że środek ciężkości przesła znajduje się nad powierzchnią wody:

- zmniejsza się siła wyporu o wartość ciężaru wody wypartej przez wynurzoną część przesła (co szacuje się na poziomie ok 150 kN i o tyle wzrasta ciężar pozorny pojazdu pod wodą – nacisk na dno). Dokładne wartości zależą od kąta podniesienia przesła;
- o ok 30 - 40% spadnie siła naporu bocznego, co znacznie poprawi stabilność poruszającego pojazdu, a jednocześnie linia działania naporu bocznego zbliży się do linii działania ciężaru pozornego i zniknie moment obracający tył wozu z prądem rzeki. Model przeprawy mostu zbliży się do modelu przeprawy czołgu;
- poprawie ulegają warunki ewakuacji przez włazy z obu stanowisk: kierowcy i dowódcy. W przypadku przesła w położeniu transportowym taka ewakuacja jest bardzo utrudniona, szczególnie przez właz dowódcy [2];
- czas przygotowania do przeprawy właściwie nie odbiega od czasu przygotowania czołgu do przeprawy podwodnej;
- zwiększa się opór czołowy ze względu na wzrost powierzchni czołowej o 3 m<sup>2</sup> do wartości 46,7 kN ( przy prędkości poruszania się 2 m/s) – co jest elementem niekorzystnym. Jednakże jego wpływ na wymaganą przyczepność do dna jest kompensowany przez wzrost ciężaru pozornego (nacisku na dno). I tak,
  - dla pokonania naporu czołowego:  $\mu_{\text{graniczne}} = 0,17$
  - dla ruchu po płaskim dnie:  $\mu_{\text{graniczne}} = 0,17 + 0,1 = 0,27$
  - dla wyjazdu z przeprawy:  $\mu_{\text{graniczne}} = 0,17 + 0,1 + 0,3 = 0,57$ .



Uwzględnienie składowej prostopadłej siły tarcia do kierunku przeprawy dla zrównoważenia zmniejszonego naporu bocznego prowadzi do wartości granicznych współczynnika przyczepności odpowiednio: 0,36 – 0,42 – 0,65, a więc znacząco niższych od przypadku przeprawy z przęsłem zanurzonym.

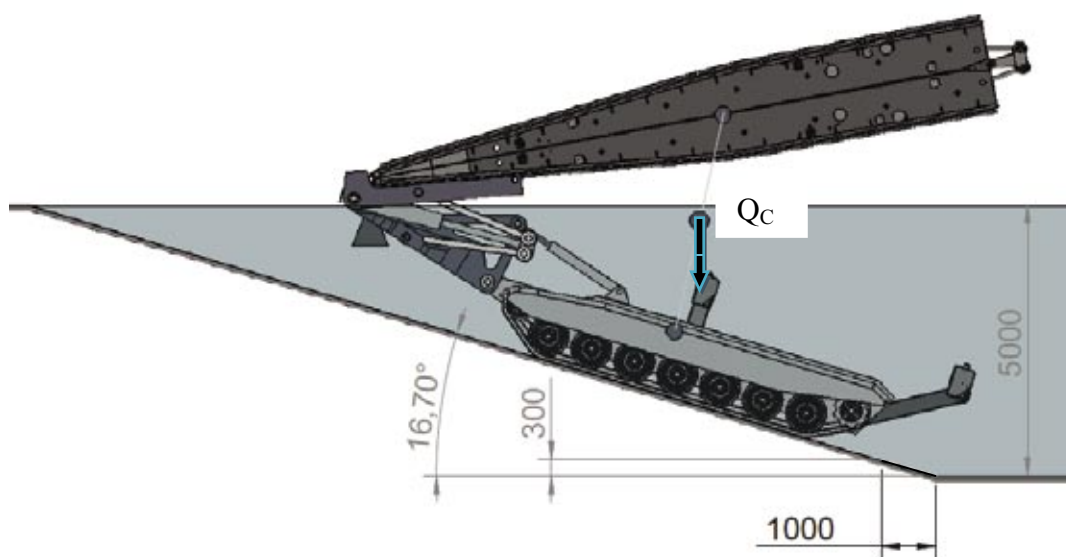
Największe wymagania co do przyczepności gruntu stawia moment wyjazdu pojazdu z brodu. Wymagania te nie zależą od nacisku wozu na grunt, a jedynie od kąta pochylenia brzegu brodu.

Ewentualna próba pokonywania przeszkody wodnej tą metodą powinna zostać poprzedzona badaniami dodatkowymi ruchu pojazdu z uniesionym przęsłem dla ustalenia metody podnoszenia przęsła i jego ewentualnego blokowania na czas przeprawy.

Dodatkowym zagadnieniem jest zachowanie stateczności pojazdu przy wyjeździe z przeprawy. Podniesienie przęsła powoduje podniesienie środka ciężkości, przy czym należy brać pod uwagę siłę wyporu podwozia. Na rys. 9 zaznaczono obliczone położenie środka ciężkości pojazdu z wynurzonym przęsłem. Dla potwierdzenia stateczności sprawdzono, czy linia działania siły wypadkowej (ciężaru podwozia, wyporu podwozia i podniesionego przęsła –  $Q_C$ ) przechodzi przez zarys obszaru styku gąsienic z dnem.

Kąt pochylenia pojazdu - 30%

Przy kontynuacji ruchu i wynurzaniu się podwozia stateczność pojazdu wzrośnie ze względu na zanikanie siły wyporu podwozia.

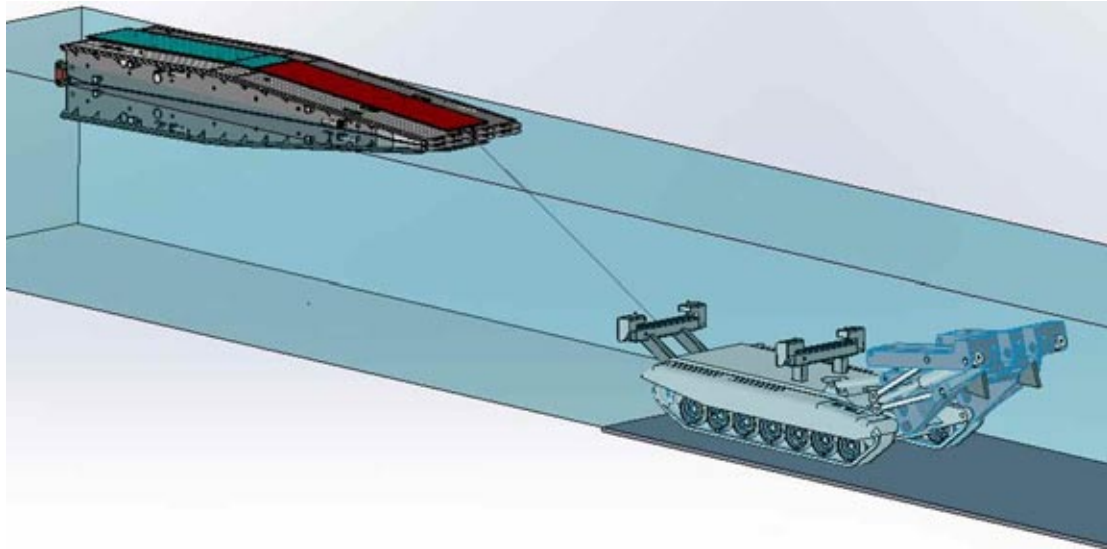


**Rys. 9. Przeprawa z podniesionym przęsłem (wyjazd z przeszkody)**

Jak widać z rys. 9 istnieje wyraźny zapas stateczności, linia siły  $Q_C$  przecina obszar styku gąsienic z gruntem między czwartym a piątym kołem pojazdu.

## 2.5. Ocena możliwości przeprawy pojazdu z przęsłem holowanym

Schemat przeprawy z holowanym przęsłem przedstawia rys. 10.



**Rys. 10. Przeprawa z holowanym przęsłem**

W przypadku przeprawy w wodzie stojącej, nacisk pojazdu holującego na podłoże nie różni się znacznie od ciężaru pozornego podwozia (różnica wynika ze składowej pionowej siły uciągu pływającego przęsła) i wynosi 196 kN. Także całkowita siła oporu czołowego nie różni się znacząco od siły oporu czołowego w przeprawie z podniesionym przęsłem. Obliczenia, jak w poprzednich przypadkach, prowadzą do wartości wymaganych współczynników przyczepności. I tak,

- dla pokonania naporu czołowego:  $\mu_{\text{graniczne}} = 0,23$
- dla ruchu po płaskim dnie:  $\mu_{\text{graniczne}} = 0,23 + 0,1 = 0,33$
- dla wyjazdu z przeprawy:  $\mu_{\text{graniczne}} = 0,23 + 0,1 + 0,3 = 0,63$ .

Siła naporu boczno na podwozie: 33,4 kN.

Siła naporu czołowego (na podwozie): 19,7 kN.

Do siły naporu boczno należy dodać składową od siły w linii holowanego przęsła: 8,56 kN, stąd graniczny współczynnik tarcia boczno wyniesie :  $\mu_b = 0,214$ .

Uwzględnienie naporu boczno podniesie wartość współczynnika przyczepności  $\mu_{\text{graniczne}}$  do odpowiednio: 0,31 – 0,39 – 0,67.

Uwagi:

- pod względem parametrów dynamicznych, przeprawa z holowanym przęsłem jest najbardziej zbliżona do przeprawy czołgu;
- jak wynika z wartości wymaganych współczynników tarcia sytuacja jest korzystniejsza od warunków przeprawy z przęsłem całkowicie zatopionym i jest zbliżona do przeprawy z podniesionym przęsłem;
- w przypadku prądu boczno, przęsło zostanie uniesione z prądem ustawi się pod pewnym kątem do kierunku ruchu podwozia. Wartość tego kąta zależy od prędkości

ruchu pojazdu, prędkości prądu, oporu czołowego przęsła i oporu bocznego przęsła (chodzi o elementy niezanurzone). Przy tych samych prędkościach przeprawy, jak i nurtu wody (2m/s) istotny jest stosunek oporu bocznego do czołowego samego przęsła. Wstępnie można przyjąć, że odpowiada on stosunkowi powierzchni bocznej doczołowej. Kąt liny holowniczej do kierunku przeprawy wyniesie więc ok. 72°;

- składowa siły usiłującej obrócić tył podwozia zgodnie z kierunkiem prądu wyniesie ok. 9 kN, co daje moment obrotowy ok. 46 kNm . Jest to wartość, która dwukrotnie przekracza wartość momentu przy pokonywaniu przeszkody z pełnym zanurzeniem. Jeżeli uwzględnić nawet wpływ zwiększonego ciężaru pozornego (ze 119 kN do 216 kN), to i tak moment usiłujący obrócić tył wozu z prądem rzeki jest relatywnie większy o ok. 25%, a więc ryzyko przeprawy, w układzie jak na rys.9, jest większe. Rozwiązaniem byłoby mocowanie holowanego przęsła w rejonie środka podwozia, a nie do tylnej belki i wtedy moment ten się zeruje;
- w chwili wyjazdu pojazdu na brzeg przęsło pozostanie na przeszkodzie wodnej w odległości równej długości liny holującej i musi być podciągnięte przez podwozie po gruncie tak, by umożliwić jego podjęcie.

Nasuwa się wniosek, że warunki przeprawy z przęsłem holowanym, pod względem parametrów dynamicznych, nie odbiegają znacząco od warunków przeprawy samego podwozia, a te z kolei, od warunków przeprawy pojazdów pancernych. Jednakże czas realizacji przeprawy znacznie wzrasta, ponieważ obejmuje również operację zdjęcia przęsła, zapięcia liny holowniczej, wyciągnięcia przęsła na drugi brzeg, odpięcia liny i procedury podjęcia przęsła (najprawdopodobniej z użyciem łańcuchów).

*Zakłada się, że przęsło jest szczelne, ma wyporność większą od swego ciężaru, a więc i pływa. W warunkach bojowych przęsło może być uszkodzone tak, że jego pływalność nie zostanie zachowana i ten sposób przeprawy będzie niemożliwy.*

## 2.6. Ocena możliwości przeprawy z przęsłem zatapianym

W tym przypadku, dla zwiększenia ciężaru pozornego, przęsło wypełniane jest wodą na czas przeprawy. Wypełnienie wodą może być pełne lub częściowe. Dla zapewnienia krótkiego czasu przeprawy, należałoby wykonać luki zalewowe o zwiększonych przekrojach, aby woda szybko wypełniała przęsło w czasie wjazdu i wylewała się przy wyjeździe z wody (wymagane przekonstruowanie przęsła). Luki te powinny być zaślepienie w czasie normalnej eksploatacji (przy przeprawie należałoby je odkręcać).

Pod względem dynamicznym warunki przeprawy są następujące:

- ciężar pozorny mostu wzrośnie do ok. 300 kN;
- siły naporu bocznego oraz czołowego pozostaną takie same jak w przypadku przeprawy z przęsłem zanurzonym;
- fazą krytyczną wydaje się być faza wyjazdu pojazdu z przeprawy (podjazd). Jeżeli przęsło dostatecznie szybko nie pozbędzie się wody, to masa pojazdu może chwilowo zbliżyć się do 70 000 kg i zawieszenie pojazdu będzie narażone na przeciążenie.

Wariant polegający na wypełnianiu przęsła wodą jest realny, ale wymagający przekonstruowania przęsła tak, by następowało szybkie zalanie wodą oraz szybkie wylanie się wody z przęsła.

### 3. PODSUMOWANIE

Wszystkie opisane wyżej i oceniane metody przeprawy, w określonych warunkach, są możliwe do realizacji.

Ze względu na parametry dynamiczne najbardziej ryzykowną jest przeprawa z zanurzonym przęsłem. Ma ona jednak tę zaletę, że wymaga najkrótszego czasu przygotowania, ale ewentualna ewakuacja z miejsca dowódcy będzie utrudniona.

Przeprawa z podniesionym przęsłem poprawia parametry dynamiczne ruchu pojazdu przez przeszkodę w porównaniu z ruchem pojazdu przęsłem na pojeździe. Wymaga jednak dodatkowych badań w celu opracowania szczegółowej metodyki zabezpieczenia uniesionego przęsła mostowego przed uszkodzeniem.

Przeprawa z przęsłem holowanym, pod względem dynamicznym jest bez zarzutu, ale czas przeprawy jednostki znacznie się wydłuży. Przewiduje się też kłopoty z podjęciem przęsła. Wymagana jest też absolutna szczelność dźwigarów przęsła.

Przeprawa z przęsłem zatapianym jest również technicznie możliwa. Czas do jej przygotowania się zwiększy w porównaniu z metodą podniesionego przęsła. Wymaga przeróbki przęsła (zmian w dokumentacji) i badań, jak i poprzednie metody.

Obliczone wartości wymaganych współczynników przyczepności do gruntu mogą być obciążone błędem wynikającym z szacowania np. oporów toczenia. Jednak dla celów porównawczych różnych metod przeprawowych ich dokładne wartości nie są niezbędne.

Do ostatecznego wyboru metody przeprawy należy opracować dodatkowy program badań w ramach badań pierwszego egzemplarza partii próbnej.

### 4. LITERATURA

- [1] Stanisław Tomaszewski: Analiza możliwości pokonywania przeszkód wodnych przez most czołgowy MG-20 /po dnie/. (Materiały własne OBRUM sp. z o.o. - niepublikowane).
- [2] Sprawozdanie z badań wstępnych mostu szturmowego MG-20. (Materiały własne OBRUM Sp z o.o. – niepublikowane).
- [3] Założenia Taktyczno - Techniczne na most towarzyszący na podwoziu gaśnicowym kryptonim DAGLEZJA-G. Departament Polityki Zbrojeniowej MON. Warszawa, 2008.
- [4] Burdziński Z. Teoria ruchu pojazdu gaśnicowego. Warszawa. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKiŁ, 1972.

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF UNDERWATER CROSSING BY THE MG-20 ASSAULT BRIDGE

**Abstract.** The article presents an analysis of the possibilities and limitations associated with negotiating a deep water obstacle on its bottom by the MG-20 assault bridge on tracked chassis. Various options for deep fording are analyzed and assessed: with the bridge span set on the chassis, with the bridge span raised, with the bridge span towed and with the bridge span submerged. Recommendations for future tests are set forth.

**Keywords:** assault bridges, support bridges, underwater crossing.