



1/2022

Biuletyn OBRUM



Redakcja i korekta

Przemysław Mężyk
Magdalena Król
Emil Pella
Michał Ślusarski

Rada Programowa

prof. dr hab. inż. Gerard Cybulski
dr hab. inż. Kazimierz Dzierżek, prof. PB
dr hab. inż. Adama Januszko, prof. AWL
prof. dr hab. inż. Jerzy Małachowski
dr hab. inż. Piotr Przybyłowicz, prof. PW
gen. brygady prof. dr hab. Dariusz Skorupka
prof. dr hab. inż. Jacek Słania

dr hab. inż. Anna Timofiejczuk, prof. PŚ

Politechnika Warszawska
Politechnika Białostocka
Akademia Wojsk Lądowych
Wojskowa Akademia Techniczna
Politechnika Warszawska
Akademia Wojsk Lądowych
Sieć Badawcza Łukasiewicz
Instytut Spawalnictwa
Politechnika Śląska

Wydawca

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Urządzeń Mechanicznych „OBRUM” sp. z o.o.
ul. Toszecka 102, 44-117 Gliwice
tel. +48 32 30 19 400
fax +48 32 231 58 87
info@obrum.pl
www.obrum.pl

Wszystkie zamieszczone artykuły są recenzowane.
Niniejsze wydanie stanowi kontynuację publikacyjną OBRUM sp. z o. o. od 1989 roku.

Spis treści

Sebastian KUT

PRZEGLĄD WSPÓŁCZESNYCH MOSTÓW WOJSKOWYCH. CZĘŚĆ 1 MOSTY NA PODWOZIU KOŁOWYM

Streszczenie. Współczesny światowy rynek mostów wojskowych jest mocno rozbudowany. Istnieje wiele rozwiązań zarówno na pojazdach kołowych jak i gąsienicowych, które różnią się długością, nośnością czy mobilnością. W artykule zestawiono współczesne mosty zmechanizowane będące w ciągłym użytku przez różne państwa. Zestawienie może stanowić punkt wyjściowy do pogłębienia wiedzy o poszczególnych rozwiązaniach technicznych. Główny podział oparto na pojazdach na podwoziu kołowym oraz pojazdach na podwoziu gąsienicowym.

Słowa kluczowe: mosty kołowe, mosty wojskowe, sprzęt inżynieryjny.

1. WPROWADZENIE

Współczesne pole walki wymaga zapewnienia mobilności między innymi poprzez wykorzystanie odpowiednich mostów wojskowych. Historia tego typu sprzętów inżynieryjnych sięga I-szej Wojny Światowej gdzie w bitwie pod Cambrai pierwszy raz na tak dużą skalę zostały użyte czołgi (Tank MK1 – ponad 300 szt.). Szybko zorientowano się o utrudnieniach jakie występowały w poruszaniu się tak ciężkich konstrukcji pancernych. Nie miały one możliwości przejazdu przez szerokie przeszkody (rowy, rzeki, okopy) i tym samym ich pełna liczebność nie mogła zostać wykorzystana w sytuacjach, gdy była pożądana. Początki mostownictwa wojskowego rozwijały się poprzez wyposażanie czołgów w faszyny – zwinięte w role gałęzie, które były umieszczane w przeszkodzie (przeważnie szeroki rów) by umożliwić przeprawę pojazdów. Mniej niż dwie dekady trwał dynamiczny rozwój tej gałęzi inżynierii wojskowej. Podczas II Wojny Światowej [1] w myśl „Blitzkriegu” seryjnie produkowane pojazdy przeprawowe wspierały wojska pancerne, pojazdem takim, jednym z pierwszych, był min. Brückenleger IV (Rys. 1).

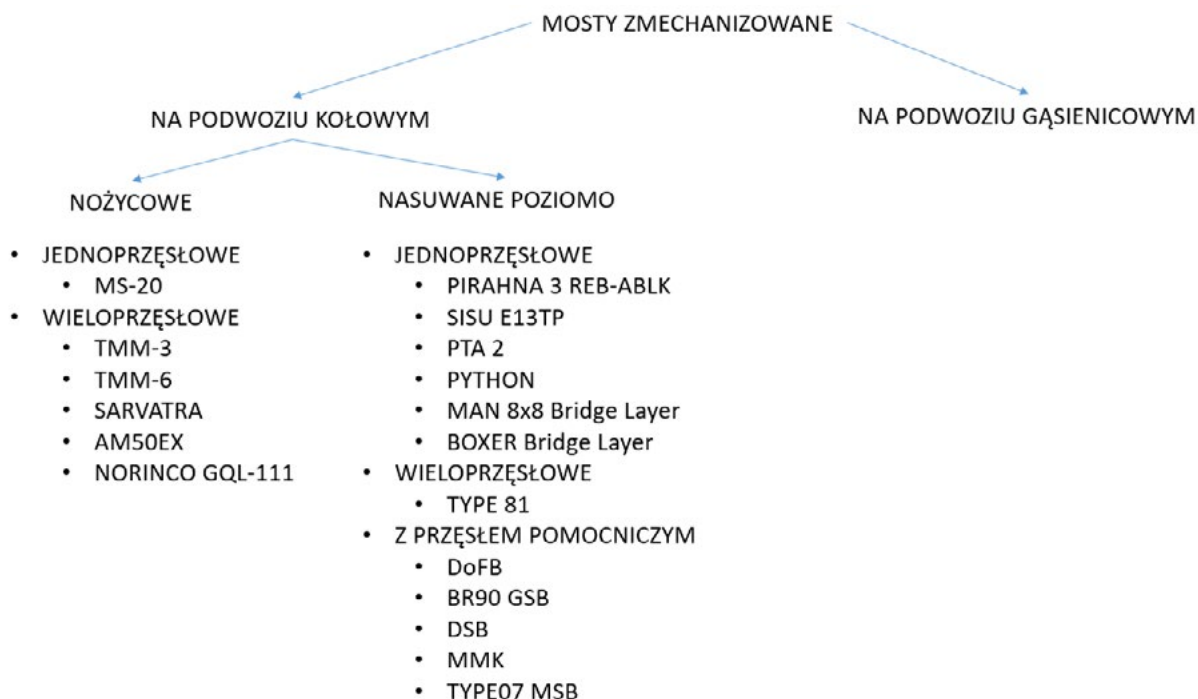


Rys. 1. Dwa mosty Brückenleger IV z okresu II Wojny Światowej [2]

Mosty wojskowe stanowią rodzaj pojazdów wykorzystywanych przez oddziały inżynieryjne celem zabezpieczenia operacji wojsk lądowych. Odgrywają one szczególną rolę w operacjach zaczepnych [3]. Norma obronna wskazuje, że przęsła mostów należy montować na podwoziach pojazdów gąsienicowych lub podwoziach pojazdów kołowych o wysokiej mobilności [3]. Szeroka gama pojazdów bazowych była motywem wyjściowym publikacji - niniejsza część poświęcona jest mostom zmechanizowanym na podwoziu kołowym.

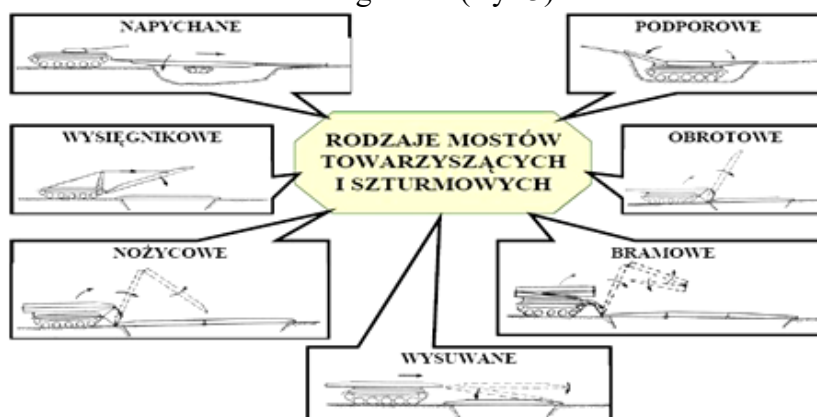
Most wojskowy jest konstrukcją zbudowaną na przeszkodzie w celu zapewnienia wojskom swobody działania w terenie i zapewnienia ciągłości zaopatrzenia. Most zmechanizowany (towarzyszący) jest konstrukcją wykonaną z przęsł mostowych przystosowaną do wielokrotnego i szybkiego układania na przeszkodzie przez pojazd bazowy – również w strefie bezpośrednich działań bojowych [3].

Mosty zmechanizowane zasadniczo można podzielić na dwie grupy (Rys. 2). Podział zawiera wybrane sklasyfikowane wyroby w zależności od budowy i funkcjonalności.



Rys. 2. Klasyfikacja wybranych mostów zmechanizowanych [4]

Zmechanizowane mosty (mosty towarzyszące) można również podzielić bardziej szczegółowo (Rys.3)



Rys.3 Podział szczegółowy zmechanizowanych mostów [5]

2. MOSTY NA PODWOZIU KOŁOWYM, NOŻYCOWE JEDNOPRZĘSŁOWE

MS-20 DAGLEZJA - most zmechanizowany krajowej produkcji (Rys. 4), występuje w wariantach z nieopancerzonym ciągnikiem jak i z jego wersją opancerzoną. Innowacyjne rozwiązanie w tej konstrukcji to zmienna szerokość przęsła wykonywana w sposób automatyczny. W pozycji roboczej przęsło jest szerokie na 4 m, umożliwiając tym samym

przeprawę pojazdów o szerokości powyżej 3-ech metrów. Rama pojazdu-naczepy wyposażona jest w dedykowany mechanizm rozsuwu umożliwiającą złożenie przęsła do szerokości 3 m, jednocześnie pozwalając na transport po drogach publicznych bez specjalnych zezwoleń.

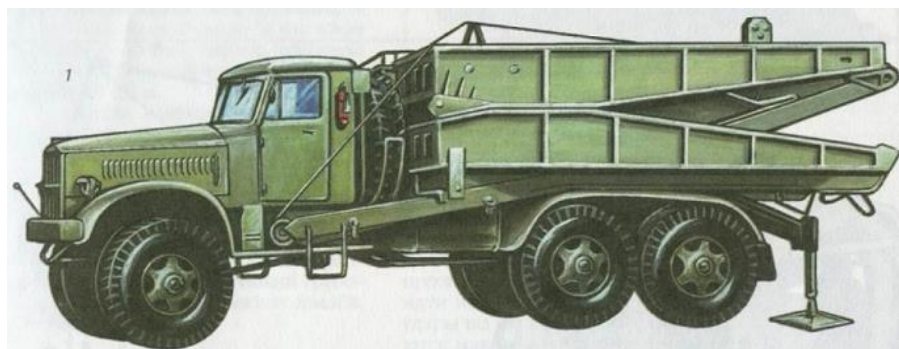


Rys. 4. Most zmechanizowany na podwoziu kołowym nożycowy jednoprzęsłowy MS-20 [6]

Układ zmiany szerokości przęsła współpracuje również z układem podnoszenia/opuszczania wypełnień między dźwigarami przęsła, stalowe wypełnienie między kolejnymi mostu przystosowane jest do przeniesienia nacisków wywartych obciążeniem koła do 9 ton. Pojazd bazowy to ciągnik JELCZ oraz naczepa N-MS-20 (Naczepa Mostu Samochodowego 20 m). Zespół pojazdu bazowego posiada wysoką mobilność - możliwość napędzania wszystkich osi zarówno w ciągniku (6x6) oraz napędzanych osi naczepy (6x6) przy włączonej dodatkowej pracy napędów hydraulicznych. Przęsło PM-20 jest w pełni kompatybilne z innym pojazdem bazowym (układaczem) - mostem gaśnicowym MG-20. Most zmechanizowany jest przystosowany do pracy w temperaturze -30°C do $+55^{\circ}\text{C}$ [6], występuje również wersja MS-20 przystosowana do pracy w klimacie tropikalnym [6]. Podwozie z przęsłem jest w stanie poruszać się po drogach publicznych z prędkością do 80 km/h i zasięgiem jazdy do 650km. Zawieszenie i konstrukcja umożliwia pokonanie przeszkód o wysokości do 0,3 m. Naczepa specjalna wyposażona jest w układ centralnego pompowania kół, układ samoczynnego smarowania najważniejszych podzespół dzięki centralnej pompie smarującej a także w standardowy sworzeń zaczepowy 3,5”.

3. MOSTY NA PODWOZIU KOŁOWYM, NOŻYCOWE WIELOSEGMENTOWE

TMM-1 ÷ TMM-4 (Tyazholyy Mekhanizirovanny Most – ciężki most zmechanizowany) – Rodzina mostów TMM to mosty typu wieloprzęsłowego z podporami mostowymi pośrednimi zamontowanymi bezpośrednio na przęsłach. Mosty zmechanizowane Związku Radzieckiego produkowane są od ok. 1960 roku (Rys. 5), bazują one na podwoziu kołowym 6x6, które ewoluowało wraz z rozwojem konstrukcji. Most służył do pokonywania przeszkód dłuższych niż 20 metrów nad przeszkodą suchą oraz nad przeszkodą wodną jednak na tyle płytką, że nie było możliwości wykorzystywania mostów pontonowych.



Rys. 5. Most TMM-2 [7]

Przęsło nożycowe o długości 10,5 m ma możliwość łączenia w dowolną ilość segmentów i może być rozkładane na głębokości 1,7 – 3,2 m za pomocą wysuwanych podpór na końcu przęsła [7]. Regulacja wysokości stóp podporowych odbywa się mechanicznie (z wykorzystaniem mechanizmu śrubowego) siłami załogi. Przęsło rozkładane jest od tyłu pojazdu za pomocą układacza pracującego w systemie linowym i dodatkowo w pozycji transportowej jest zsunięte. Przed rozkładaniem następuje jego rozsuniecie. W celu zwolnienia blokad utrzymujących stopy podporowe, wymagane jest wejście załogi na rozkładający się most i ręczne zwolnienie blokady. Powstało kilka wersji pojazdów TMM [7]:

- TMM-1 (przęsło MLC 50 na podwoziu ZIL-157),
- TMM-2 (przęsło MLC50 na podwoziu KrAZ-214),
- TMM-3 (przęsło MLC50 na podwoziu KrAZ-255B),
- TMM-4 (przęsło MLC60 na podwoziu KrAZ-255B/260).

TMM-6 (tyazholyy mekhanizirovannyyy most-6 – ciężki most zmechanizowany 6) – Wersją unowocześnioną poprzednio opisywanego radzieckiego mostu wieloprzęsłowego jest most zmechanizowany TMM-6. Jest to most typu nożycowego z pojedynczym przęsłem zamontowanym na pojeździe, które może być łączone z kolejnymi przęsłami na długość do 102 m oraz może być posadowione na głębokość od 1,6 m do 5 m [8]. Ciężki most zmechanizowany wprowadzono do użytku w 2004 roku [8]. Dla przęsła pojazdem bazowym jest białoruskie podwozie z napędem 8x8 [9] a układacz zamontowany jest na tyle podwozia – przęsło jest rozkładane po podejchaniu tyłem do przeszkody. Podwozie kołowe występuje wyłącznie w wersji nieopancerzonej, manipulowanie przęsłem może odbywać się zarówno przez rozdzielacze hydrauliczne na pojeździe jak i przez dedykowany pulpit wynośny. Zestaw mostowy składa się z 6-ciu pojazdów [10], w których pięć z nich wyposażonych jest w przęsła z wysuwanymi podporami a jedno z przęsła (końcowe) podpór pośrednich nie posiada (Rys. 6).



Rys. 6. Most TMM-6 w trakcie rozkładania [9]

Sarvatra – Indyjski most zmechanizowany wdrożony w 2000 roku, umożliwiający budowę mostu segmentowego z maksymalnie 5-ciu przęseł po 15 metrów każde. Przęsła wykonane z aluminium umieszczone jest na czeskim podwoziu Tatra 8x8 i umożliwia przejazd pojazdów będących na wyposażeniu armii indyjskiej (czołg Arjun) [10]. Most posiada dodatkową kabinę zamontowaną na tyle pojazdu umożliwiając precyzyjne manewrowanie żurawiem podczas procesu manipulowania przęsłem (Rys. 7).



Rys. 7. Most Sarvatra z widoczną tylną kabiną [11]

Przęsło posiada podpory regulowane hydraulicznie (regulacja rozwarcia podpór oraz zmiana ich wysokości) oraz mechanicznie (podnoszenie/opuszczanie za pomocą lin) umożliwiające ułożenie mostu na przeszkodzie o głębokości od 2,5 do 6 metrów. Działanie kinematyki rozwierania i zwierania w sposób nożycowy przęsła realizowane jest za pomocą mechanizmu linowego. Układacz realizuje manipulowanie przęsłem przy wykorzystaniu hydrauliki siłowej. Po ułożeniu mostu na przeszkodzie, załoga zakłada wypełnienia między dźwigarami wypełniając puste przestrzenie na części jezdnej tym samym przystosowując przeprawę do wykorzystania cywilnego jak i przemarszu piechoty. Most zmechanizowany Sarvatra powstał również w przęsłach 20-metrowym oraz 10-metrowym [11]

AM-50EX – Zmechanizowany most typu nożycowego wieloprzęsłowy z powodzeniem wykorzystywany w wojsku oraz w służbach ratownictwa kryzysowego. Most bazujący na podwoziu Tatra T815 (początkowe wersje mostu bazowały na podwoziu Tatra T813 [12]) posiada wysoką mobilność dzięki konstrukcji układu zawieszenia oraz adekwatnego układu napędowego. Napędzane są wszystkie koła (8x8), dwie pierwsze osie są skrętne z kolei układ zawieszenia ramy zrealizowano jako niezależne zawieszenie półosi wahliwych, zamontowanych poduszek powietrznych i amortyzatorów teleskopowych z drążkami stabilizatorów. Atutem jest również system centralnego pompowania kół oraz system ochrony przeciw skażeniom. Przęsło jest konstrukcją z częścią jezdnią pełną oraz zamontowanym rozkładanym systemem krawężników. Podpory pośrednie przy pomocy układu hydraulicznego (Rys.8) umożliwiają wykorzystanie mostu na przeszkodzie o głębokości od 2 m do 5,15 m.



Rys. 8. Podpory hydrauliczne mostu AM-50 [13]

Proces rozkładania przebiega automatycznie z wykorzystaniem wynośnego pulpitu, kinematyka ruchów układacza jest realizowana za pomocą systemu hydraulicznego, a nożycowy ruch przęsła realizowany jest przez liny. Producent oferuje również most z wyposażonym spychaczem zamontowanym na przodzie pojazdu bazowego dzięki czemu możliwe jest odpowiednie przygotowanie przyczółku bez dodatkowych wozów inżynieryjnych.

NORINCO GQL-111 – Most zmechanizowany produkcji chińskiej, pracujący w systemie nożycowym o konstrukcji wieloprzęsłowej z podporami pośrednimi. Zestaw składa się z 5-ciu pojazdów przewożących przęsła 15-sto metrowe tym samym umożliwiając ułożenie mostu o długości do 75 m. Koniec przęsła wyposażono w regulowane pośrednie podpory hydrauliczne umożliwiające posadowienie na głębokości do 5,5 metra [14]. Pierwsze wersje mostu umożliwiały przejazd pojazdów w klasie MLC50 i nacisku na osie do 13-stu ton, w późniejszych wersjach wzmocniono konstrukcję nośną przęsła tym samym dając możliwość pokonania przeszkody przez pojazdy o masie do 60-ciu ton.



Rys. 9. Most GQL-111 na podwoziu BeiBen [14]

Pojazdem bazowym jest podwozie BeiBen 8x8 produkowane od 2000 r. (Rys.9) będące w stanie rozwinąć prędkość po drodze do 90 km/h. Marka BeiBen powstała z połączenia Mercedesa oraz chińskiego Norinco [33] - przedsiębiorstwa zajmującego się produkcją pojazdów specjalnych kołowych oraz gąsienicowych.

4. MOSTY NA PODWOZIU KOŁOWYM, NASUWANE POZIOMO JEDNOSEGMENTOWE

PIRAHNA 3 REB-ABLK (Rapidly Emplaced Bridge - Adaptable Bridge Launching Kit) - most zmechanizowany zabudowany na szwajcarskim podwoziu Kołowego Transportera Opancerzonego Pirahna 3 (Rys.10). Powstał w kooperacji firmy MOWAG oraz GDELS (General Dynamics Europe Land Systems) [15]. Pakiet mostowy (aluminiowe przęsło oraz układacz) może być zaadaptowany do wielu pojazdów kołowych spełniających określone założenia techniczne. Zestaw nazywany jest GDELS PYTHON i może być instalowany na pojeździe bazowym na stałe lub tymczasowo. Zestaw występuje w różnych wersjach, a sam pomysł montażu przęsła na kołowym transporterze opancerzonym jest stosunkowo nową koncepcją. Zapewnia to wysoką mobilność i bezpieczeństwo załogi.



Rys. 10. Podwozie kołowe z mostem wysuwany [15]

Przęsło nasuwane poziomo rozkłada się poprzez połączenie dwóch segmentów ze sobą bezpośrednio na pojeździe a następnie nasunięcie mostu przed pojazd. Układacz wyposażony jest w stopę podporową gwarantując odpowiednią stateczność pojazdu podczas manipulowania przęsłem. Producent oferuje także krótsze przęsła (GDELS COBRA)

SISU E13TP – Fińskie podwozie SISU z napędem 8x8 (lub 10x10 – model SISU E15TP Rys.11) będące nośnikiem i układaczem dla przęsła Leguan produkowanego przez firmę Krauss-Maffei Wegmann.



Rys. 11. Sisu E15TP z przęsłem Leguan [16]

Most wykonany w kooperacji fińsko-niemieckiej został wdrożony do produkcji w 2007 roku będąc podstawowym mostem Fińskich Sił Zbrojnych [16]. Posiada ochronę balistyczną, ochronę przeciwminową oraz szereg nietypowych rozwiązań technicznych – chłodnica umieszczona za kabiną, dwie pierwsze osie skrętne, nisko umieszczony środek ciężkości przy jednoczesnym wysokim prześwicie podwozia [16]. Podczas rozkładania, podparcie pojazdu następuje tylnymi podporami hydraulicznymi, nad którymi przęsło wysuwa się ponad przeszkodą. Ciągnik SISU został zaadaptowany do manipulowania przęsłem Leguan, które jest przęsłem uniwersalnym – mogącym być podbieranym przez inne przystosowane ciągniki np. MAN lub podwozia czołgowe (Leopard 2 AVLB).

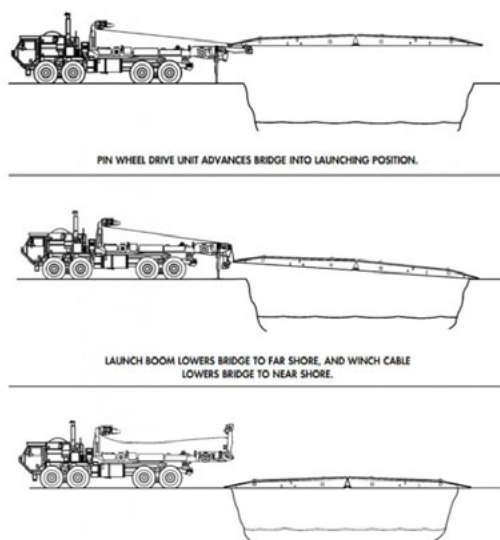
PTA2 – francuski most zmechanizowany zabudowany na podwoziu kołowym CNIM (Rys.12), który został wdrożony do użytku w 2012 roku. Most nazywany również SPRAT (Système de Pose Rapide de Travu-res) był wypełnieniem luki dla możliwości przepraw głównych czołgów armii francuskiej (Leclerc). Podwozie z napędem 10x10 umożliwia rozwinięcie prędkości po drogach utwardzonych do 70 km/h z zasięgiem do 800 km [17], wszystkie osie pojazdu są skrętne a pojazd bazowy posiada zaawansowany system sterowania - adaptacyjny do panujących warunków drogowych w zakresie ciśnienia w kołach, obserwacji dookólnej zarówno dziennej jak i nocnej oraz telemetrii pojazdu [17]. Cechuje się również bardzo dobrą ochroną załogi dzięki pełnemu opancerzeniu, włącznie z osłonami na szyby zamykanymi z wnętrza kabiny. Cały proces ułożenia mostu może odbywać się z wnętrza pojazdu w sposób w pełni zautomatyzowany, gdzie operator pełni jedynie funkcję kontrolną procesu. Kabina w swoim przednim dolnym segmencie wyposażona jest w dwie stopy podporowe boczne oraz jedną stopę podporową zainstalowaną w osi pojazdu. Podpory układacza są konstrukcją wahliwą, dzięki czemu równomiernie podpierają pojazd.



Rys. 12. Most SPRAT PTA2 [17]

Pojazd bazowy jest nośnikiem dla jednego mostu 26-metrowego (MLC80) lub dwóch mostów 14-metrowych (MLC100) [17]. Rozkładanie polega na wysunięciu jednego z segmentów przęsła w przód pojazdu, uchyleniu segmentu skrajnego i wsunięciu kolejnego przęsła. Łączenie przęseł ze sobą odbywa się dzięki hakom zamontowanym w segmentach najazdowych. Dodatkowo podczas rozkładania przęsła, automatycznie podnoszą się na nim boczne słupki, pełniące rolę nawigacji dla kierowców pojazdów korzystających z przeprawy.

PYTHON – produkt firmy GDELS – przęsło o długości 13,8 m, z możliwością zabudowy na dowolnym podwoziu spełniającym określone wymagania techniczne. Firma wyspecjalizowała się w uniwersalnym zestawie układacza z przęsłem, oferując zabudowę na dostarczonym podwoziu (ładowność minimum 10 ton) [18]. W 2007 firma GDELS wykonała przęsło wraz z układaczem dla armii USA zabudowanym na podwoziu HEMMT M1977 CBT (Rys. 14). Wojska Wielkiej Brytanii dysponują produktem PYTHON na podwoziu MAN HX77 (Rys. 15), a w 2015 roku czeski producent podwozi Tatra zaprezentował model T815-7 przystosowany do przewozu przęsła PYTHON [18]. Przęsło wykonane z wysokowytrzymałego aluminium, rozsuwane w tył pojazdu (Rys. 13) waży niecałe 5 ton. Proces rozkładania może być wykonany z wnętrza kabiny pojazdu w sposób w pełni automatyczny (wykorzystując hydraulikę siłową). Kinematyka rozkładania jest zbliżona do sposobu działania mostów Biber. Most zmechanizowany może być transportowany samolotem C-130 bez dodatkowych modyfikacji [18].



Rys. 13. Rozkładanie przęsła PYTHON na platformie do przewozu palet PLS [15]



Rys. 14. Most PYTHON na podwoziu HEMMT M1977 CBT [15]



Rys. 15. Most PYTHON na podwoziu MAN HX77 [15]

MAN 8x8 Bridge Layer - pojazd bazowy MAN SX90 8x8 z zabudowanym przęsłem Leguan (Rys.16) wykonany przez niemiecką firmę Krauss-Maffei został wdrożony do użytku w niemieckiej armii umożliwiając podbieranie i rozkładanie bliźniaczych przęseł stosowanych na podwoziu gąsienicowym. Pojazd bazowy posiada ochronę balistyczną dna pojazdu gwarantując tym samym ochronę przeciwminową [19,20] oraz wyposażony jest w kamery wraz z termicznymi rejestratorami obrazu dzięki czemu możliwe jest manipulowanie przęsłem pod osłoną nocy [19].



Rys. 16. Leguan zabudowany na podwoziu MAN [19]

Kinematyka działania jest analogiczna jak dla pojazdu SISU E13TP, gdzie w pierw na pojeździe dwa półpręśla łączą się ze sobą po czym są wysuwane do tyłu pojazdu. Rozłożenie pręśla 26-metrowego o szerokości 4-ech metrów zajmuje 6-8 minut z wykorzystaniem pojazdu bazowego MAN SX90 [19]. Proces rozkładania może być przeprowadzony nawet przez jednego członka załogi dzięki pulpitemu sterowania z intuicyjnym graficznym interfejsem. Pręśło Leguan może być wyposażone w dodatkową aparaturę pomiarową mierzącą przeciążenia, tym samym dając dane wejściowe do oszacowania pozostałej trwałości zmęczeniowej [20].

BOXER Bridge Layer – kołowy transporter opancerzony ARTEC Boxer 8x8 MRAV z zabudowanym skróconym pręślem LEGUAN KMW o długości 14 m (rys.17) [21]. Pojazd-układacz posiada ochronę balistyczną na poziomie pierwotnego transportera. Pręśło 14-sto metrowe (MLC 80) zostało zaprojektowane, jako zamienny moduł mogący być transportowany innymi układaczami KMW (Leguan, Biber, SISU) lub inne kompatybilne podwozia [22]. Poza pręślem 14 m producent zapowiedział także projekt wersji pręśla 22 m (MLC 50).



Rys. 17. Most na podwoziu BOXER [22]

Pręśło wysuwa się do tyłu pojazdu przy pomocy hydrauliki siłowej, układacz zabudowany na transporterze kołowym opancerzonym jest rozwiązaniem innowacyjnym. Pojazd mostowy BOXER bazuje na podwoziu niejako 2-modułowym – podwozie z silnikiem i kabiną oraz na wymiennym module zależnym od pełnionej funkcji. Wymienne moduły mocowane

są na 4-ech śrubach i w warunkach polowych przeznaczenie pojazdu może być zmienione w ciągu godziny. Pojazd wyposażony jest w silnik MTU/Rolls-Royce osiągając maksymalną prędkość 103 km/h po drogach utwardzonych przy zasięgu 1050 km. Konstrukcja transportera to stal pancerna z dodatkowym modułowym zaawansowanym modułem pancernym z kompozytu (AMAP) [21].

5. MOSTY NA PODWOZIU KOŁOWYM, NASUWANE POZIOMO WIELOPRZĘSŁOWE

Type 81 – japoński most zmechanizowany składający się z kołowego podwozia Type 74 oraz przęsła z podporami pośrednimi umożliwiając tym samym budowę mostu o dowolnej długości. Poszczególne segmenty wysuwane są do tyłu pojazdu. Zabudowane podpory umożliwiają regulację w zakresie 2-4 m [23]. Jeden zestaw składa się z 6-ciu pojazdów z 10-metrowym przęsłem każdy. Pojazd posiada interesujące rozwiązanie, gdzie przęsło nie jest rozkładane nożycowo a jest nasuwane poziomo. Po wysunięciu z układacza załoga reguluje wysokość podpór na pożądaną wysokość i podpira koniec przęsła. Jednostronnie wsparte przęsło o grunt jest opuszczane z układacza na rozłożone już segmenty (Rys. 18).



Rys. 18. Type 81 most z podporami wysuwany z pojazdu układacza [23]

6. MOSTY NA PODWOZIU KOŁOWYM, NASUWANE POZIOMO Z PRZĘSŁEM POMOCNICZYM

Dornier Foldable Bridge – nazwa mostu wykonanego wspólnie przez USA, Wielką Brytanię oraz Niemcy. W 1979 wdrożono pierwsze wersje mostu, który był wciąż rozwijany i w roku 2003 dostarczony do Singapuru. Zapewnia możliwość przeprawy przez przeszkodę o szerokości do 46 metrów [24]. Ze względu na swoją długość wykorzystywane jest przęsło pomocnicze wykonane z materiałów kompozytowych [24]. Przęsło pomocnicze jest elementem wpięrym wysuwany z pojazdu układającego, który stanowi element nośny dla zasadniczych przęseł konstrukcji. Most składa się z dwóch segmentów najazdowych oraz 4-ech segmentów środkowych. Przy pomocy żurawia o nośności 20-stu ton kolejne segmenty przęseł zasadniczych są nakładane na przęsło pomocnicze i kolejno przesuwane na przeciwległy brzeg (Rys. 19) [24]. Poszczególne elementy nośne są ze sobą łączone wahliwie przy pomocy

sworzni. W trakcie rozkładania następuje odchylenie bocznych dźwigarów tym samym dając szerokość przeprawy 4,4 m. Pełne ukończenie mostu składa się z jednego pojazdu układającego oraz 5-ciu pojazdów transportowych. Czas pełnego rozłożenia mostu przez załogę 6-ciu osób wynosi do 1 godziny.



Rys. 19. Dornier Foldable Bridge – podczas wypoziomowania na podporach [25]

BR90 GSB (General Support Bridge) - brytyjski most zmechanizowany koncernu BAE składający się z 3-ech pojazdów - jeden jest pojazdem bazowym układającym a pozostałe dwa to pojazdy transportowe dla pręseł (Rys.20). Nietypowym rozwiązaniem zestawu jest zainstalowanie na każdym z pojazdów transportowych niezależnego żurawia co znacząco przyspiesza proces składania / rozkładania - 44 metrowy most może być rozstawiony nad przeszkodą w czasie 32 minut [26].



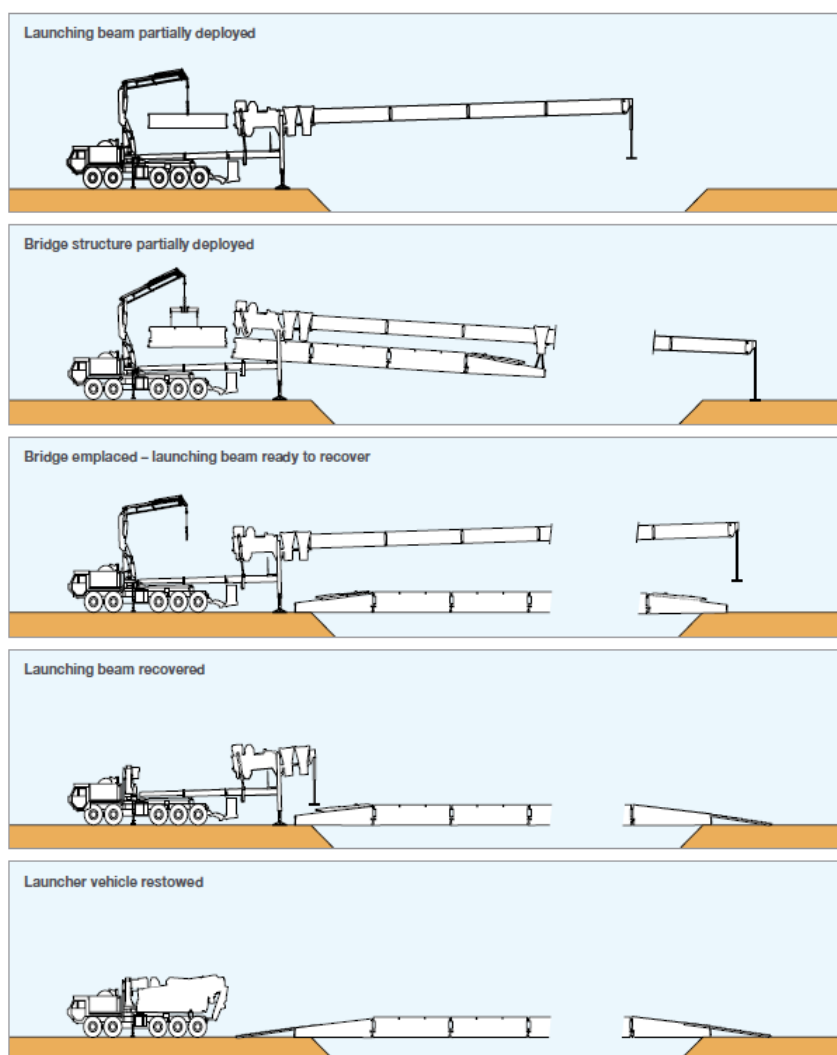
Rys. 20. BR90 GSB pojazd układający wraz z dwoma pojazdami transportowymi [26]



Rys. 21. BR90 GSB – pojazd transportujący z własnym żurawiem [26]

W pierwszej kolejności nad przeszkodę nasuwa się przęsło pomocnicze i opiera o przeciwległy brzeg stopą podporową. Część jezdna mostu jest stopniowo budowana przez pojazd układający i wysuwana aż do pokrycia przeszkody. W odróżnieniu od mostu Dorniera, w moście BR90 GSB przęsło zasadnicze jest podwieszane pod przęsłem pomocniczym (nie jest przesuwane bezpośrednio po nim). Rozpoczynając od segmentu przęsła głównego najazdowego kolejno dołącza się przęsła główne i przesuwają je do przeciwległego brzegu, w miarę odsuwania się od układacza aż do zbudowania mostu do pożądanej długości montuje się przęsło najazdowe. Po rozłożeniu kompletnego mostu, przęsło pomocnicze jest wciągane przez układacz i stopniowo demontowane pozostawiając główny most nad przeszkodą.

DSB (Dry Support Bridge) – brytyjski most z jednym pojazdem układającym, który w czasie poniżej 90 minut przy składzie 8 członków załogi umożliwia rozłożenie mostu o długości 46 m. Na świecie począwszy od roku 2013 dostarczono do użytku już prawie 150 takich mostów [27]. Pojazd-układacz bazuje na podwoziu Rheinmetall RMMV 10x10, które jest w pełni opancerzone. Przęsło pomocnicze budowane segmentami wysuwane jest na przeciwległy brzeg i wspiera się na podporze (Rys. 22) służy ono, jako nośnik dla przesuwających się pod nim przęseł głównych (będących częścią jezdnią).



Rys. 22. Schemat rozkładania DSB [29]

Począwszy od przęsła najazdowego kolejne segmenty są nakładane żurawiem i łączone ze sobą dedykowanymi sworzniami po czym są stopniowo nasuwane poziomo nad przeszkodę. Na skrajnym przęśle głównym, które transportowane jest na przeciwległy brzeg jako pierwsze, umieszcza się najazdy (umożliwiające wjazd pojazdom osobowym lub innym o niskim prześwicie) dzięki takiemu przetransportowaniu w pierwszej kolejności najazdów, załoga nie musi ich później przenosić przez całą długość mostu. Podczas rozkładania następuje automatyczne rozwarcie aluminiowych dźwigarów przęsła tym samym dając szerokość 4,3 metra. Opuszczenie ostatniego przęsła odbywa się na linie, po czym przęsło pomocnicze jest zsuwane i odkładane na pojazdach transportowych. Na przęsłach istnieje możliwość zabudowania barierek dla użytku cywilnego. Mechanizm rozkładający może być zabudowany na dowolnym podwoziu spełniającym określone kryteria techniczne. Dotychczas z powodzeniem producent zabudował system na podwoziach [28] Oshkosh M1975 (Rys. 23), IVECO (Rys. 24) oraz MAN (Rys. 25).



Rys. 23. DSB na podwoziu OSHKOSH [28]



Rys. 24. DSB na podwoziu IVECO [28]



Rys. 25. DSB na podwoziu MAN [28]

MMK (Mostovoy Mekhanizirovanny Kompleks – mostowy kompleks zmechanizowany) – Rosyjski most wyprodukowany w celu umożliwienia przepraw o szerokości do 40 metrów z przęsłem niewykorzystującym dodatkowych podpór pośrednich przystosowany do przeszkód o głębokości powyżej zdolności ułożenia dla innych mostów zmechanizowanych (np. TMM-6). Wdrożony w 2013 roku [30] zestaw składa się z pojazdu układacza oraz od 4-ech do 6-ciu pojazdów transportowych [24] (Rys. 26) – komplekcja pojazdów zależna jest od wersji budowanego mostu (możliwość zbudowania dwóch mostów o łącznej długości 60 m [24]). Zasada działania jest zbliżona do niemieckiego mostu Dornier, gdzie przęsło pomocnicze umieszczone jest pod przęsłem zasadniczym. Wysunięte na przeciwległy brzeg przeszkody stanowi nośnik dla kolejnych segmentów przęseł głównych nakładanych żurawiem i łączonych ze sobą. Przęsła zasadnicze wykonane są ze stali o przekroju trójkątnym, po rozłożeniu dźwigarów bocznych, szerokość oferowana przez konstrukcję to 4 metry. Czas montażu 40-metrowego mostu dla załogi 11-sto osobowej to niespełna 60 minut [30].



Rys. 26. MMK pojazdy transportowe z układaczem [30]

Type 07 Medium Support Bridge – japoński most zmechanizowany stworzony by umożliwić przejazd czołgu podstawowego Type90, ponieważ most Type81 nie był w stanie zagwarantować odpowiedniej nośności. Wdrożony w 2007 roku zestaw składa się z jednego pojazdu układacza (Rys. 27) oraz 10-ciu pojazdów transportowych [31]. Pojazd bazowy Type74 jest w stanie rozwinąć prędkość do 85 km/h.



Rys. 27. Type 07 – pojazd układacz manipulujący przęsłem [31]

Ciekawy sposób rozkładania polega na tym, że przęsło pomocnicze wysuwane jest na wysokości ramy podwozia. Na jego końcu znajduje się podpora posiadająca hydrauliczną regulację kąta pochyleń, której regulacja przebiega po dostarczeniu na przeciwległy brzeg przewoźnego agregatu hydraulicznego [31]. Przed osadzeniem przęsła głównego na przęsła pomocniczym następuje otwarcie dźwigarów uzyskując tym samym szerokość jezdni równą 4,2 m, a później łączenie z kolejnymi przęsłami głównymi za pośrednictwem odpowiednich sworzni. Żuraw operowany jest z poziomu osobno zamontowanej kabiny sterowniczej. Operator zajmuje stanowisko na podstawie żurawia obracając się razem z nim [32].

7. PODSUMOWANIE

W dzisiejszych czasach światowi producenci pojazdów mostowych oferują szereg rozwiązań na podwoziu kołowym, które z powodzeniem umożliwiają pokonanie napotkanych przeszkód terenowych. Przęsło o długości 40 metrów pozwala bez problemu pokonać 87% - 97% z nich [24]. Obserwuje się tendencję do projektowania uniwersalnych systemów układających, które mogą być zaadaptowane do różnych podwozi w tym do kołowych transporterów opancerzonych. Unifikacja polega także na projektowaniu przęsła zamiennych między sobą pod kątem kinematyki, a mogących się różnić nośnością. Mosty na podwoziu kołowym posiadają zaletę nad mostami zmechanizowanymi na podwoziu gąsienicowym taką, że mogą poruszać się po drogach publicznych bez dodatkowych zezwoleń oraz bez pośrednich form transportu (lawet, wagonów kolejowych). Do poruszania się takimi pojazdami wystarczające jest prawo jazdy na pojazdy ciężarowe (kat. C/C+E). Jest to duże ułatwienie w przypadku regularnych ćwiczeń wojsk lądowych oraz akcji ratowniczych. Zestawienie podstawowych parametrów technicznych mostów kołowych (Tabela 1) pokazuje różnorodność w osiągnięciach pojazdów bazowych, które powinny być dobierane adekwatnie do warunków geograficznych danego kraju. Polska jest w stadium przygotowania produktu MS-40, który umożliwi przeprawę do 40-stu metrów przy klasie nośności MLC 70(T) / MLC 110 (W). Ciekawym kierunkiem rozwoju byłoby także zwiększenie zakresu zastosowania pojazdu układacza MS-20 poprzez opracowanie wersji mostu wieloprzęsłowego z regulowanymi podporami pośrednimi lub opracowanie przęsła lżejszego i krótszego mogącego być zaadaptowanym, na KTO Rosomak. Luką na krajowym rynku jest również brak mostu jednoprzęsłowego

o nośności MLC80. Jest to szczególnie istotne biorąc pod uwagę informacje prasowe o pozyskaniu czołgów Abrams dla SZ RP.

Tabela 1. Zestawienie wybranych mostów zmechanizowanych na podwoziu kołowym

Lp	Most	Produkcja	Typ mostu	Nośność	Masa kompletu	Pojazd bazowy	Moc silnika	Długość przęsła	Masa przęsła	Użytkownicy
1	MS-20	Polska, OBRUM	nożycowy bez podpór	MLC 70(T) MLC 110 (W)	47,9 t	Jelcz C662D.43	413 km	20 m	15 t.	Polska Wietnam
2	TMM-3	ZSRR, b.d.	nożycowy segmentowy	MLC 50	19,5 t	KrAZ-255B	240 km	10,5 m	7 t	Rosja Egipt Gruzja Ukraina
3	TMM-6	Rosja, UralVagonZavod	nożycowy segmentowy	MLC 60	36 t	MZKT-7930 8x8	500 km	17 m	b.d.	Rosja Azerbejdżan
4	DRDO Sarvatra	Indie, BEML	nożycowy segmentowy	MLC 70	b.d.	Tatra 815 VVN 8x8	235 km	15 m	b.d.	Indie
5	AM-50EX	Słowacja, Tatra/ ZTS VVU KOSICE	nożycowy segmentowy	MLC 50	25,9 t	Tatra T815-7T3R41 8x8	408 km	13,5 m	7,5 t	Słowacja Pakistan
6	GQL-111	Chiny, Norinco	nożycowy segmentowy	MLC 50	24,5 t	BeiBen XC2300 8x8	355 km	15 m	7 t	Chiny Peru Etiopia Tajlandia
7	PIRANHA 3 REB	Szwajcaria, MOWAG	nasuwany bez podpór	MLC 50	pow. 20 t.	MOWAG Piranha 3	350 km	13,8 m	4,8 t	Szwajcaria
8	SISU E13TP	Finlandia, SISU Defence / Niemcy, KMW	nasuwany bez podpór	MLC 80	26 t.	SISU E13TP	445 km	26 m	10,5 t.	Finlandia
9	SPRAT PTA2	Francja, CNIM	nasuwany bez podpór	MLC 80	51 t.	CNIM	760 km	26 m	7,5 t	Francja
10	REBS PYTHON	Hiszpania, GDELS	nasuwany bez podpór	MLC 50	26 t.	MAN HX77	440 km	13,8 m	9,5 t.	Hiszpania
11	Leguan MAN	Niemcy, MAN/KMW	nasuwany bez podpór	MLC 80	b.d.	MAN LKW 15 t. MIL GL KAT A1 8x8	350 km	26 m	10,5 t.	Holandia Niemcy Syria Singapur Turcja
12	BOXER MRAV	Niemcy, ARTEC/KMW	nasuwany bez podpór	MLC 80	38,5	BOXER MRAV 8x8	720	14 m	b.d.	Niemcy
13	Type 81	Japonia, b.d.	nasuwany segmentowy	ok. 44 t.	22,4 t.	Nanayon Shikitoku Ogata Type 74	355 km	60 m	b.d.	Japonia
14	Dornier Foldable Bridge	Niemcy, Dornier GmbH	nasuwane przęsło pomocnicze	MLC 70(T) MLC110 (W)	b.d.	MAN LKW 15 t. MIL GL KAT A1 8x8	350 km	46 m	b.d.	Niemcy Hiszpania Austria Singapur Słowenia
15	BR90	Wielka Brytania, BAE Systems	nasuwane przęsło pomocnicze	MLC 60	15 t. podwozi e	Alvis Unipower 8x8 TBT	403 km	44 m	b.d.	USA Wielka Brytania
16	DSB	Wielka Brytania, WFEL	nasuwane przęsło pomocnicze	MLC 120	45 t.	Rheinmetall MAN RMMV 10x10	440 km	46 m	37,5 t	USA Szwajcaria Afganistan Irak Korea Południowa Turcja Australia
17	MMK	Rosja, OmskTransmash	nasuwane przęsło pomocnicze	MLC 80	b.d.	Ural-535361-1012	230 km	40 m	b.d.	Rosja
18	Type 07 MSB	Japonia, Hitachi	nasuwane przęsło pomocnicze	MLC 50	25 t.	Nanayon Shikitoku Ogata Type 74	355 km	60 m	b.d.	Japonia

8. LITERATURA

- [1] Świat oręża – porównania i kontrasty – czołgi od pierwszej wojny światowej do współczesności. Wyd. MAK r. 2010 Bremen. Martin J.Dougherty
- [2] <https://www.worldwarphotos.info/gallery/germany/tanks-2-3/panzer-iv-tank/german-bridgelay-er-bruckenleger-iv/> dostęp: 11.05.2021
- [3] NO-54-A200:2021 Mosty wojskowe – Klasyfikacja i terminologia
- [4] Szelka J., Kamyk Z.: Racjonalizacja procesów technologiczno-organizacyjnych przy budowie przepraw mostowych, Etap 2. Współczesne konstrukcje mostowe w aspekcie mobilności wojsk. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej, WSOWL, Wrocław 2008.
- [5] Kuczmarski F., Zelkowski J., Gontarczyk M.: Współczesne mosty towarzyszące i szturmowe. Wymagania i rozwiązania. V Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa, Waplewo 2004, s. 553-562
- [6] <http://www.obrum.pl> dostęp: 29.12.2021
- [7] <https://old.weaponsystems.net/weaponsystem/CC06%20-%20TMM.html> dostęp: 11.05.2021
- [8] Perepravy - Uchebnoye posobiye – Jekaterynburg Wydawnictwo Uniwersytetu Uralskiego, 2017, D. V. Shunyakov, O. N. Bondarev, D. N. Bagin, K. S. Fokin
- [9] <http://saper.isnet.ru/tehnica/tmm-6.html> dostęp: 14.05.2021
- [10] The Russian Way of War. Force Structure, Tactics and Modernization of the Russian Ground Forces, Dr. Lester W.Grau, Charles K.Bartles, Foreign Military Studies Office 2016
- [11] <https://frontierindia.com/indian-army-inducts-drdo-developed-10-metre-short-span-bridge> dostęp: 14.05.2021
- [12] Czasopismo „Wojsko i Technika” nr 2/2017 luty, Nowości rynku militarnej motoryzacji w Polsce w 2016 roku
- [13] Zdjęcie <http://www.army.cz> – Ministerstwo Obrony Czeskiej Republiki, Marie Křížová dostęp: 14.05.2021
- [14] <http://steeltrussbridge.sell.everychina.com/p-93266724-15m-75m-heavy-mechanized-bridge-self-fold-and-unfold-for-tanks-artilleries.html> dostęp: 14.05.2021
- [15] https://www.gdels.com/photo_gallery.php dostęp: 10.05.2021
- [16] <https://en.wheelsage.org/sisu/e15/18831/pictures/cmflta> dostęp: 15.04.2021

-
- [17] <https://cnim.com/en/enhanced-operational-performance-french-armys-sprat-bridging-systems> dostęp: 15.05.2021
- [18] <https://www.pioniertechnik.de/rebs.htm> dostęp: 12.05.2021
- [19] <http://kmweg.de> dostęp: 05.2021
- [20] Surviving the ride: a pictorial history of South African-manufactured mine-protected vehicles, Steve Camp; H-R Heitman, Pinetown South Africa r. 2014 str. 114
- [21] <https://www.thinkdefence.co.uk/boxer-armoured-vehicle-british-army/boxer-armoured-vehicle-details> dostęp: 10.05.2021
- [22] <https://esut.de/2020/11/fachbeitraege/23630/gefechtsfeldbruecke-in-der-boxer-klasse/> dostęp: 09.05.2021
- [23] <https://ja.wikipedia.org/wiki/81%E5%BC%8F%E8%87%AA%E8%B5%B0%E6%9E%B6%E6%9F%B1%E6%A9%8B> dostęp: 20.05.2021
- [24] Mosty wsparcia Część 1 – Europejskie mosty wsparcia o rozpiętości 40 m, Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe, Zbigniew Kamyk, (50) nr 4, 2018.
- [25] <https://www.flickr.com/photos/pzbrig15/39970622262/in/photostream> dostęp: 19.05.2021
- [26] <https://www.thinkdefence.co.uk/2012/02/uk-military-bridging-equipment-br90-and-rebs> dostęp: 11.05.2021
- [27] <https://www.joint-forces.com/uk-news/40880-wfel-now-sole-bidder-for-uk-project-tyro> dostęp: 11.05.2021
- [28] <https://www.wfel.com/en/products/dry-support-bridge/5> dostęp: 11.05.2021
- [29] WFEL – DSB Dry Support Bridge – oficjalna broszura informacyjna r. 2009
- [30] <http://transmash-omsk.ru/node/239> dostęp: 19.05.2021
- [31] https://rikuzi-chousadan.com/soubihin/kakyou/type07kidou_brig.html dostęp: 04.05.2021
- [32] Materiał promocyjne Ground Self-Defence Force publikowane w serwisie YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=5e13F9v7LWQ> dostęp: 04.05.2021
- [33] <https://web.archive.org/web/20130117230444/http://www.beiben-truck.com/history.html> dostęp: 20.05.2021

Marcin LUDWIG

ZAKŁÓCENIA ELEKTROMAGNETYCZNE W INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH POJAZDÓW WOJSKOWYCH

Streszczenie. W niniejszym artykule przedstawione zostały trzy kanały sprzężeń mogących przenosić zakłócenia między urządzeniami w pojazdach wojskowych. Są to sprzężenia przenoszone przez pole elektryczne, pola magnetyczne oraz pola elektromagnetyczne. Problematyce każdego z tych sprzężeń poświęcony został oddzielny rozdział, gdzie omówione zostały przyczyny ich występowania oraz sposoby ich eliminowania. Artykuł wzbogacony został również o wzory, schematy oraz przejrzyste rysunki, które jeszcze bardziej przybliżają zaistniałe zjawiska związane z kompatybilnością elektromagnetyczną.

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, zakłócenia, EMC, sprzężenia pojemnościowe, sprzężenia magnetyczne, sprzężenia elektromagnetyczne, ekranowanie.

1 WPROWADZENIE

Problem kompatybilności elektromagnetycznej dotyczy obecnie większości projektowanych układów elektrycznych i elektronicznych. Temat dotyczy zarówno pojedynczych urządzeń jak i całych złożonych wyrobów, w tym także tych wykorzystywanych w przemyśle zbrojeniowym. Każdy projektant instalacji elektrycznych lub układów elektronicznych pojazdów militarnych powinien, więc mieć jasne wyobrażenie o sprzężeniach elektromagnetycznych mogących wystąpić w danym środowisku. Tymczasem okazuje się, że podczas konstruowania wyrobów elektrycznych/elektronicznych można z łatwością popełnić szereg niepotrzebnych błędów, które mogą spowodować nieprawidłowe ich działanie. Współczesna technika wymaga od projektanta doprowadzenia układu do takiego stanu, żeby spełniał wszystkie, coraz to ostrzejsze normy dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej. Zaniedbanie podstawowych reguł projektowych w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej może wiązać się także ze zwiększonymi kosztami produkcji.

Kompatybilność elektromagnetyczną, określaną często skrótem EMC (*ang. ElectroMagnetic Compatibility*) [4], należy rozumieć, jako zdolność danego urządzenia elektrycznego/elektronicznego do prawidłowej pracy w określonym środowisku elektromagnetycznym przy jednoczesnym nieemitowaniu przez samo urządzenie zakłóceń mogących wpłynąć na nieprawidłową pracę innych urządzeń pracujących w tym samym środowisku. Dane urządzenie nie może, więc emitować szkodliwych zakłóceń, a także musi być na te zakłócenia odporne. Jeżeli dane urządzenie nie spełnia wymogów kompatybilności elektromagnetycznej to może wysyłać szkodliwe zakłócenia, powodujące nieprawidłową pracę innych urządzeń znajdujących się w tym samym otoczeniu.

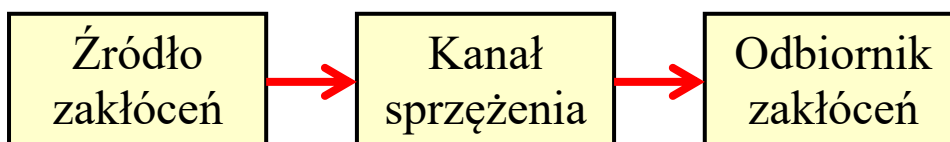
Wyróżnia się trzy kryteria, które muszą spełniać urządzenia, aby mogły pracować w środowisku narażonym na zakłócenia elektromagnetyczne [3]:

- projektowane urządzenie nie może generować zakłóceń mogących powodować nieprawidłowe działanie innych urządzeń,
- projektowane urządzenie nie może być podatne na zaburzenia wytwarzane przez inne urządzenia i zjawiska pochodzenia naturalnego (np. wyładowania atmosferyczne),
- projektowane urządzenia nie może generować zakłóceń wewnętrznych, mogących zakłócić jego własną pracę.

W niniejszym artykule przedstawione są najbardziej podstawowe i praktyczne sposoby redukcji zakłóceń, które mogą ograniczyć sprzężenia pomiędzy obwodami elektrycznymi generującymi zakłócenia a obwodami zakłócanymi.

2 PODSTAWOWE ŹRÓDŁA ZAKŁÓCEŃ

Do powstania problemu zakłóceń niezbędne są trzy elementy. Pierwszym z nich jest źródło zakłóceń, drugim jest odbiornik podatny na zakłócenia, a trzecim jest kanał sprzężenia służący do przenoszenia zakłóceń ze źródła do odbiornika (Rys. 1):



Rys. 1. Typowy tor zakłóceń [5]

Istotą zrozumienia problemu kompatybilności elektromagnetycznej jest określenie przez konstruktora, jaki element (instalacja) może być źródłem zakłóceń, jaki odbiornik i w jaki sposób źródło może sprzęgać się z odbiornikiem. Ogółem wyodrębnia się cztery podstawowe źródła sprzężeń mogących przenosić zakłócenia między urządzeniami [3]:

- zakłócenia przenoszone przez pole elektryczne,
- zakłócenia przenoszone przez pole magnetyczne,
- zakłócenia przenoszone przez pole elektromagnetyczne,
- zakłócenia wywoływane przez pasożytnicze parametry użytych elementów.

Nie ulega wątpliwości, że wyżej wymienione zakłócenia są ściśle powiązane z wiedzą znaną z podstaw elektrotechniki i obwodami RLC. Zmieniające się w czasie pole elektryczne występujące, jako sprzężenie pomiędzy dwoma układami przedstawia się za pomocą kondensatora, a zmieniające się w czasie pole magnetyczne, które sprzęga dwa układy jest reprezentowane przez indukcyjność. Pole elektromagnetyczne stanowi natomiast kompilację obydwóch tych pól. Nie można również zapomnieć o zjawiskach pasożytniczych występujących w układach elektrycznych/elektronicznych, które mogą mieć zarówno charakter rezystancyjny, indukcyjny jak i pojemnościowy. W niniejszym artykule opisane zostaną trzy z czterech wymienionych sprzężeń, tj.: zakłócenia przenoszone przez pola elektryczne, magnetyczne oraz elektromagnetyczne.

3 ZAKŁÓCENIA PRZENOSZONE PRZEZ POLA ELEKTRYCZNE

Zakłócenia przenoszone przez pola elektryczne przedstawia się na schemacie zastępczym przy użyciu symbolu kondensatora, którego wielkością charakterystyczną jest pojemność C . Wzór na pojemność kondensatora płaskiego w literaturze ma postać [1]:

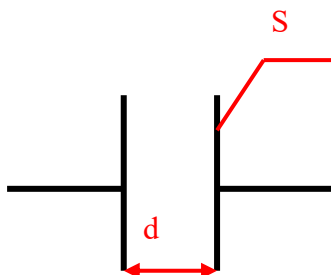
$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d}$$

gdzie:

ϵ_0 – przenikalność elektryczna próżni,

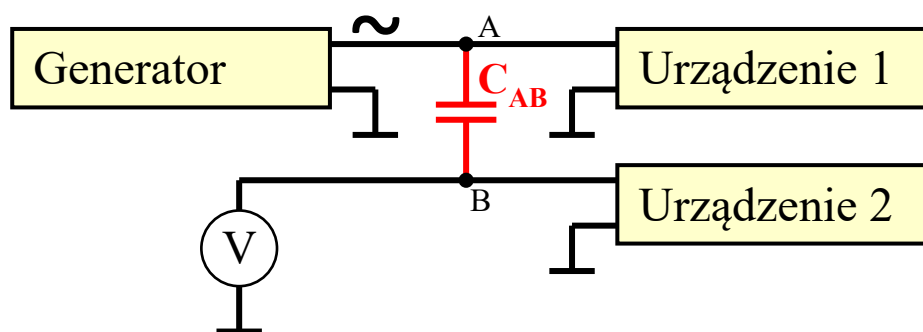
ϵ_r – przenikalność elektryczna względna dielektryka,

S – pole powierzchni okładek kondensatora,
 d – odległość pomiędzy okładkami kondensatora.



Rys. 2. Kondensator płaski [3]

Okładkami modelowanego w formie kondensatora zakłócenia mogą być jakiegokolwiek metalowe płyty (przewodniki) rozdzielone warstwą izolatora. W praktyce przewodnikami mogą być np. żyły przewodów elektrycznych rozdzielone dielektryczną izolacją lub ścieżki na płytkach drukowanych (PCB) rozdzielone laminatem. To właśnie pomiędzy odpowiednio blisko siebie położonymi przewodami (ścieżkami) może pojawić się sprzęgające je pole elektryczne (Rys. 3).



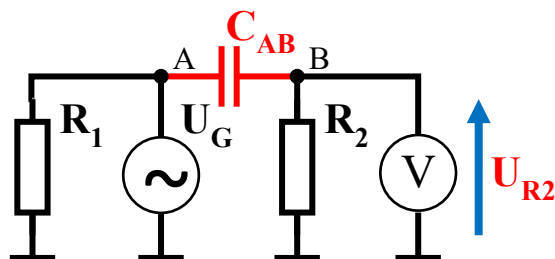
Rys. 3. Model fizyczny sprzężenia pojemnościowego między dwoma przewodami

Tabela 1. Orientacyjne wartości pojemności w układach sprzężonych przez pole el. [3]

Elementy sprzężone przez pole elektryczne	Pojemność
Kabel: sprzężenie ekran – żyła	70-120 pF/m
Kabel: sprzężenie żyła – żyła	20-100 pF/m
Złącze: sprzężenia pin - pin	1-3 pF

Powyższa tabela przedstawia szacunkowe wartości pojemności w realnych układach. Na pierwszy rzut oka prezentowane wartości wydają się pomijalnie małe. Należy jednak pamiętać, że w przewodach, nie zawsze płynie prąd stały. Ogromne znaczenie ma tutaj także kształt sygnału. Im sygnał ma bardziej strome zbocza tym posiada więcej składowych o częstotliwościach wielokrotnie większych od częstotliwości podstawowej. Dlatego szczególną uwagę należy zwrócić na sygnał prostokątny wykorzystywany masowo w systemach transmisji danych.

W celu dalszych rozważań obwód z Rys. 3 można przedstawić w formie schematu zastępczego (Rys. 4) [3].



Rys. 4. Schemat zastępczy sprzężenia pojemnościowego między dwoma przewodami

Rezystancje R_1 i R_2 to rezystancje wewnętrzne urządzeń 1 i 2. Z łatwością można teraz zauważyć, że reaktancja kondensatora sprzęgającego C_{AB} wraz z rezystancją wewnętrzną urządzenia 2 (R_2) tworzą dzielnik napięciowy mający charakter filtra górnoprzepustowego. Oznacza to, że generowane napięcia na odbiorniku (w tym przypadku na rezystancji R_2) będzie zależęć od częstotliwości f sygnału w obwodzie 1 i pojemności C_{AB} sprzęgającej dwa obwody. Napięcie zakłócenia można, więc obliczyć na podstawie wzorów:

$$U_{R2} = \frac{R_2}{\frac{1}{j\omega C_{AB}} + R_2} U_G$$

$$\omega = 2\pi f$$

gdzie:

ω – pulsacja sygnału,

f – częstotliwość sygnału.

Tabela 2. Analiza układu dla zmieniających się wartości częstotliwości sygnału lub pojemności sprzęgającej

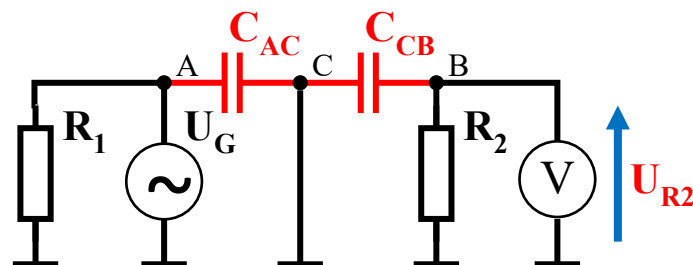
Analiza zakłóceń układu dla zmiennej wartości pojemności sprzęgającej C_{AB}			Analiza zakłóceń układu dla zmiennej wartości częstotliwości sygnału f		
$R_2 = \text{const}$	$C_{AB} \nearrow$	$U_{R2} \nearrow$	$R_2 = \text{const}$	$f \nearrow$	$U_{R2} \nearrow$
$f = \text{const}$	$C_{AB} \checkmark$	$U_{R2} \checkmark$	$C_{AB} = \text{const}$	$f \checkmark$	$U_{R2} \checkmark$
$U_G = \text{const}$			$U_G = \text{const}$		

Na podstawie powyższych analiz można dojść do wniosku, że skutecznymi metodami eliminacji sprzężenia pojemnościowego będą:

- zmniejszenie pojemności sprzęgającej, poprzez zwiększenie odległości pomiędzy przewodami lub ścieżkami,
- zmniejszenie częstotliwości przesyłanego sygnału.

W dobie dzisiejszej elektroniki obie te propozycje wydają się być jednak niedorzeczne. Dzisiejsze wymagania, co do elektroniki powiązane są w końcu z szeroko pojętą miniaturyzacją sprzętu. Stawia się także na coraz to szybsze systemy transmisji danych. Z pomocą przychodzi jednak ekranowanie.

Ekranowanie to usytuowana wokół elementów (kompletnych urządzeń lub przewodów) metalowa osłona, podłączona do masy, zapieniająca ochronę przed niepożądanym wpływem pól elektrycznych. Osłania także urządzenia zewnętrzne przed zakłóceniami powodowanymi przez zaekranowane urządzenie.

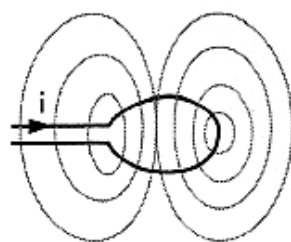


Rys. 5. Schemat zastępczy sprzężenia pojemnościowego oddzielonego ekranem [3]

Jak widać na Rys. 5 oddzielenie oddziaływujących na siebie przewodów ekranem podłączonym do masy (punkt C) dzieli dotychczasową pojemność C_{AB} na dwie pojemności C_{AC} i C_{CB} . W takim przypadku sygnał z generatora docierający do rezystora R_2 jest już znacząco słumiony. Pojemności C_{AC} i C_{CB} reprezentują tu pomijalne pojemności sprzęgające oba obwody do ekranu (masy).

4 ZAKŁÓCENIA PRZENOSZONE PRZEZ POLA MAGNETYCZNE

Zakłócenia przenoszone przez pola magnetyczne przedstawia się na schemacie zastępczym przy użyciu symbolu cewki, której wielkością charakterystyczną jest indukcyjność L . Prąd płynący przez cewkę powoduje powstanie pola magnetycznego wokół niej. Zasada ta dotyczy także cewek jednozwojowych (tzw. pętli) [3]. Oznacza to, że źródłem pola magnetycznego może być też każdy zamknięty obwód elektryczny (przewód lub ścieżka drukowana), w którym płynie prąd. W zależności od charakteru prądu będziemy mieć do czynienia ze stałym lub zmiennym polem magnetycznym.



Rys. 6. Pole magnetyczne wytwarzane w cewce jednozwojowej [3]

Tego typu pętle mogą okazać się także doskonałymi odbiornikami zakłóceń. Umieszczenie jej w zmiennym polu magnetycznym spowoduje zaindukowanie w niej napięcia zgodnie z poniższym wzorem (Rys. 8) [5]:

$$U = j\omega B A \cos\theta$$

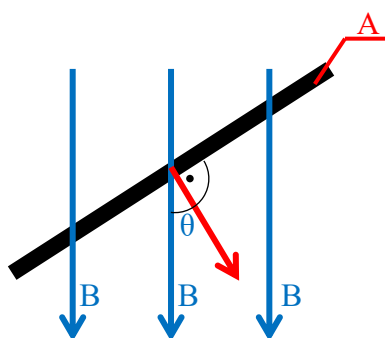
gdzie:

B – wartość skuteczna zmieniającej się indukcji magnetycznej,

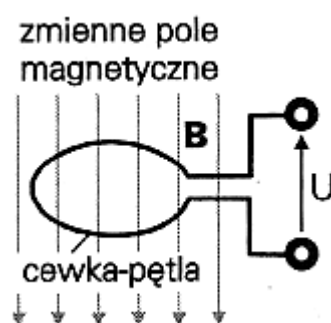
ω – pulsacja indukcji magnetycznej,

A – powierzchnia zamkniętej pętli,

θ – kąt, jaki tworzy płaszczyzna pętli z liniami sił pola magnetycznego (Rys. 7).

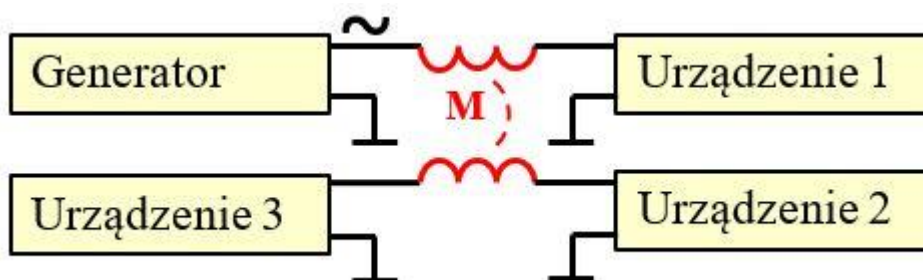


Rys. 7. Zależność kąta, jaki tworzy płaszczyzna pętli z liniami sił pola magnetycznego



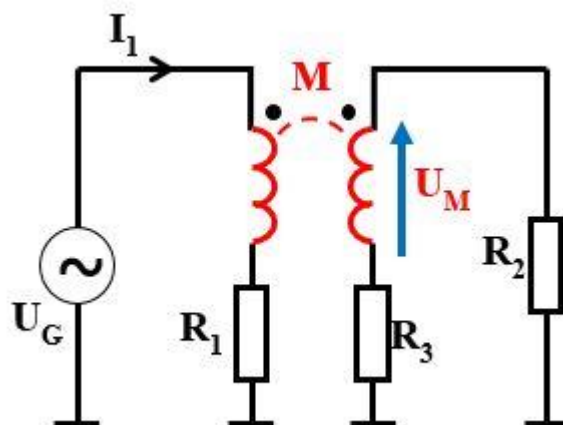
Rys. 8. Indukowane w pętli napięcie spowodowane umieszczeniem jej w zmiennym polu magnetycznym [3]

Pętle przewodowe mogą pełnić rolę zarówno obwodów nadawczych jak i odbiorczych zakłóceń. Jest to szczególnie niebezpieczne, gdy w zamkniętym obwodzie nadawczym będzie płynął prąd zmienny będący źródłem zmiennego pola magnetycznego. Możemy mieć wtedy do czynienia ze sprzężeniem magnetycznym cewek znanym z transformatorów [3], gdzie rolę uzwojenia pierwotnego będzie pełnił obwód nadawczy, zaś rolę uzwojenia wtórnego obwód odbiorczy (Rys. 9).



Rys. 9. Model fizyczny sprzężenia magnetycznego między dwoma przewodami

Obwód z Rys. 9 można przedstawić w formie schematu zastępczego jak na Rys. 10.



Rys. 10. Schemat zastępczy sprzężenia magnetycznego między dwoma przewodami [5]

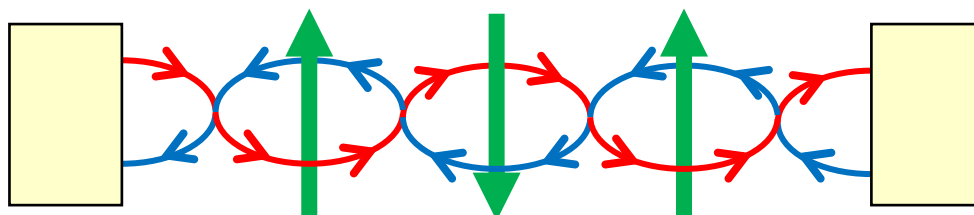
Rezystancje R_1 - R_3 to rezystancje wewnętrzne urządzeń 1-3. Napięcie indukowane w obwodzie zakłócanym (U_M) można, więc wyrazić przy pomocy indukcji wzajemnej między dwoma obwodami, mianowicie [5]:

$$U_M = j\omega M I_1$$

Na podstawie powyższych analiz można dojść do wniosku, że skutecznymi metodami eliminacji sprzężenia magnetycznych będą:

- zwiększenie odległości między pętlą nadawczą i odbiorczą, co spowoduje zmniejszenie ich współczynnika sprzężenia,
- odpowiednie ustawienie pętli odbiorczej względem linii sił pola magnetycznego,
- zmniejszenie powierzchni pętli odbiorczej.

Znakomitym sposobem walki ze sprzężeniami magnetycznymi jest zastosowanie przewodów w postaci skrętki [5]. Skrętka charakteryzuje się tym, że posiada dwa przewody, które są naładowane polem magnetycznym o przeciwnych kierunkach. Warunkiem uzyskania takiego efektu jest jednak to, że oba przewody muszą być częścią tego samego obwodu (prąd powrotny musi płynąć jednym z przewodów pary skręconej). Elektrony przepływają wtedy ze źródła do celu jednym przewodem, a wracają drugim. Kiedy dwa takie przewody są splecione pola magnetyczne kolejnych półskrętek znoszą się. Jest to tak zwany efekt równoważenia pola magnetycznego. Skrętki zmniejszają również niemal do zera powierzchnię pętli magnetycznej, redukując prawie całkowicie wpływy wszystkich zewnętrznych pól magnetycznych.



Rys. 11. Zasada działania przewodów wzajemnie splecionych (skrętki) i ich wpływ na redukcję pola magnetycznego

5 ZAKŁÓCENIA PRZENOSZONE PRZEZ POŁA ELEKTROMAGNETYCZNE

Pole elektromagnetyczne (PEM) jest układem dwóch opisywanych wcześniej pól, a więc pola elektrycznego i magnetycznego. Istnieją dwa rodzaje źródeł zakłóceń elektromagnetycznych [4]:

- naturalne (np. wyładowania atmosferyczne, zjawiska galaktyczne wynikające z aktywności słońca czy innych obiektów kosmicznych),
- sztuczne (wszystko to, co związane jest wykorzystywaniem energii elektrycznej w tym szczególnie w komunikacji radiowej).

Dotychczasowe opisane sprzężenia – pojemnościowe i indukcyjne – były sprzężeniami dominującymi w polu bliskim (oddziaływujące na siebie układy znajdowały się w niewielkiej odległości od siebie). Natomiast oddziaływania przenoszone przez pole elektromagnetyczne dominują w polu dalekim, co oznacza, że mogą być przenoszone na znaczne odległości.

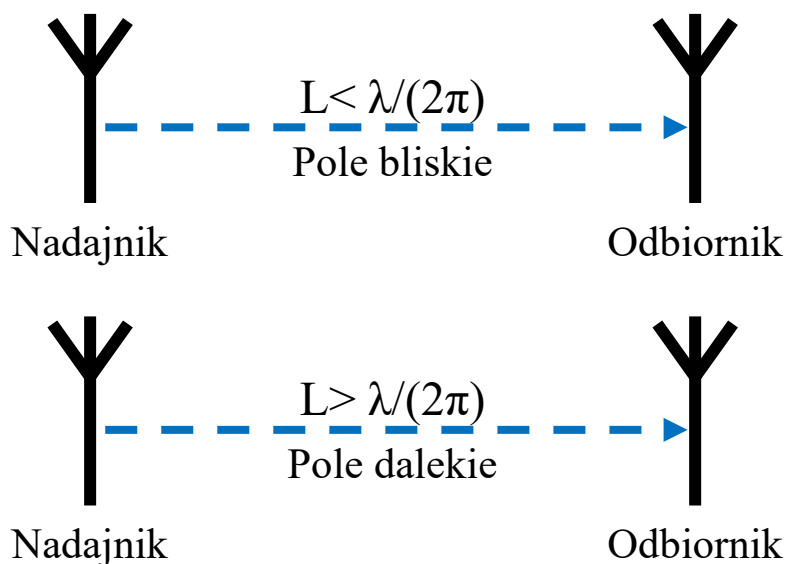
Jako charakterystyczną odległość graniczną pomiędzy polem bliskim i dalekim przyjmuje się wartość $\lambda/(2\pi)$ [5], gdzie literą λ oznacza się wartość długości fali. Długość fali można natomiast wyznaczyć na podstawie wzoru [2]:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

gdzie:

c – prędkość światła (299 792 458 m/s \approx 300 000 000 m/s),

f – częstotliwość fali.

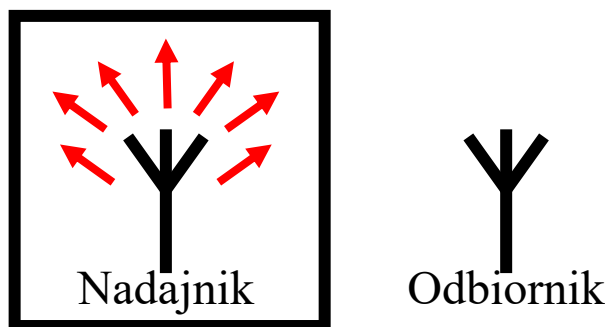


Rys. 12. Zależność charakteru pola od odległości pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem

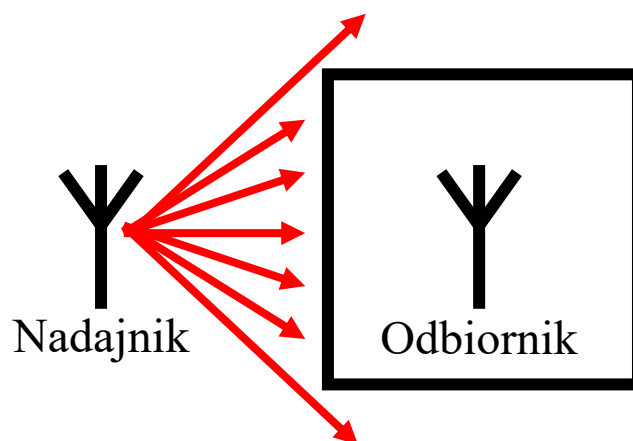
Kluczowe znaczenie w zakłóceniach elektromagnetycznych ma odległość między źródłem i ich odbiornikiem. Jeśli odległość jest większa od wspomnianej długości charakterystycznej, to zakłócenia będą się przenosić drogą radiową. Wartość odległości charakterystycznej zależy natomiast ściśle od częstotliwości fali. Wraz ze wzrostem częstotliwości skraca się długość fali.

Źródłem fali elektromagnetycznej, zwanej często falą radiową [3], może stać się każdy obwód, w którym płyną prądy zmienne wysokiej częstotliwości. Natomiast każde inne urządzenie w postaci przewodu lub pętli, które znajduje się w tym polu staje się odbiornikiem tych zakłóceń. Pole elektromagnetyczne będzie powodować w odbiorniku indukowanie napięć i prądów o częstotliwościach radiowych. Samo źródło zakłóceń może być oddalone od odbiornika o wiele kilometrów. Najczęstszym źródłem zakłóceń są obwody, gdzie występują sygnały o stromych zboczach.

Pola elektromagnetyczne można tłumić za pomocą metalowego ekranu [3], który powinien być podłączony do masy urządzenia. W praktyce dla urządzeń często stosuje się obudowy wykonane z blachy cynkowanej lub cynowanej. Można stosować również rozwiązania w postaci mat lub farb ekranujących. Taki ekran stanowi metaliczne rozdzielanie dwóch obszarów przestrzeni. Ekran może być używany zarówno do ograniczenia przestrzeni występowania pól elektromagnetycznych, w przypadku, gdy otaczają źródła zakłóceń (Rys. 13), a także mogą być stosowane do zachowania promieniowania na zewnątrz pewnego obszaru (Rys. 14). W środowiskach podatnych na wzajemne oddziaływanie zaleca się ekranowanie kompletnych urządzeń jak i łączących je obwodów elektrycznych. Ekranowanie może być stosowane do źródła zakłóceń, odbiornika zakłóceń lub zarówno do jednego jak i do drugiego jednocześnie.



Rys. 13. Ekran obejmujący źródło w celu uniemożliwienia zakłócenia innego urządzenia [5]



Rys. 14. Ekran obejmujący odbiornik w celu uniemożliwienia przenikania do niego zewnętrznych zakłóceń [5]

Warto jednak pamiętać, że wszelkie otwory w takich obudowach zmniejszają skuteczność ekranowania. Znajdujące się w nich pokrywy, szwy czy otwory na przewody, złącza i przełączniki są „oknem na świat” [3] dla zakłóceń. Należy, więc zapewnić maksymalne ekranowanie poprzez połączenia wykonane jednolitym spawaniem lub lutowaniem. Połączenia śrubowe powinny być skręcone możliwie najściślej. Należy stosować na połączeniach przewodzących uszczelki przeciwzakłóceniamiowe, aby zapewnić ciągłość elektryczną. Metaliczne miejsca styków powinny być oczyszczone z farby, tlenków i powłok izolujących, a także zabezpieczone przed korozją.

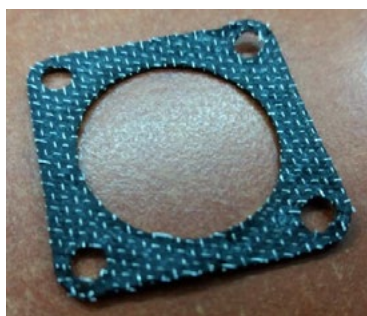
Opisywane uszczelnione obudowy zapewniają ochronę przed polem elektromagnetycznym, jednak sygnały mogą przenikać do jej wnętrza także poprzez przewody [3]. Dlatego wszystkie doprowadzenia wchodzące i wychodzące z ekranowanej obudowy powinny być objęte odpowiednią filtracją w celu uniemożliwienia przechodzenia zakłóceń. Dotyczy to zarówno przewodów przesyłających sygnał użyteczny jak i zasilający. Szczególnie skuteczne są filtry typu LC. Dodatkowo kluczowe przewody powinny być także ekranowane. Jeszcze lepszą metodą tłumienia zakłóceń elektromagnetycznych w czułych układach jest zastosowanie specjalnych przepustów kablowych. Zapewniają one lepsze parametry ekranowania. Takie przepusty są swego rodzaju kondensatorami, które tłumią sygnały wysokiej częstotliwości do masy.

6 ROZWIĄZANIA PRZECIWKAKŁÓCENIOWE STOSOWANE W INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH POJAZDÓW MILITARNYCH

Znajomość opisanych we wcześniejszych rozdziałach zakłóceń i metod ich eliminacji jest szczególnie istotna przy projektowaniu instalacji elektrycznych pojazdów militarnych, od których wymaga się szczególnie wysokiej skuteczności i niezawodności na polach walki.

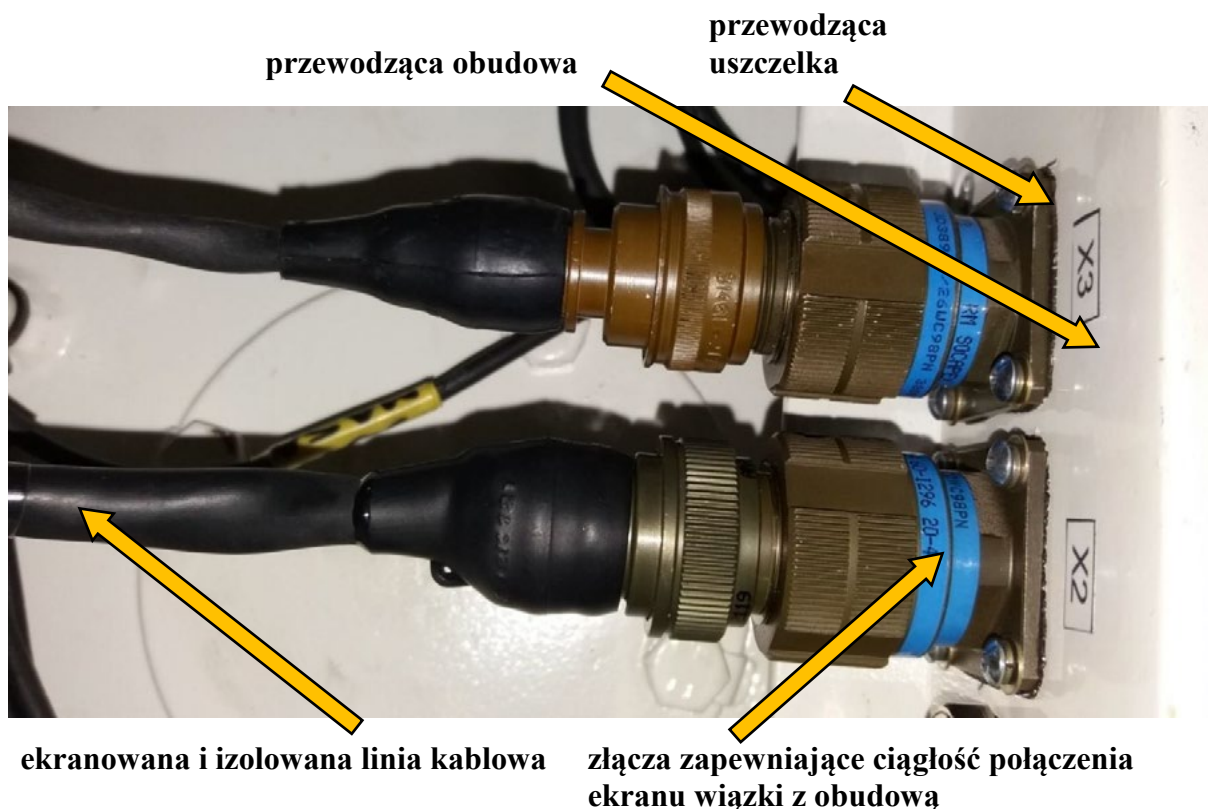
Typowa instalacja elektryczna w pojazdach militarnych składa się z sensorów pomiarowych, urządzeń sterowanych, szaf sterowniczych oraz wiązek kablowych łączących poszczególne obiekty w ich lokalizacjach. W przypadku sensorów oraz urządzeń sterowanych najczęstszym zadaniem projektanta jest odpowiedni ich dobór z katalogów producentów. Urządzenia te powinny spełniać normę wojskową NO-06-A200:2012 (Kompatybilność elektromagnetyczna – Poziomy dopuszczalne emisji ubocznych i odporności na narażenia elektromagnetyczne). Natomiast ze względu na dużą indywidualność projekt szaf sterowniczych i wiązek kablowych leży już po stronie projektanta.

Obudowy szaf sterowniczych dobiera się najczęściej z katalogów, w których producent zapewnia o skutecznej separacji elektromagnetycznej (ekranie) pomiędzy urządzeniami montowanymi wewnątrz i na zewnątrz nich (Norma wojskowa NO-06-A201:2009 - Kompatybilność elektromagnetyczna – Tłumienność obiektów ekranujących – Wymagania). Części składowe takiej skrzynki (drzwi, korpus) muszą być, w takim przypadku połączone ze sobą za pomocą elektroprzewodzącej uszczelki. Skuteczność ekranowania powinien zapewniać także jednolity spaw, a także połączenie obudowy za pomocą przewodu uziemiającego z masą (korpusem) pojazdu wojskowego. W przypadku wykonywania jakiegokolwiek obróbki mechanicznej takiej skrzynki (np. wiercenia otworów) dba się o ciągłość ekranowania, tj. stosuje się uszczelki przewodzące (EMC) (Rys. 15) i przepusty kablowe, miejsca styków obudowy ze złączami lub końcówkami oczkowymi oczyszcza się z farby, a połączenia śrubowe mocno dokręca.



Rys. 15. Przykładowa uszczelka przewodząca zapewniająca ciągłość elektryczną złącza i obudowy urządzenia

Linie kablowe muszą być zaprojektowane tak, aby łączyć urządzenia, zapewniając przy tym niezawodną komunikację. Stosuje się rozwiązania, spełniające rygorystyczne wymagania wojskowe, ze szczególnym naciskiem na ekranowanie elektromagnetyczne. W tym celu na określony splot wzajemnie skręconych przewodów nakłada się w pierwszej kolejności oplot będący ekranem przeciwzakłóceniovym. Następnie na ekranie obkurcza się koszulkę termokurczliwą, która osłania wiązkę przed uszkodzeniami mechanicznymi, usztywnia oraz zapewnia ochronę przed płynami hydraulicznymi. Każda z takich linii kablowych zakończona jest wyspecjalizowanymi wtyczkami w standardzie militarnym (np. MIL-DTL-38999 series III). Są to wtyczki posiadające dużą wytrzymałość temperaturową, odporne na wibracje, posiadające uszczelnienie IP68. Wewnątrz nich znajdują się miedziane styki. Ich korpus oraz jego połączenie z oplotem wiązki zapewniają doskonałą zdolność ekranującą. Wtyczki uszczelnia się dodatkowymi osłonami termokurczliwymi. Odpowiedniki wtyczek w szafach sterowniczych nazywane są uchwyty, które spełniają również rygorystyczne wymagania.



Rys. 16. Przykład realizacji uszczelnień przeciwzakłóceniovych EMC w przemyśle zbrojeniowym

We współczesnych pojazdach militarnych często spotyka się również linie służące do szybkiej transmisji danych. Mają one najczęściej charakter skrętki dwuprzewodowej owiniętej dodatkowym ekranem. W takim przypadku wymaga się stosowania specjalnych złączy (wyczek/uchwyty) z wewnętrznymi kontaktami ekranowanymi.

7 PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule zostały opisane trzy kanały sprzężeń mogących przenosić zakłócenia między urządzeniami w pojazdach militarnych, tj.: sprzężenia przenoszone przez pole elektryczne, magnetyczne oraz elektromagnetyczne. Najskuteczniejszą metodą eliminacji sprzężeń przez pole elektryczne jest ekranowanie przewodów, linii kablowych lub kompletnych urządzeń. W przypadku sprzężeń przez pole magnetyczne zaleca się stosowanie skrętek przewodowych zarówno w obwodach nadawczych jak i odbiorczych oraz ustawianie pętli odbiorczej pod kątem 90° względem linii sił pola magnetycznego. Najbardziej kłopotliwe w eliminacji są sprzężenia poprzez pole elektromagnetyczne. Do ich wyeliminowania, poza standardowym ekranowaniem, należy zadbać o hermetyczność elektromagnetyczną instalacji - stosować uszczelki przewodzące (EMC) w miejscach występowania złączy. Same zaś obudowy powinny być wykonane jednolitym spawaniem, a połączenia śrubowe powinny być skręcone możliwie mocno. Metaliczne miejsca styków połączeń przewodzących powinny być oczyszczone z farby.

8 LITERATURA

- [1] Bolkowski S., „Elektrotechnika”, Wydawnictwa Szkole i Pedagogiczne, Warszawa 2005;
- [2] Charoy A., „Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych” Tom 1-4. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999;
- [3] Górecki P., Elektronika Praktyczna (czerwiec 2003- listopad 2004), cykl artykułów „O paskudztwach i czarodziejach, czyli zakłócenia w układach elektronicznych”;
- [4] Machczyński W., „Wprowadzenie do kompatybilności elektromagnetycznej”. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004;
- [5] Ott Henry W., „Metody redukcji zakłóceń i szumów w układach elektronicznych”. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1979;

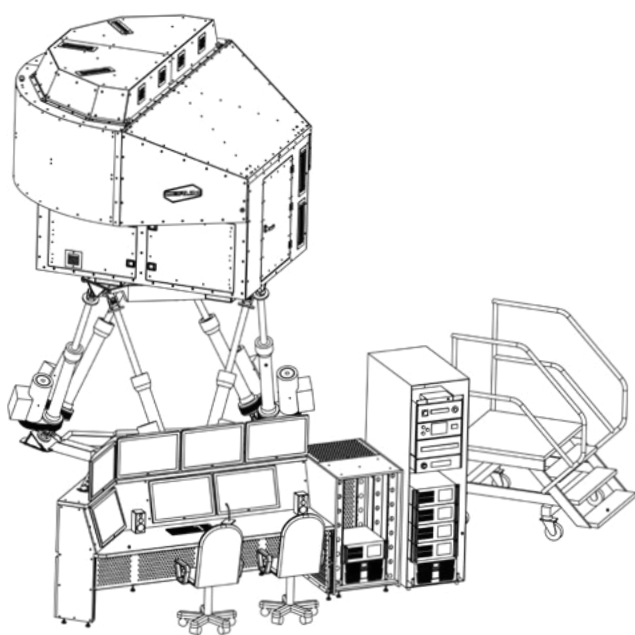
Badania i rozwój

OBRUM prowadzi kompleksowe prace naukowo-badawcze i badawczo-rozwojowe, których celem jest przygotowanie dokumentacji konstrukcyjnej, umożliwiającej podjęcie produkcji na skalę przemysłową nowych lub zmodernizowanych wyrobów.

W OBRUM podejmujemy się realizacji prac i projektów, które mają duże znaczenie dla rozwoju i unowocześnienia sprzętu, będącego już na wyposażeniu Polskich Sił Zbrojnych, a przede wszystkim przebadaniu i wdrożeniu do SZRP nowoczesnego sprzętu spełniającego wymagania klienta. Głównym adresatem prac są wojska lądowe - w tym zmechanizowane - pancerne, radiolokacyjne i inżynieryjne.

Doświadczona kadra naukowa Ośrodka pozwala na podejmowanie działań polegających na rozwiązywaniu problemów naukowych, przekładając doświadczenie na jakość i niezawodność wytwarzanych wyrobów.

Jako jedna z najbardziej unikalnych placówek naukowych i badawczo-rozwojowych w kraju, OBRUM aktywnie uczestniczy w Programach Modernizacji Sił Zbrojnych RP. Ośrodek, stanowi badawczo - rozwojowe zaplecze Polskiej Grupy Zbrojeniowej, dysponuje kompetencjami obejmującymi: projektowanie, modelowanie, prototypowanie oraz badania.



Obszary specjalizacji OBRUM obejmują:

- mosty towarzyszące na podwoziach samochodowych i gąsienicowych,
- pojazdy inżynieryjne,
- modułowe platformy gąsienicowe,
- platformy stacji radiolokacyjnych,
- konstrukcje i projektowanie mechanicznych układów nośnych,
- analizy wytrzymałościowe przy użyciu metody elementów skończonych,
- projekty układów hydrauliki siłowej,
- projekty zautomatyzowanych systemów sterowania i diagnostyki pojazdów,
- projektowanie i konstruowanie oparte na modelowaniu 3D,
- integracje systemów, pierwsze uruchomienia,
- dokumentację towarzyszącą pojazdów.



Działalność poszerzana jest o nowe technologie (e-learning) i obszary działalności na rynku cywilnym. W ramach prac badawczo-rozwojowych Biuro Symulatorów OBRUM posiada kompetencje w zakresie:

- wytwarzania symulatorów i trenażerów,
- zestawy wsparcia szkolenia (symulatory i trenażery dowolnych pojazdów, maszyn i urządzeń) m.in. do kołowych i gąsienicowych pojazdów bojowych,
- wykorzystywania rzeczywistości poszerzonej na potrzeby profesjonalnych aplikacji serwisowych, informacyjnych oraz diagnostycznych,
- autonomii,
- tworzenia interaktywnych instrukcji obsługi produktów i multimedialnych aplikacji proceduralnych,
- wykorzystywania nowoczesnych środowisk do wytwarzania oprogramowania
- opracowywania i rozwijania metodologii wykorzystania zaawansowanych technik wizualizacyjnych w projektowaniu inżynierskim z wizualizacją 3D w skali 1:1 (CAVE-3D),
- projektowania układów hydrauliki siłowej proporcjonalnej oraz dwustanowej,
- projektowania instalacji elektrycznych dedykowanych do wyrobów,
- zautomatyzowanych systemów sterowania i diagnostyki pojazdów.

Produkty OBRUM, powstające w ścisłej współpracy z MON, już od ponad 50 lat, znacząco wpływają na zwiększenie bezpieczeństwa państwa.



Adrian **MROZEK**

ANALIZA PORÓWNAWCZA GŁÓWNYCH METOD OCENY WPLYWU NA ŚRODOWISKO WYROBÓW BRANŻY WOJSKOWEJ NA ETAPIE ICH PROJEKTOWANIA

Streszczenie. Artykuł opisuje najpowszechniejsze metody oceny wpływu na środowisko wyrobów w branży militarnej jak również analizę porównawczą oceny cyklu życia LCA i śladu węglowego CF. Przedstawia niektóre z programów służących do ich obliczania. Opisuje wady i zalety tych metod. Pomimo rosnącej świadomości wpływu amunicji na środowisko, prace w tym zakresie są skupione na charakterystyce i monitorowaniu zanieczyszczeń na strzelnicach a także ich rekultywacji. Natomiast nie uwzględnia się wpływu jej produkcji, użytkowania i usuwania. Obecnie powstaje coraz więcej narzędzi online służących do oceny śladu węglowego i LCA, zostały one opisane w artykule.

Słowa kluczowe: ślad węglowy, ocena cyklu życia LCA, narzędzia online do oceny śladu węglowego i LCA.

1 WPROWADZENIE

Rozwój technologii wojskowych w ostatnich latach dokonał ogromnego postępu, co stawia przed dowódcami konieczność stałego doskonalenia nie tylko umiejętności podległych żołnierzy, ale również wdrażania nowych rozwiązań i technologii w zakresie ochrony środowiska. Siły zbrojne poszczególnych państw przeprowadzają manewry na lądzie, morzu i w powietrzu. Bardzo często odbywają się one w pobliżu terenów przyrodniczych, co wpływa na ich funkcjonowanie. Stale rosnące wymagania związane z ochroną środowiska a także coraz bardziej rygorystyczne akty prawne wymuszają na wojsku wprowadzanie i systematyczne udoskonalanie systemów ochrony środowiska. Ważne jest, aby kwestie ekologiczne rozważyć na etapie projektowania wyrobów. Dzięki temu można rozważyć alternatywy działania i uniknąć niekorzystnego wpływu na środowisko. Artykuł opisuje najpowszechniejsze metody oceny wpływu na środowisko wyrobów w branży wojskowej takie jak: ocena cyklu życia LCA, ślad węglowy CF. Dokonano również analizy porównawczej w/w metod jak również opisano ich wady i zalety.

2 ŚRODOWISKO NATURALNE A BRANŻA WOJSKOWA – PODSTAWOWE AKTY PRAWNE

Siły Zbrojne RP podlegają przepisom środowiskowym obowiązującym w obszarze prawa cywilnego. Do podstawowych aktów ochrony środowiska odnoszących się do Sił Zbrojnych RP należą [1]:

- Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 26 kwietnia 2004 r. w sprawie określenia organów odpowiadających za nadzór nad przestrzeganiem przepisów o ochronie środowiska w jednostkach wojskowych oraz innych jednostkach organizacyjnych podporządkowanych Ministrowi Obrony Narodowej lub przez niego nadzorowanych [2];
- Zarządzenie nr 57/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 23 grudnia, 2002 r. w sprawie określenia jednostek organizacyjnych odpowiadających za nadzór nad przestrzeganiem przepisów o ochronie środowiska w Siłach Zbrojnych [3];

- Umowa między Państwami-Stronami Traktatu Północnoatlantyckiego dotycząca statusu ich sił zbrojnych, sporządzona 19 czerwca 1951 r. w Londynie [4];
- Umowa między Państwami-Stronami Traktatu Północnoatlantyckiego a innymi państwami uczestniczącymi w Partnerstwie dla Pokoju [5].

Zgodnie z aktami prawnymi, opisującymi postępowanie w zakresie ochrony środowiska i gospodarki odpadów, przez jednostki wojskowe, realizowane są działania, które zapewniają ochronę życia i zdrowia ludzi oraz ochronę środowiska w myśl właściwej gospodarki odpadami. Mimo to, niezbędne są dalsze działania jednostek wojskowych w zakresie zmniejszania ilości odpadów, zwiększania udziału odpadów poddawanych odzyskowi i unieszkodliwiania oraz przekształcania odpadów niebezpiecznych w miejscu ich powstawania. [1].

Branża wojskowa posiada systemy jakości uznawane w świecie, dopuszczając one firmy wojskowe i cywilne do kontraktów z udziałem SZ RP/NATO.

Na stronie Wojskowego Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji można znaleźć dokumenty normujące funkcjonowanie systemu zapewnienia jakości [6]:

- Decyzja Nr 126/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 16 sierpnia 2019 r. w sprawie zapewnienia jakości sprzętu wojskowego i usług, których przedmiotem jest sprzęt wojskowy (Dz. Urz. Min. Obr. Nar. z 2019 r., poz. 159);
- STANAG 4107 - Wzajemna akceptacja procesu Rządowego Zapewnienia Jakości oraz stosowania sojuszniczych publikacji zapewnienia jakości (AQAP);
- AQAP 2070 - Proces NATO dotyczący wzajemnej realizacji Rządowego Zapewnienia Jakości (GQA).

AQAP (Allied Quality Assurance Publication) są to normy dla systemów zapewnienia jakości, które zostały opracowane przez NATO. Mają one na celu zdefiniowanie norm, celem zapewnienia jakości produktów obronnych. Normy te są opisane są w porozumieniu standaryzacyjnym STANAG 4107.

Obecnie wyróżnić możemy dwa główne typy dokumentów AQAP [7]:

- Dokumenty mające charakter umowy, zapisywane w postaci specyfikacji technicznej przeznaczone do użytku umownego;
- Instrukcje zawierające ogólne wytyczne.

Do aktualnych publikacji AQAP zaliczamy [8]:

- AQAP 2131: 2006 – „Wymagania NATO dotyczące zapewnienia jakości w kontroli końcowej” – nie zawiera wymagań ISO 9001, dotyczy kontroli jakości końcowego wyrobu;
- AQAP 2130: 2009 – „Wymagania NATO dotyczące zapewnienia jakości w kontroli i badaniach” – zawiera wymagania ISO 9001, dotyczy kontroli wyrobu końcowego, kontroli jakości w toku produkcji i nad jakością dostawy danego wyrobu (lub jego części);
- AQAP 2120: 2009 – „Wymagania NATO dotyczące zapewnienia jakości w produkcji” – zawiera wymagania ISO 9001, rozszerzenie wymagań AQAP 2130 o jakość montażu, serwisu i uruchomienia wyrobu;
- AQAP 2110: 2009 – „Wymagania NATO dotyczące zapewnienia jakości w projektowaniu, pracach rozwojowych i produkcji” – zawiera wymagania ISO 9001, rozszerzenie wymagań AQAP 2120 o nadzór nad projektowaniem wyrobu;

- AQAP 2105: 2009 – „Wymagania NATO dotyczące planów jakości dla wyrobu będącego przedmiotem zamówienia” – nie zawiera wymagań ISO 9001, dotyczy planów jakości dla wyrobu końcowego;
- AQAP 2210: 2006 – „Wymagania uzupełniające NATO do AQAP 2110 dotyczące zapewnienia jakości oprogramowania” – nie zawiera wymagań ISO 9001, rozszerzenie wymagań AQAP 2110 o wymagania jakościowe zastosowanego w wyrobie oprogramowania.

3 METODY OCENY WPLYWU NA ŚRODOWISKO NATURALNE

Najpowszechniejszą metodyką oceny wpływu na środowisko jest ocena cyklu życia – LCA (Life Cycle Assessment) znana również, jako analiza cyklu życia (LCA – Life Cycle Analysis). Szeroko rozpoznane procedury dla przeprowadzenia metody LCA opisano w serii norm dotyczących zarządzania środowiskiem ISO 14040 i ISO 14044 [9] [10] oraz ISO 14048 [11] i ISO 14049 [12].

W ocenie cyklu życia można uwzględnić aspekty ekologiczne, społeczne a także finansowe.

Aspekty ekologiczne oceniane są za pomocą metody LCA (Life Cycle Assessment), aspekty społeczne za pomocą S-LCA (Social Life Cycle Assessment), natomiast metoda E-LCC (Environmental Life Cycle Costing) łączy analizę ekonomiczną ze środowiskową.

Analiza cyklu życia (LCA) jest jednym z najbardziej popularnych narzędzi wspomagających proces ekoprojektowania, ale również najbardziej złożonym. Ocenia wpływ produktu, usługi, lub procesu na środowisko. Analiza obejmuje cykl życia, czyli wydobycie i przetwarzanie surowców, produkcję, dystrybucję, użytkowanie, recycling i utylizację. Analiza LCA według norm ISO 14040 i 14044 składa się z poniżej opisanych etapów:

- Określenie celu i zakresu, obejmuje podjęcie kluczowych decyzji przesądzających o przebiegu całego badania. Na tym etapie dokonuje się wyboru celu i zakresu, określa się funkcje, jednostki funkcjonalne, ograniczenia systemu oraz przeglądów. Określa się również rodzaj i wpływ zainteresowanych stron biorących udział w badaniu, a także sposób komunikowania końcowych wyników;
- Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI – Life Cycle Inventory), czyli analiza zbioru inwentarzowego (zawierającego modele procesów, zestawienia danych dotyczących zużycia zasobów naturalnych i emisji w cyklu życia wyrobu);
- Ocena wpływu cyklu życia (LCIA – Life Cycle Impact Assessment) na środowisko;
- I interpretacja [9], [10], [13].

Na podstawie metody LCA można przeanalizować, który z elementów w danym cyklu życia produktu jest najbardziej problematyczny. Głównym założeniem metody LCA jest dążenie do wykazania wszystkich czynników, które mają potencjalny wpływ na środowisko jak również czynników związanych z danym produktem lub procesem, natomiast jej wynikiem jest określenie wpływu produktu na środowisko systemu produktu lub procesu na obszar zużycia zasobów, jakości ekosystemu i zdrowia ludzkiego [13].

Mimo iż świadomość wpływu amunicji na środowisko rośnie, prace w tym obszarze skupiają się na charakterystyce i monitorowaniu zanieczyszczeń na strzelnicach a także ich rekultywacji. Natomiast holistyczna koncepcja wpływu produkcji, użytkowania i usuwania amunicji na środowisko nie jest uwzględniona.

Ocena cyklu życia (LCA) może być stosowana w połączeniu z danymi dotyczącymi emisji amunicji nie tylko do ilościowego określenia wpływu wojskowych działań szkoleniowych na środowisko, ale również umożliwi poprawę profilu środowiskowego amunicji. Celem metody jest ocena potencjalnych zagrożeń środowiska. W tym celu, można wykorzystać połączenie danych dotyczących emisji, danych eksperymentalnych i oprogramowania do modelowania predykcyjnego [14] [15].

Metoda oceny cyklu życia społecznego (S-LCA Social Life Cycle Assessment), przedstawia społeczne i społeczno-ekonomiczne aspekty produktów, ich pozytywne i negatywne skutki w całym cyklu życia (wydobycie i przetwarzanie surowców, produkcja, dystrybucja, użytkowanie, ponowne użycie, konserwacja, recykling i ostateczne usuwanie). Ramy wyszczególnione w wytycznych S-LCA są zgodne z normami ISO 14040 i 14044, dotyczącymi oceny cyklu życia. W strukturze opisano dostosowania uwzględniające kwestie społeczne i społeczno-ekonomiczne. S-LCA nie dostarcza informacji na temat tego, czy produkt powinien być produkowany. Informacje uzyskane od S-LCA mogą być bardzo pomocne w podjęciu takiej decyzji. Metodę S-LCA można zastosować na dowolnych produktach, nawet tych, które są świadomie szkodliwe dla społeczeństwa (np. broń w przemyśle wojskowym). Ze względów etycznych zalecane jest stosowanie tej metody [16].

Metoda E-LCC Environmental Life Cycle Costing, pozwala określić zależność między potencjalnym wpływem produktu na środowisko a kosztami z tym związanymi. W literaturze metoda ta, zaliczana jest do nowoczesnego rachunku kosztów, nie posiada jednak spójnej definicji. LCC Life Cycle Cost musi być traktowane, jako punkt odniesienia, do którego opcje mogą być mierzone, jako „stosunek jakości do ceny” w procesie nabycia. Pamiętając o tym, że na uwadze, że większe możliwości obniżenia LCC pojawiają się zwykle we wczesnych fazach programu. W poszukiwaniu najlepszego kompromisu między czasem, kosztami i wydajnością LCC jest wykorzystywane, jako kryterium decyzyjne i optymalizacyjne. Mając na uwadze, że kalkulacja kosztów cyklu życia jest uznawana na arenie międzynarodowej za instrument szacowania inwestycji w sprzęt wojskowy, jego praktyczne zastosowanie pozostaje niedostatecznie zbadane. Szacunki kosztów cyklu życia programów obronnych są z natury niepewne i ryzykowne. Często informacje i dane są niewystarczające, szacunki opierają się na historycznych próbkach danych, które są nieuporządkowane, ograniczone, trudne i kosztowne do uzyskania. Z tego powodu niezależnie od zastosowanego narzędzia lub metody szacowania, badany system uzbrojenia jest często szkicowy. [17], [18], [19], [20].

Innym ważnym wskaźnikiem uwzględniającym ekonomię w LCA jest efektywność. Jest to ilościowe narzędzie zarządzania, które umożliwia badanie wpływu systemu produktu na środowisko w cyklu życia. ISO 14045: 2012 opisuje zasady, wymagania i wytyczne dotyczące oceny efektywności produktu. Analiza efektywności zostaje ściśle powiązana z LCA w zakresie środowiskowym. Niemniej jednak, aby określić efektywność produktów, LCA musi być połączona z LCC, aby mogła obejmować zarówno ekonomiczny, jak i ekologiczny zakres efektywności dla tego samego limitu systemu produktu. Efektywność ekologiczna dzieli z LCA wiele ważnych zasad, takich jak perspektywa cyklu życia, kompleksowość, podejście do jednostek funkcjonalnych, charakter iteracyjny, przejrzystość i priorytet podejścia naukowego [21], [22], [23].

Dostępnych jest kilka metod oceny wpływu produktu na cykl życia [24]. Najczęściej stosowane są trzy metody: Ecoindicator '99 [25], EDIP97 [26], CML2001 [27]. Porównanie tych trzech metod LCIA pokazuje, że EDIP97 i CML 2001 są podobne pod względem zakresu i struktury [28]. Trzecia metoda oceny wpływu Eko-wskaźnik 99 różni się zakresem i strukturą od dwóch pozostałych. Służy do oceny cyklu życia produktu, upraszczając kategorie szkód do trzech podstawowych: zdrowie ludzkie, jakość ekosystemu i redukcja zasobów.

Metoda ta została wprowadzona w postaci systemów oprogramowania wspomagających ekologiczną ocenę rozwoju produktu w cyklu życia produktu [29].

Ocena cyklu życia LCA posiada wiele zalet. Umożliwia pełną ocenę wpływu wyrobu na środowisko, ponieważ obejmuje zrozumienie procesu od samego początku aż do końca. Jest ona szczegółowo opisana w normach. Uwzględniając powstawanie zanieczyszczeń, pozwala planować strategię rozwoju produktu, a tym samym dąży do udoskonalenia produktów. Głównym problemem oceny cyklu życia jest jej złożoność, a co za tym idzie jej czasochłonność. Mimo iż rozwiązania programowe usuwają margines błędu, konieczne jest ich dostosowanie ze względu na złożoność produktów obronnych. Przegląd literatury skłania do wniosku, że metoda LCA nie ma jednego zwięzłego sposobu rozwiązania wielofunkcyjności.

Kolejnym, bardzo ważnym aspektem, jest obliczanie śladu węglowego (Carbon Footprint - CF). Ślad węglowy jest sumą emisji gazów podczas pełnego cyklu życia produktu (przedsiębiorstwa). Pojęcie to dotyczy emisji dwutlenku węgla, metanu, podtlenku azotu i innych gazów cieplarnianych. Ślad węglowy wyrażony jest, jako ekwiwalent dwutlenku węgla na jednostkę funkcjonalną produktu. Przedsiębiorcy na całym świecie dążą do redukcji emisji gazów cieplarnianych. Poszukiwania narzędzi określających wpływ danego produktu na środowisko doprowadziły do stworzenia idei śladu węglowego. Coraz więcej przedsiębiorców decyduje się na obliczanie śladu węglowego, jednakże dużym minusem jest fakt, że w Polsce na jego obliczanie decydują się głównie firmy międzynarodowe, a także takie, które w łańcuchu dostaw posiadają kontrahenta, który wymaga określenia wielkości śladu węglowego [30][31].

Najbardziej oczywistą zaletą obliczania śladu węglowego są działania minimalizujące negatywny wpływ działalności firmy / wojska na środowisko naturalne. Należy do nich możliwość poznania realnej wielkości emisji gazów cieplarnianych podczas procesu produkcji każdego wyrobu. Kolejną zaletą wynikającą z określenia śladu węglowego jest optymalizacja procesu produkcyjnego.

4 NARZĘDZIA ONLINE DO OCENY ŚLADU WĘGLOWEGO I OCENY CYKLU ŻYCIA – ANALIZA PORÓWNAWCZA

Analiza wpływu na środowisko wyrobów branży wojskowej jest procesem złożonym, dlatego na rynku istnieją narzędzia programowe służące do obliczania oceny cyklu życia LCA, śladu węglowego CF, a także określania innych wskaźników środowiskowych. Narzędzia zawierają bazy danych, które są wykorzystywane do obliczeń, a także zastosowana metodologii. Bazy danych powinny być dobrze zdefiniowane i aktualizowane. Z punktu widzenia pomiaru wpływu na środowisko krytyczne są dwa parametry: [32], [33]

- Ilość, jakość, dokładność, trafność danych dla użytkownika w oprogramowaniu;
- Łatwość obsługi oprogramowania.

Obecnie na rynku dostępnych jest kilka narzędzi online do oceny śladu węglowego i metody LCA. Niektóre z nich, przedstawiono w tabeli nr 1:

Tabela 1. Opracowanie własne

METODA	PROGRAM	TWÓRCA	Krótki opis	STRONA www
L C A	Forecasting Environmental Life cycle Impacts (FELCI)	US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center Holly Kuzmitski, ERDC PAO	Przeprojektowanie całej metodologii oceny cyklu życia dla armii	https://www.erd.usace.army.mil/Media/News-Stories/Article/2019817/new-software-and-advancements-in-lifecycle-assessment-establish-limits/
	Ecodesign Pilot	BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), Wirtschaftskammer Österreich	Program ten łączy ekoprojektowanie z procesem rozwoju wyrobu. Umożliwia precyzyjne określenie, które potencjalne działania mają największy wpływ na jakość środowiskową wyrobu z jednoczesnym najmniejszym ryzykiem wdrożenia. Analiza ilościowa w tym programie składa się z trzech etapów: 1. Pierwszy etap obejmuje określenie, do jakiego podstawowego typu można zaliczyć analizowany produkt 2. W drugim należy dokonać wyboru właściwych strategii 3. W trzecim należy uzupełnić listy kontrolne, aby uzyskać najefektywniejsze i obciążone najmniejszym ryzykiem zadania ekoprojektowania [34]. Jest to darmowy program	http://pilot.ecodesign.at/pilot/ONLINE/POLISH/INDEX.HTM
	Open LCA	GreenDelta GmbH	Wysoko wydajne oprogramowanie, które w szybki i wiarygodny sposób oblicza ocenę zrównoważonego rozwoju i cyklu życia. Kosztorys cyklu życia i ocena społeczna są płynnie zintegrowane z modelem cyklu życia. Program ten identyfikuje główne czynniki w całym cyklu życia według kategorii procesu, przepływu.	www.openlca.org/
	SimaPro	PRè-consultants	Duża baza danych materiałów i procesów, kilka metod oszacowania oddziaływań	www.pre-sustainability.com/
C F	LCA calculator	Idc Naked Creativity	Służy do szybkiego obliczania śladu węglowego, przeznaczony jest on dla projektantów i inżynierów, pomaga szybko i intuicyjnie zrozumieć, przeanalizować i przeprowadzić analizę cyklu życia a następnie porównać wpływ ich	www.lcacalculator.com/

Analiza porównawcza głównych metod oceny wpływu na środowisko wyrobów branży wojskowej na etapie ich projektowania

METODA	PROGRAM	TWÓRCA	Krótki opis	STRONA www
			produktów i poszczególnych decyzji na środowisko naturalne. Dzięki niemu można uzyskać zrównoważone rozwiązania projektowe	
	Carbon Footprint Ltd.	Carbon footprint	Mierzy emisje, redukuje koszty. Opcje raportowania emisji dwutlenku węgla - pomagają zrozumieć wykorzystanie i zarządzać emisjami i kosztami	www.carbonfootprint.com/
L C A & C F	GaBi	Pe-international	GaBi łączy wiodące na świecie oprogramowanie do modelowania i raportowania oceny cyklu życia (LCA), bazy danych treści z intuicyjnymi narzędziami do gromadzenia danych i raportowania. Oferuje analizę kosztów. Służy również do obliczania śladu węglowego zgodnie z międzynarodowymi standardami.	www.gabi-software.com/
	Umberto	Ifu Hamburg GMBH	Analiza przepływu materiałów i ocena cyklu życia. Zwiększona efektywność wykorzystania zasobów, a także lepsza efektywność środowiskowa dzięki wydajnemu zarządzaniu przepływem materiałów. Wyniki metody LCA w postaci graficznej. Oblicza również ślad węglowy	www.umberto.de/en/

Mogłoby się wydawać, że LCA i CF są metodami dość podobnymi, jedną z głównych różnic jest to, że CF jest analizą skupioną na pojedynczym wskaźniku, podczas gdy LCA bierze pod uwagę emisje gazów cieplarnianych, a także wszystkie inne wkłady materiałowe w całym cyklu życia wyrobu. Oocenia wszystkie potencjalne bezpośrednie i pośrednie skutki dla środowiska, czyli jest analizą wielokryterialną skupiającą się na wielu wskaźnikach [35].

W powyższej tabeli na pierwszym miejscu przedstawiono program Forecasting Environmental Life Cycle Impacts (FELCI). Program ten jest wynikiem sześciolletnich prac badawczych, prowadzonych przez dr Michaela Mayo, naukowca zajmującego się badaniami nad fizyką w Centrum Badań i Rozwoju Inżynierów Armii USA. Doświadczenia naukowca wykazały, że metoda LCA, która była używana jako podstawa do podejmowania istotnych decyzji finansowych, tuszowała ważne, złożone aspekty. Mayo opisał, że kiedy armia produkuje materiały, takie jak amunicja, część odpadów z tego procesu produkcyjnego przedostaje się do powietrza, wody, gleby i osadów. Metodologia LCA wyjaśnia jak te skutki emisji wpłyną na ekosystemy pod względem pewnych wskaźników środowiskowych, takich jak śmiertelność populacji zwierząt narażonych na odpady przemysłowe. Wykonując obliczenia LCA, Mayo opisał interakcję między odpadami a organizmami żywymi. Zaprogramowano te modele i przeprowadzono „analizę wrażliwości”. Okazało się, iż wynik oceny wpływu LCA był często niedokładny, co powodowało otrzymanie nieprawidłowych wyników [36].

Główny problem polega na tym, że programy przedstawione w tabeli powyżej poza programem FELCI służą do uzyskania ogólnych informacji o możliwym wpływie dowolnego produktu na środowisko.

W praktyce nie sprawdzają się one dla wyrobów wojskowych. Mimo, iż mają dużą bazę danych materiałów i procesów, nie zastąpią jednak kompleksowej analizy broni, amunicji, pojazdów wojskowych, na przykład okrętów wojennych, odrzutowców, czołgów, myśliwców, które są głównym konsumentem paliw kopalnych. Przykładem tego mogą być badania nad programem FELCI, które potwierdziły, iż metoda LCA tuszowała ważne, złożone aspekty.

5 PODSUMOWANIE

W artykule opisano najpowszechniejsze metody oceny wpływu na środowisko, wyrobów w branży wojskowej takich jak: ocena cyklu życia LCA, ślad węglowy CF oraz dokonano ich analizy porównawczej. Przedstawiono niektóre z programów służących do ich obliczania.

Na pozór wydaje się, że są to metody bardzo podobne jednak bardzo ważnym aspektem jest rozpoznanie różnicy pomiędzy nimi. Problem śladu węglowego w sektorze wojskowym staje się coraz bardziej ważny. Pod uwagę należy również wziąć fakt, że mniejszy ślad węglowy nie zawsze wiąże się z wydajnością środowiskową. Z tego powodu badania śladu węglowego powinny być przeprowadzane za pomocą innych globalnych narzędzi, takich jak LCA.

Wiele krajów ma problem z zarządzaniem zapasami starej amunicji lub jej nadwyżką. Poprzez wprowadzenie zmian w konstrukcji amunicji można umożliwić jej bardziej efektywną utylizację. Dogłębne zrozumienie śladu środowiskowego amunicji, umożliwi podjęcie działań zapobiegawczych lub naprawczych oraz pomoże w opracowaniu rozwiązania zminimalizowania lub wyeliminowania niekorzystnych skutków na środowisko.

6 LITERATURA

- [1] Borucka A., Mikosz B. „Działalność jednostek wojskowych w obliczu wymagań ochrony środowiska”. Prace naukowe GIG górnictwo i środowisko, nr 3, str. 5-15. 2008
- [2] Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 26 kwietnia 2004 r. w sprawie określenia organów odpowiadających za nadzór nad przestrzeganiem przepisów o ochronie środowiska w jednostkach wojskowych oraz innych jednostkach organizacyjnych podporządkowanych Ministrowi Obrony Narodowej lub przez niego nadzorowanych
- [3] Zarządzenie nr 57/MON Ministra Obrony Narodowej dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie określenia jednostek organizacyjnych odpowiadających za nadzór nad przestrzeganiem przepisów o ochronie środowiska w Siłach Zbrojnych
- [4] Umowa między Państwami-Stronami Traktatu Północno atlantyckiego dotycząca statusu ich sił zbrojnych, sporządzona 19 czerwca 1951 r. w Londynie (Dz. U. z 2000 r. Nr 21, poz. 257)
- [5] Umowa między Państwami-Stronami Traktatu Północno-atlantyckiego a innymi państwami uczestniczącymi w Partnerstwie dla Pokoju dotycząca statusu ich sił zbrojnych oraz jej Protokół Dodatkowy, sporządzona w Brukseli dnia 19 czerwca 1995 r. (Dz. U. z 1998 r. Nr 97, poz. 605)
- [6] <https://wcnjik.wp.mil.pl/pl/pages/jakosc-i-akredytacja/> dotęp: 01.2022r.
- [7] Scrimshire D. “New quality standards for defence industry suppliers”. Foundry Trade Journal, pp 116 – 119. April 2004
- [8] Wojskowe Centrum Normalizacji jakości i kodyfikacji AQAP 41 wydanie A, wersja 2, listopad 2018 STANAG 4107 (Edition 11) Mutual acceptance of Government Quality Assurance and usage of the Allied Quality Assurance Publications (AQAP)
- [9] PN-EN ISO 14040: Zarządzanie środowiskowe – Ocena Cyklu Życia – Zasady i struktura. PKN. 2009
- [10] PN-EN ISO 14044: Zarządzanie środowiskowe – Ocena Cyklu Życia – Wymagania i wytyczne. PKN. 2009
- [11] PN-EN ISO 14048: Zarządzanie środowiskowe – Ocena Cyklu Życia – Format danych do oceny cyklu życia. PKN. 2009
- [12] PN-EN ISO 14049: Zarządzanie środowiskowe – Ocena Cyklu Życia – Przykłady stosowanie. PKN. 2009

-
- [13] Guinee J.B. (ed.) „Handbook on life cycle assessment: Operational Guide to the ISO standards. Part 1,2,3. KluwerAcademic Publisher. 2002
- [14] Burhart-Korol D. „Zastosowanie oceny cyklu życia (LA) w analizie procesów przemysłowych. Problemy Ekologii. Nr 6. 2009
- [15] Temple T.J., Ladyman M.K. “Global Approaches to environmental Management on Military Ranges”, chapter 5 “Environmental management of military ranges with the support of a life-cycle assessment approach”, IOP Publishing Ltd 2020, Bristol, UK, 5-1
- [16] Andrews E. S., Barthel L-P., et al., „Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products”, United Nations Environment Programme (UNEP) / Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Paris 2009
- [17] RTO MEETING PROCEEDINGS 96. „Cost Structure and Life Cycle Cost (LCC) for Military Systems” Analysis and Simulation Panel (SAS) Symposium held in Paris, France. 24-25 October 2001
- [18] Martley K., Warner J.T, Defence and peace Economics: “The Application of Life Cycle Costing in Evaluating Military Investments”. Routledge Taylor & Francis Group. Volume 22, issue 5, pages 509-543. 2011
- [19] Biernacki M. „Environmental Life Cycle Costing (ELCC) in the aspect of cost management in the company”. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 873, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 77. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Str. 305–312. Szczecin. 2015
- [20] North Atlantic Treaty Organization „Methods and Models for Life Cycle Costing” RTO Technical Report, June 2007
- [21] ISO 14045 Environmental management — Eco-efficiency assessment of product systems – Principles, requirements and guidelines. 2012
- [22] Saling P, Kicherer A, Dittrich-Krämer B, Wittlinger R, Zombik W, Schmidt I, Schrott W, Schmidt S: Eco-efficiency – The method. Int. J. LCA 7 (4), pp. 203–218. July 2002
- [23] Jakobsen, M.M., Støren, S.: "Improving the eco-efficiency of product systems" Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design, ICED 99. München
- [24] St. Gallen: Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods,ecoinvent report No. 3. July 2010
- [25] Goedkoop M, Spriensma R.: PRé product ecology consultants. The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Annex. Third edition. Amersfoort. 22 June 2001

- [26] Wenzel H, Hauschild M, Alting L: Environmental Assessment of Products. Vol. 1 – Methodology, tools and case studies in product development. First edition, Kluwer Academic Publishers. USA. 1997
- [27] Guinée JB (ed.): Eco-efficiency in industry and science: Handbook on Life Cycle Assessment: Operational guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers. May 2002
- [28] L.C. Dreyer, M. Z Hauschild, A.L. Niemann: "Comparison of Three Different LCIA Methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99: Does it matter which one you choose?" The International of Life cycle Assessment 8(4), pages 191-200. July 2003
- [29] Żelazna A.: „Ocena równoważności systemów solarnych oparta na analizie cyklu życia”, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. Vol. 125. Lublin 2016
- [30] <https://polskirynekwegla.pl/goz-slad-weglowy> dostęp: 01.2022 r.
- [31] Wernicka M. „Doświadczenie w metodyce liczenia Carbon Footprint w przedsiębiorstwach w Polsce” , Kraków. 2014
- [32] Rebitzer G., Ekvall T., Frischknecht R., Hunkeler D., Norris G., Rydberg T., Schmidt W, Suh S., Weidema B., Pennington D.: "Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications," Environ. Int. 30, page 701-720. 2004
- [33] Rice G., Clift R., Burns R.: "Comparison of currently available european LCA software" The International Journal of Life Cycle Assessment. Int. 2, page 53-59. 1997
- [34] Wimmer W. Vienna, Züst R.: „Ecodesign Pilot”. Kluwer Academic Publishers. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. 2003
- [35] BP Weidema, M. Thrane, P. Christensen, J. Schmidt y S. Løkke: „Ślad węglowy”, J. Ind. Ecol. 12, pp 3-6. 2008
- [36] <https://www.erdc.usace.army.mil/Media/News-Stories/Article/2019817/new-software-and-advancements-in-lifecycle-assessment-establish-limits/> dostęp: 01.2022 r.

OBRUM - tworzymy innowacje dla bezpieczeństwa.

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Urządzeń Mechanicznych OBRUM to unikalna w skali kraju placówka badawczo-rozwojowa i naukowa. W OBRUM powstają sprawdzone i bezpieczne produkty przeznaczone przede wszystkim dla Sił Zbrojnych RP. Głównym adresatem prac są wojska lądowe, w tym zmechanizowane, pancerne, radiolokacyjne oraz inżynieryjne. Spółka jest liderem w zakresie mostów mobilnych i czołgów saperskich. OBRUM to także systemy autonomii dla pojazdów bezzałogowych oraz symulatory i trenażery zwiększające poziom wyszkolenia i bezpieczeństwa żołnierzy, wspierające eksploatację, serwisowanie i obsługę sprzętu.

Most towarzyszący na podwoziu samochodowym MS-20 kr. „DAGLEZJA” do pokonywania przeszkód terenowych/wodnych o szerokości do 20 m

MS-20 jest urządzeniem o przeznaczeniu wojskowym dla pododdziałów inżynieryjno-drogowych oraz pełnego wykorzystania do celów ratownictwa kryzysowego. MS-20 zapewnia wszystkim pojazdom będącym na wyposażeniu SZ RP i państw NATO szybkie pokonywanie naturalnych i sztucznych przeszkód terenowych o szerokości do 20m. Wypełnienie przęsła pozwala na pokonanie przeszkody także przez jednoślady i pieszych.



Most szturmowy na podwoziu gąsienicowym MG-20 kr. DAGLEZJA-G do pokonywania przeszkód terenowych/wodnych o szerokości do 20 m



Rozwiązanie wysoko zunifikowane z projektem MS-20 w obszarze układacza i przęsła. Podwozie przystosowane jest do przewożenia przęsła mostu, jego zdejmowania, układania na przeszkodzie oraz odłączania układów hydraulicznego i elektrycznego przęsła od kadłuba bez konieczności wychodzenia członków załogi na zewnątrz pojazdu. Pojazd wyposażony jest w urządzenia przeznaczone do ochrony przed działaniem broni masowego rażenia.

Maszyna Inżynieryjno – Drogowa MID (Czołg saperski)

MID to szybkobieżny opancerzony pojazd gąsienicowy przeznaczony do wykonywania zadań inżynieryjnych zabezpieczających działania bojowe wojsk w terenie zurbanizowanym i niezurbanizowanym oraz w sytuacji zagrożenia bronią bakteriologiczną, chemiczną i atomową. Dostosowany do spełnienia warunków współczesnego pola walki.



Platforma stacji radiolokacyjnych JBR-15 w wersji zmodyfikowanej



fot. PIT-RADWAR

Dostosowanie do aktualnych wymogów wyrobów platformy stacji radiolokacyjnych m.in:

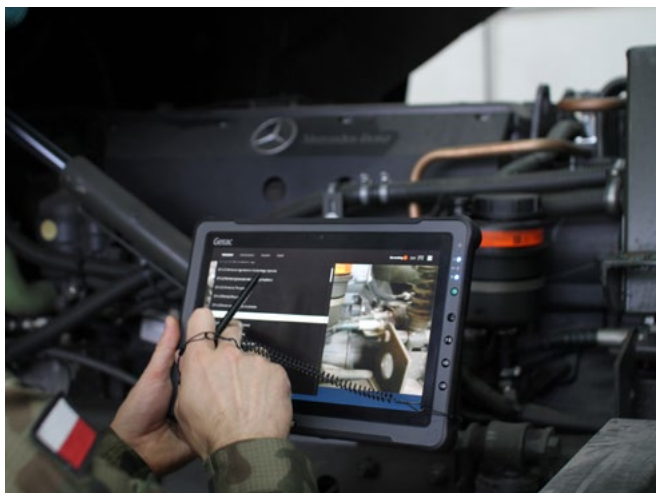
- zapewnienia aparaturze radaru właściwych warunków klimatycznych,
- realizacji stabilnych obrotów zestawu antenowego,
- rozwijania systemu antenowego,
- poziomowania całego wyrobu w pozycji pracy,
- transportowania jednostki na podwoziach samochodowych TATRA, Jelcz innymi środkami transportu kołowego i gąsienicowego.

Wirtualny trener 3D MK-44 BUSHMASTER

Przeznaczona jest do szkolenia z zakresu obsługi i napraw armaty MK-44 BUSHMASTER. Pozwala na zwiększenie bezpieczeństwa wykonywanych czynności obsługowych i napraw oraz zwiększenie efektywności szkolenia przy równoczesnym zmniejszeniu kosztów. Umożliwia przeprowadzenie szkolenia wstępnego lub przypominającego (okresowego), bez konieczności dostępu do oryginalnych podzespołów.



Wirtualny trener silnika pojazdu JELCZ 442.32



Umożliwia realizację zadań szkoleniowych obejmujących m.in. kompleksową naukę budowy poszczególnych zespołów, podzespołów/części urządzenia oraz zapoznanie z procedurami demontażu oraz montażu, rozkładania i składania poszczególnych zespołów, podzespołów oraz części. Umożliwia także trening umiejętności oraz ich ocenę w wersji udokumentowanej i zarchiwizowanej.

Symulatory proceduralne mostów MS-20 i MG-20

Symulatory umożliwiają przeszkolenie z zakresu wszystkich procedur związanych z przygotowaniem do przeprawy, przeprawą i jej zwinięciem, wiernie odtworzonych w środowisku komputerowym z wykorzystaniem wirtualnej technologii oraz rzeczywistego kontrolera stosowanego w warunkach normalnej pracy urządzenia.



IRTS Interaktywny symulator działania zespołu ratownictwa medycznego



Aplikacja do nauki oraz doskonalenia z zakresu pierwszej pomocy i ratownictwa medycznego dla wojska, służb mundurowych i użytkowników cywilnych IRTS (ang. Interactive Rescue Training System - IRTS) jest rozwiązaniem przeznaczonym do nauki oraz doskonalenia umiejętności z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy i ratownictwa medycznego. System służy do szkolenia zarówno żołnierzy jak i służb mundurowych oraz ratowników cywilnych, gdzie użytkownik stawiany jest w roli prowadzącego akcję ratowniczą w sytuacjach zagrożenia życia. Jego głównym zadaniem jest podejmowanie właściwych decyzji, spośród wielu sugerowanych, jednocześnie obserwując funkcje życiowe poszkodowanego. Wykonano we współpracy z Future Processing.

Oprogramowanie do kompleksowego symulatora załogi czołgu T-72 (BESKID-2 M/K)

Symulator przeznaczony do szkolenia załóg czołgów T-72 w zakresie posługiwania się wyposażeniem czołgu, poruszania się po polu walki, wykrywania i rozpoznawania celów, prowadzenia skutecznego ognia. System umożliwia także integrację z innymi symulatorami pozwalając m. in. na szkolenie plutonu załóg poprzez połączenie ze sobą 4 symulatorów BESKID-2M/K. Możliwa jest również integracja z innymi systemami symulacji kompatybilnymi z protokołem DIS HLA.



Symulator-trenażer kierowcy czołgu Leopard 2A4

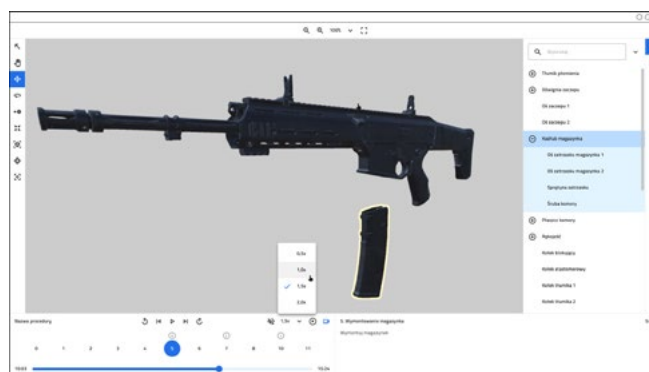


Symulator stanowiska kierowcy to całkowicie nowe urządzenie szkolno-treningowe zapewniające realizację szerokiego zakresu szkolenia i nauki jazdy czołgiem Leopard 2A4. Platforma ruchu o 6 stopniach swobody umożliwi symulowanie ruchów podwozia czołgu podczas jazdy, a moduł stanowiska instruktora pozwala na kontrolę i weryfikację przebiegu szkolenia.

OBRTain - narzędzie do tworzenia aplikacji szkoleniowych

OBRTain pozwala na tworzenie interaktywnych aplikacji do nauki budowy, obsługi oraz prezentacji danych technicznych sprzętu z rynku wojskowego i cywilnego. Umożliwia, dzięki przeglądaniu modeli i procedur, prowadzenie szkoleń z zakresu obsługi maszyn i urządzeń technicznych – zarówno w formie stacjonarnej jak i e-learning. OBRTain to narzędzie do wytwarzania w sposób pół-automatyczny cyfrowych wersji procedur obsługowych, będących elementem bazowym dla następujących rodzajów aplikacji szkoleniowych:

- serwisowych,
- diagnostycznych,
- aplikacji do szkolenia w zakresie obsługi technicznych,
- interaktywnych katalogów części zamiennych,
- obsługi interfejsów HMI i powtarzalnych procesów użytkowych.





Gliwice, marzec 2022