

Igor Derwich

Akademia Wojsk Lądowych

ORCID: 0009-0007-4196-4374

Możliwości modernizacji Zestawu Masowej Dekontaminacji Rannych

Wstęp

Współczesne zagrożenia wynikające z użycia substancji chemicznych, biologicznych, radiologicznych i promieniotwórczych (CBRN) stawiają przed siłami zbrojnymi wyzwanie zapewnienia odpowiedniego poziomu ochrony i reakcji w sytuacjach kryzysowych. W zależności od zaistniałego skażenia rozróżnia się następujące rodzaje likwidacji skażeń:

- Odkazanie to proces eliminacji substancji chemicznych ze skażonych powierzchni, który można przeprowadzić na kilka sposobów: metodami fizycznymi (mechanicznymi), takimi jak zmiatanie, ścieranie, oddzielanie zanieczyszczeń od powierzchni oraz odparowanie przy użyciu wysokich temperatur; metodami chemicznymi, polegającymi na zastosowaniu odkazalników reagujących z substancjami szkodliwymi; oraz metodami biochemicznymi, wykorzystującymi drobnoustroje, takie jak bakterie, do neutralizacji zanieczyszczeń.
- Dezaktywacja to proces usuwania substancji promieniotwórczych, który można zrealizować metodami fizycznymi (mechanicznymi), na przykład zmiataniem, trzepaniem, zeskrobywaniem czy zmywaniem, oraz metodami chemicznymi, polegającymi na wiązaniu radionuklidów w formie kompleksów.
- Dezynfekcja natomiast to proces eliminacji patogennych mikroorganizmów, który można przeprowadzić przy użyciu metod chemicznych,

takich jak stosowanie roztworów dezynfekujących, z wykorzystaniem gazowego nadtlenu wodoru czy ozonu, a także metod fizycznych, takich jak wysoka temperatura, promieniowanie UV lub para wodna pod dużym ciśnieniem¹.

Jedynym elementem w siłach zbrojnych zdolnym do odtwarzania zdolności bojowej utraconej w wyniku skażenia jest podsystem likwidacji skażeń realizowany siłami Wojsk Chemicznych. Jednym z kluczowych zadań tego systemu jest możliwość dekontaminacji stanów osobowych², realizowana z wykorzystaniem Łaźni Polowo-Namietowych (ŁPN), takich jak „Millagro”, lub Zestaw Masowej Dekontaminacji Rannych (ZMDR).

ZMDR został opracowany w celu szybkiego i efektywnego usuwania skażeń z osób narażonych na kontakt z niebezpiecznymi substancjami, ze szczególnym uwzględnieniem osób rannych. Odgrywa on kluczową rolę w operacjach wojskowych oraz działaniach ratowniczych prowadzonych w warunkach zagrożenia użyciem broni CBRN, jak również w sytuacjach związanych z awariami przemysłowymi czy niekontrolowanym uwolnieniem toksycznych materiałów. Wraz z postępem technologicznym oraz rosnącym ryzykiem incydentów CBRN, modernizacja i optymalizacja zestawów dekontaminacyjnych stają się nieodzowne. Zestawy do likwidacji skażeń stanów osobowych muszą charakteryzować się nie tylko wysoką skutecznością, ale również mobilnością, niezawodnością oraz zdolnością do działania w warunkach masowego skażenia. W artykule omówione zostaną kluczowe cechy zestawów ZMDR, ich zastosowanie w działaniach bojowych oraz ratunkowych, a także potencjalne kierunki ich dalszej modernizacji. Szczególny nacisk zostanie położony na analizę możliwego ulepszenia pod względem technicznym oraz technologicznym.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie roli ZMDR w zapewnieniu bezpieczeństwa przed zagrożeniami CBRN oraz analiza możliwości ich modernizacji w kontekście dynamicznie zmieniających się zagrożeń i wymagań.

Całkowita likwidacja skażeń

Norma NO-01-A006 określa likwidację skażeń jako proces doprowadzenia stanów osobowych, wyposażenia, infrastruktury do stężenia bezpiecznego, wykorzystując procesy fizyczne i chemiczne³. Zgodnie z doktryną Obrona

¹ W. Harmata (2019). *Ochrona przed skażeniami, cz. IV. Wybrane zagadnienia metodologiczne, organizacyjne i techniczne likwidacji skażeń*. WAT. Warszawa.

² W. Harmata (2019). *Operacyjna likwidacja skażeń*. WAT. Warszawa.

³ *Środki i urządzenia do likwidacji skażeń – Terminologia PN-V-01009:1999 (1999)*. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa.

przed Bronią Masowego Rażenia w Operacjach Połączonych DD-3.8(B) likwidacja skażeń definiowana jest jako „proces, w wyniku którego następuje zmniejszenie lub usunięcie zagrożenia wynikającego z substancji chemicznych, biologicznych, radiologicznych i jądrowych”. Podczas likwidacji skażeń należy realizować niezbędne przedsięwzięcia tak szybko, jak to możliwe, jak najbliżej rejonu skażonego oraz zgodnie z ustalonymi priorytetami. Likwidacja skażeń może przyjmować formę: bierną (naturalna likwidacja skażeń bez angażowania dodatkowych sił i środków) i aktywną (niszczenie substancji w wyniku procesów chemicznych oraz/lub mechanicznych).

Dokument doktrynalny DD-3.8(B) wyróżnia cztery rodzaje likwidacji skażeń aktywnych:

- natychmiastową – realizowaną indywidualnie przez żołnierza natychmiast po skażeniu;
- operacyjną – przeprowadzaną przez skażony pododdział lub pluton chemiczny;
- całkowitą – wykonywaną siłami kompanii chemicznej;
- gruntowną – wymagającą wsparcia strategicznego⁴.

Według NO-01-A006:2010 całkowite odkażanie jest realizowane przez pododdziały specjalistyczne Wojsk Chemicznych, z możliwością wsparcia zewnętrznego lub bez niego, w celu usunięcia skażenia z ludzi, sprzętu, materiałów i/lub terenu operacyjnego. Proces ten umożliwia częściowe lub całkowite zdjęcie indywidualnych środków ochrony przed skażeniem, co pozwala na kontynuowanie działań bojowych przy minimalnym wpływie na zdolności operacyjne sił zbrojnych. Celem przeprowadzenia likwidacji skażeń w pełnym zakresie jest zapewnienie możliwości działania pododdziałów bez konieczności stosowania indywidualnych i zbiorowych środków ochrony. Procedura ta realizowana jest po opuszczeniu strefy skażonej, o ile uwarunkowania czasowe oraz sytuacyjne pozwalają na jej pełne wykonanie⁵.

Zgodnie z podręcznikiem taktycznym SZ USA „FM 3-11”, używanym przez Siły Zbrojne USA, kluczowym celem dekontaminacji jest zmniejszenie lub wyeliminowanie potrzeby stosowania środków ochrony osobistej. Tego rodzaju dekontaminacja jest prowadzona przez wyspecjalizowane pododdziały we współdziałaniu z jednostkami chemicznymi, co umożliwia redukcję poziomu skażenia żołnierzy, sprzętu oraz materiałów do wartości uznawanych za bezpieczne. Dzięki temu możliwe jest wykonywanie zadań operacyjnych bez konieczności stosowania środków ochronnych, które mogłyby ograniczać

⁴ Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(B) (2020). Ministerstwo Obrony Narodowej. Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych im. gen. broni Władysława Sikorskiego. Bydgoszcz.

⁵ NO-01-A006:2010 Obrona przed bronią masowego rażenia – Terminologia (2010). Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji. Warszawa.

zdolności bojowe. Działania te mogą również obejmować oczyszczenie terenu z zanieczyszczeń, co zwiększa bezpieczeństwo operacyjne i logistyczne⁶.

W nomenklaturze Wojsk Chemicznych można wyróżnić dekontaminację skażeń stanów osobowych oraz sprzętu i infrastruktury wojskowej.

Proces dekontaminacji osób polega na usuwaniu lub neutralizowaniu substancji radioaktywnych i toksycznych z powierzchni skóry. Można go podzielić na działania częściowe oraz pełne procedury sanitarne. Siły zbrojne dysponują środkami, które umożliwiają przeprowadzanie głównie częściowej dekontaminacji. Pełne oczyszczanie ludzi realizują specjalistyczne zespoły odfekające, będące częścią jednostek chemicznych. Tworzą one punkty sanitarnego oczyszczania, które są częścią szerszej sieci punktów usuwania zanieczyszczeń. Zabiegi te mogą być również realizowane z użyciem lokalnej infrastruktury, takiej jak łaźnie miejskie, zakładowe lub garnizonowe. Pełne odfekanie przeprowadza się jedynie wtedy, gdy po częściowej dekontaminacji poziom skażenia radioaktywnego pozostaje powyżej bezpiecznych norm. W przypadku skażeń biologicznych, niezależnie od zastosowania odzieży ochronnej i przeprowadzonych częściowych działań, zawsze stosuje się pełną dezynfekcję⁷. Eliminacja skażenia broni, sprzętu bojowego, amunicji i innych materiałów może odbywać się zarówno w formie częściowej, jak i całkowitej. W większości przypadków sprzęt oraz środki do odfekania dostępne dla SZ umożliwiają jedynie częściową likwidację skażeń⁸.

Z powodu występowania Zestawu Masowej Dekontaminacji Rannych w kompaniach chemicznych dalsza część artykułu odnosi się do całkowitej likwidacji skażeń.

Zestaw Masowej Dekontaminacji Rannych (ZMDR)

Zestaw Masowej Dekontaminacji Rannych (ZMDR) jest przeznaczony do eliminacji skażeń u żołnierzy, którzy zostali dotknięci bronią masowego rażenia. Zapewnia on skuteczne oczyszczanie osób narażonych na działanie substancji chemicznych, biologicznych oraz promieniotwórczych.

Czas potrzebny na rozwinięcie ZMDR z pozycji marszowej do pełnej gotowości przyjęcia pierwszych poszkodowanych nie przekracza 55 minut.

⁶ FM 3-11.21 *Multiservice Tactics, Techniques, and Procedures for chemical, biological and nuclear consequence management operations* (2008). U.S. Army.

⁷ W. Harmata (2022). *Stan obecny i koncepcja nowoczesnej platformy do odfekania chemicznego, biologicznego i radioaktywnego*. „Zeszyt naukowy Akademii Wojsk Lądowych”, 54. Wrocław.

⁸ P. Bodurtha, E.F. Gudgin Dickson (2016). *Decontamination science and Personal Protective Equipment (PPE) selection for Chemical-Biological-Radiological-Nuclear (CBRN) events*. „Alberta: Defence Research and Development Canada”.

Konstrukcja namiotów wchodzących w skład zestawu została zoptymalizowana pod kątem szybkości montażu — czteroosobowy zespół jest w stanie rozstawić każdy z nich w czasie nieprzekraczającym czterech minut.

ZMDR składa się z trzech odrębnych stref (namiotów):

- strefa identyfikacji poszkodowanych (rozbieralnia) o powierzchni 20,10 m²,
- strefa likwidacji skażeń (dekontaminacji) o powierzchni 25,20 m²,
- strefa osuszenia (ubieralnia) o powierzchni 20,10 m².

Zestaw ten umożliwia dekontaminację co najmniej 50 poszkodowanych w ciągu jednej godziny. ZMDR jest przechowywany i transportowany na przyczepie o maksymalnej masie całkowitej 3 500 kg, która jest przystosowana do sprzęgania z pojazdem ciężarowym lub osobowym. W przypadku rannych ich odkażeniem zajmuje się obsługa ZMDR⁹.



Ryc. 1. Zdjęcie poglądowe ZMDR

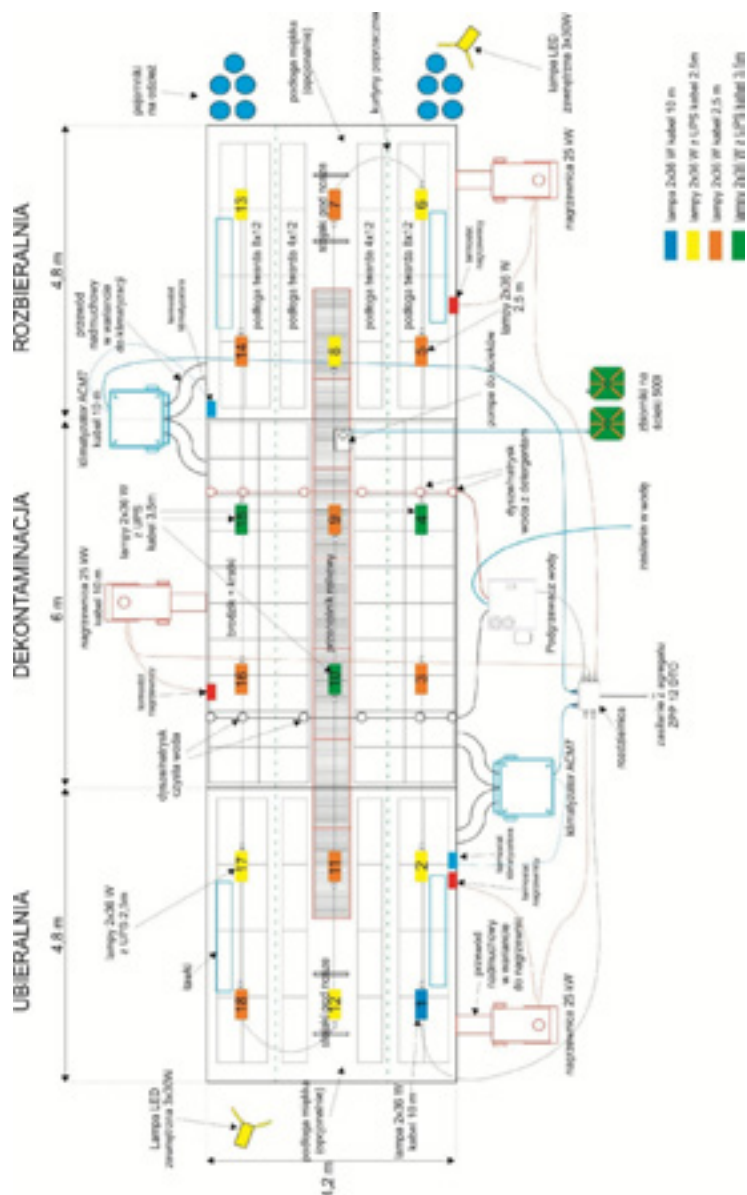
Źródło: *Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.



Ryc. 2. Przyczepa ZMDR przygotowana do przemieszczenia

Źródło: *Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.

⁹ *Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.



Ryc. 3. Schemat rozwiniętego ZMDR

Źródło: *Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.

Możliwości modernizacji

Dostosowanie systemu jezdnego przyczepy do współczesnych wymagań

Prześwit stanowi kluczowy element w projektowaniu i funkcjonowaniu pojazdów i przyczep, zwłaszcza tych używanych w ekstremalnych warunkach, takich jak operacje wojskowe. Duży prześwit to większa odległość między podwoziem a podłożem, co umożliwia skuteczne pokonywanie przeszkód terenowych – takich jak kamienie, wystające korzenie drzew, głębokie kałuże, błoto czy inne nierówności – bez obaw o uszkodzenie podwozia. Jest to szczególnie ważne w trudnych warunkach, gdzie standardowe podwozia mogłyby utknąć lub ulec awarii. Zwiększony prześwit pozwala także na bezpieczne przemieszczanie się po niestabilnych nawierzchniach, takich jak piasek, śnieg czy błoto, minimalizując ryzyko zakopania się pojazdu. Im wyższy prześwit, tym łatwiejsze staje się manewrowanie w trudnym terenie, ponieważ umożliwia omijanie przeszkód, które w przypadku pojazdów z niskim podwoziem mogłyby spowodować ich unieruchomienie lub uszkodzenie. Jest to szczególnie istotne w kontekście działań wojskowych, gdzie mobilność i zdolność do szybkiego reagowania na zmieniające się warunki terenowe ma kluczowe znaczenie dla powodzenia misji. Ponadto wyższy prześwit oznacza lepsze kąty najazdu i zejścia, co zwiększa możliwości w pokonywaniu stromych wzniesień i ostrych zjazdów, co jest nieocenione w operacjach na trudnych terenach. W badaniach nad pojazdami podkreśla się, że odpowiednio dobrany prześwit znacząco poprawia ich zdolności operacyjne, zwiększając wszechstronność i niezawodność. V.V. Jagirdar i M.W. Trikande w publikacji *Terrain Accessibility Prediction for a New Multi-axle Armoured Wheeled Vehicle* analizują, w jaki sposób m.in. prześwit oraz rozmiary opon wpływają na mobilność pojazdów wojskowych. Wyniki tych badań potwierdzają, że większy prześwit umożliwia sprawne poruszanie się po zróżnicowanych terenach, zapewnia ochronę przed uszkodzeniami i poprawia efektywność działań. W warunkach bojowych, gdzie liczy się szybkie i niezawodne przemieszczanie, jego odpowiednia wysokość może przesądzić o powodzeniu misji¹⁰.

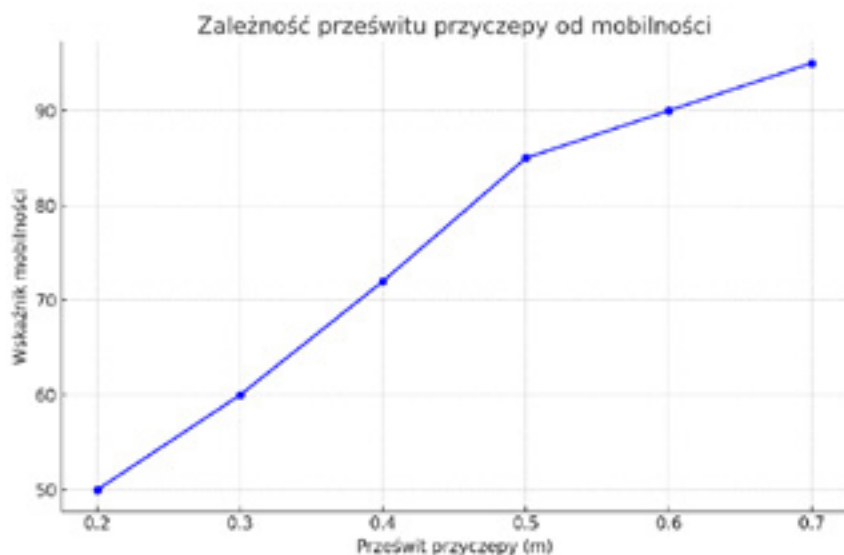
¹⁰ V.V. Jagirdar, M.W. Trikande (2019). *Terrain Accessibility Prediction for a New Multi-axle Armoured Wheeled Vehicle*. „Defence Science Journal” Vol. 69, No. 2.



Ryc. 4. Zdjęcia rzeczywiste przyczepy oraz jej prześwitu
Źródło: Materiały własne.



Ryc. 5. Zdjęcia rzeczywiste prześwitu przyczepy
Źródło: Materiały własne.



Ryc. 6. Wykres zależności prześwitu przyczepy od jej mobilności

Źródło: M. Alexander (1990). *High-Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle/High-Mobility Trailer (HMMWV/HMT) Brake Analysis*. Michigan, s. 14-19.

Nisko położone zawieszenie przyczepy ZMDR umożliwia szybkie i wygodne opróżnianie jej zawartości. Jednocześnie zbyt mały prześwit staje się czynnikiem ograniczającym podczas planowania marszu oraz wyboru rejonów działania. Niskie zawieszenie powoduje brak możliwości przejazdu przez drogi poligonowe oraz nieutwardzone. W efekcie, przy planowaniu rejonu ześrodkowania dowódca musi uwzględniać przede wszystkim ograniczoną przejezdność zestawu.

Proponowanym rozwiązaniem jest zastosowanie przyczepy transportowej lepiej dostosowanej do wymogów współczesnego pola walki, zapewniającej większą mobilność zestawu.

Rurki konstrukcyjne do budowy stelaża



Ryc. 7. Rurki konstrukcyjne do montażu namiotu

Źródło: *Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.



Ryc. 8. Uszkodzone rurki konstrukcyjne

Źródło: Materiały własne.

Rurki konstrukcyjne, choć są lekkie, nie spełniają swojej roli z powodu małej wytrzymałości, szczególnie w miejscach łączeń i punktach podparcia. Nieostrożne rozładowanie, załadowanie lub rozstawianie ZMDR skutkuje połamanymi tyczkami, których konstrukcja uniemożliwia ich natychmiastową naprawę.

Należałoby zmienić materiał konstrukcyjny rurek na równie lekki, a zarazem bardziej wytrzymały. Do podanego opisu zastosowanie znalazłyby nanokompozyty. Drugim rozwiązaniem mogłyby być rurki metalowe dodatkowo mocowane w istniejących.

Zjawisko złamania rurek konstrukcyjnych w miejscu połączenia nita jest często wynikiem słabego projektu strukturalnego, gdy siły działające na złącze przekraczają wytrzymałość materiału. Aby zrozumieć to zagadnienie, warto przyjrzeć się kilku kluczowym aspektom wytrzymałości materiałów oraz metodom wzmacniania rurek konstrukcyjnych. Poniżej wyjaśniono, dlaczego dochodzi do złamania oraz w jaki sposób włożenie rurki metalowej do środka podnosi wytrzymałość całego układu.

Zjawisko koncentracji naprężeń w miejscu połączenia nita

W miejscach połączeń, takich jak nitowanie, dochodzi do tzw. koncentracji naprężeń, co oznacza, że siły działające na rurkę skupiają się w obszarze otworu wykonanego na nita. W literaturze naukowej wielokrotnie wskazuje się, że otwory w konstrukcjach rurowych mogą osłabiać wytrzymałość całej struktury. Badania wykazują, że otwory na nity generują lokalne osłabienie, co zwiększa ryzyko pęknięcia pod wpływem sił zewnętrznych¹¹.

Oslabienie rurki w miejscu połączenia nitem

Nitowanie wiąże się z mechanicznym łączeniem elementów poprzez ściskanie. W momencie, gdy w rurce wiercony jest otwór na nita, jej przekrój poprzeczny zostaje zmniejszony, co skutkuje osłabieniem całego elementu w tym miejscu. W rezultacie, przy działaniu sił rozciągających lub zginających, rurka często pęka lub łamie się w obszarze połączenia. Wpływ osłabienia wynikającego z nitowania analizowano w kontekście konstrukcji stalowych, gdzie zauważono, że otwory znacząco wpływają na wytrzymałość zmęczeniową rurek¹².

¹¹ Stelze C. (2007). *Drillpipe Failure and its Prediction*. Ph.D. dissertation. Mining University Leoben. Leoben.

¹² A. Korbel, E. Szymczyk, A. Skorupa (2013). *Eksperymentalna i numeryczna analiza procesu instalacji nitu*. „Biuletyn WAT” Vol. LXII, Nr 2.

Proponowana modernizacja

Zwiększenie wytrzymałości poprzez włożenie dodatkowej rurki

Włożenie dodatkowej rurki metalowej do wnętrza rurki konstrukcyjnej stanowi przykład wzmocnienia przez zastosowanie wkładki. Takie rozwiązanie znacząco podnosi wytrzymałość rury poprzez:

- Zwiększenie momentu bezwładności: włożenie metalowej rurki zwiększa moment bezwładności przekroju, co wpływa na wytrzymałość na zginanie i rozciąganie. Większy moment bezwładności oznacza, że element jest bardziej odporny na odkształcenia przy działaniu sił.
- Rozkład obciążeń: wewnętrzna rurka przejmuje część obciążeń, rozkładając je równomierniej na całą konstrukcję. Dzięki temu siły nie koncentrują się jedynie w miejscu połączenia nita, co zmniejsza ryzyko pęknięcia w tej strefie.
- Zwiększenie sztywności strukturalnej: wzmacniając strukturę od wewnątrz, poprawia się jej sztywność i odporność na zginanie, co jest szczególnie istotne w przypadku długich rurek narażonych na ugięcie pod wpływem ciężaru lub innych sił.

W praktyce inżynierskiej stosowanie wkładek metalowych w rurkach jest powszechne w przypadku konstrukcji takich jak ramy rowerowe, elementy konstrukcji lotniczych oraz w budowie lekkich, ale wytrzymałych stelaży. Przykłady z inżynierii mechanicznej i lotniczej wskazują, że wzmacnianie rurek wewnętrznymi wkładkami może nawet kilkukrotnie zwiększyć ich wytrzymałość na zmęczenie oraz dynamiczne obciążenia¹³.

Złamanie rurek konstrukcyjnych w miejscach połączeń nitowanych wynika z koncentracji naprężeń oraz osłabienia przekroju. Włożenie metalowej rurki wewnątrz pierwotnej konstrukcji poprawia wytrzymałość, ponieważ zmienia rozkład sił i zwiększa moment bezwładności struktury. Badania naukowe potwierdzają, że takie rozwiązanie znacząco podnosi odporność konstrukcji na pękanie oraz zmęczenie materiału, co jest kluczowe w wielu zastosowaniach wojskowych.

¹³ T.L. Anderson (2017). *Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications*. CRC Press.

Rozkładanie namiotów rekomendowane na płaskim podłożu



Ryc. 9. Namiot po rozciągnięciu stelaża – przygotowany do podniesienia

Źródło: *Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.



Ryc. 10. Namiot podniesiony na wysokość tyczek

Źródło: *Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.



Ryc. 11. Zdjęcie terenu wokół rozstawionego namiotu

Źródło: Materiały własne.

Powyżej pokazano zdjęcia podczas rozstawiania ZMDR pochodzące od producenta, a następnie zdjęcie realnego terenu podczas wykonywania zadań przez żołnierzy. Jak widać, namiot testowy był rozkładany na płaskim podłożu, na kostce brukowej. W działaniach polowych rzadko mamy do czynienia z tak przygotowanym podłożem, co skutkuje wydłużonym czasem poszukiwania odpowiedniej destynacji na plac likwidacji skażeń stanów osobowych.

Rozkładanie namiotów na nierównym podłożu wiąże się z szeregiem wyzwań technicznych, które mogą znacząco wpłynąć na stabilność i funkcjonalność konstrukcji. Mimo że optymalnym rozwiązaniem jest ustawianie namiotów na płaskim terenie, w praktyce, np. w sytuacjach ratunkowych i wojskowych, często konieczne jest rozkładanie namiotów na terenach nierównych. Poniżej opisano główne problemy wynikające z rozstawiania namiotów na nierównym terenie, bazując na literaturze naukowej.

Problem łączenia modułów namiotu na nierównym podłożu

Nierówne podłoże utrudnia prawidłowe połączenie modułowych segmentów namiotów, ponieważ systemy łączeń są zwykle projektowane z myślą o równej powierzchni, umożliwiając precyzyjne dopasowanie elementów. Na nierównym terenie segmenty mogą być względem siebie przechylone, co powoduje powstawanie szczelin i trudności w zachowaniu szczelności konstrukcji. W przypadku modułowych struktur namiotowych kluczowym problemem staje się uzyskanie odpowiedniego dopasowania na nierównym gruncie, co potwierdza praktyka rozstawiania ZMDR.

Wzrost ryzyka mechanicznych uszkodzeń

Nierówny teren zwiększa ryzyko mechanicznych uszkodzeń tkaniny namiotowej oraz osłabienia konstrukcji na skutek większych naprężeń w miejscach, gdzie materiał styka się z twardymi elementami podłoża, takimi jak kamienie. Badania nad wytrzymałością namiotów na różnych rodzajach terenu wykazały, że konieczne jest stosowanie materiałów odpornych na przetarcia oraz dodatkowych zabezpieczeń w punktach styku z podłożem¹⁴.



Ryc. 12. Uszkodzenie mechaniczne powstałe w wyniku uszkodzeń mechanicznych w wyniku nierównego podłoża

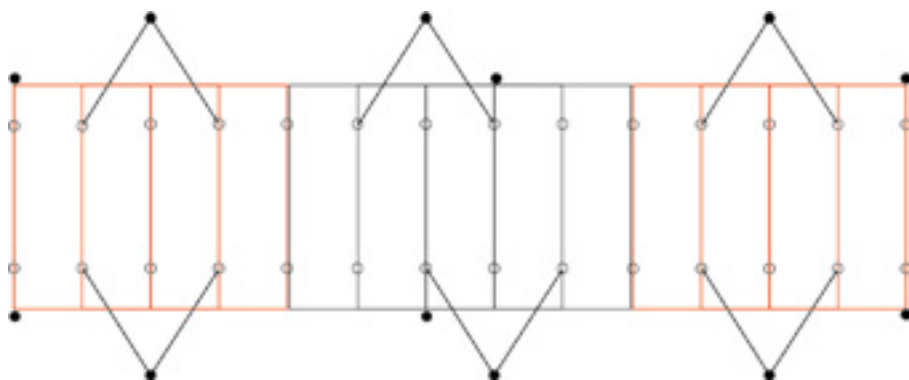
Źródło: Materiały własne.

¹⁴ N. O'Brien Melin (2004). *Application of Bennett mechanisms to long-span shelters*. A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the Department of Engineering Science at the University of Oxford Magdalen College Trinity Term. University of Oxford. Wielka Brytania.

Proponowane rozwiązanie

Zastosowanie zintegrowanych, wytrzymałych mat terenowych pod namioty, szczególnie na nierównym podłożu, zapewnia stabilne i antypoślizgowe podłoże, które chroni materiał namiotowy przed przetarciami oraz ułatwia montaż konstrukcji. Takie maty tworzą równą powierzchnię, zmniejszając ryzyko przesunięć i kołysania namiotu, co znacząco zwiększa komfort użytkowników, a ich właściwości antypoślizgowe ograniczają ryzyko poślizgnięcia się, co jest szczególnie istotne w trudnych warunkach pogodowych. Dodatkowo działają jako bariera między podłożem a materiałem namiotowym, chroniąc go przed mechanicznymi uszkodzeniami oraz wydłużając jego trwałość, co jest korzystne zarówno ekonomicznie, jak i ekologicznie. Zintegrowane maty ułatwiają także proces rozkładania namiotów, tworząc równą powierzchnię, co pozwala na szybkie przygotowanie, a jednocześnie optymalizują przestrzeń wokół namiotu, ułatwiając ustawienie sprzętu i wyposażenia wojskowego. Ponadto stosowanie mat chroni systemy montażowe namiotu przed uszkodzeniami spowodowanymi nierównościami terenu, co przekłada się na ich dłuższą żywotność i większą niezawodność w trudnych warunkach¹⁵.

Kotwiczenie namiotów w warunkach miejskich



Ryc. 13. Schemat rozmieszczenia śledzi (czarne kropki) i odciągów

Źródło: *Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.

¹⁵ L. Prasittisopin, W. Ferdous, V. Kamchoom (2023). *Microplastics in construction and built environment*. „Developments in the Built Environment”, 15, 100188.



Ryc. 14. Miejsca umieszczenia śledzi

Źródło: *Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.

Wymogi stabilnego kotwiczenia namiotów w warunkach miejskich

Użytkowanie Zestawu Masowej Dekontaminacji Rannych jest możliwe zarówno w warunkach poligonowych, jak i zurbanizowanych. Warto zwrócić uwagę na prawidłowy montaż na podłożu utwardzonym. Kotwiczenie namiotów w warunkach miejskich często wymaga użycia specjalistycznego sprzętu, takiego jak wiertarki i kołki rozporowe, aby zapewnić stabilne mocowanie na twardych powierzchniach, takich jak beton czy asfalt. Jest to szczególnie istotne w miejscach, gdzie niemożliwe jest użycie tradycyjnych śledzi wbijanych w ziemię, jak ma to miejsce w terenie naturalnym. Zgodnie z instrukcją ZMDR należy nawiercić odpowiednie otwory w podłożu przed zastosowaniem kołka¹⁶.

¹⁶ *Instrukcja Obsługi... Op. cit.*

Brak sprzętu do wiercenia otworów – wyzwania i alternatywne rozwiązania

W zestawie nie przewidziano odpowiedniego wyposażenia pozwalającego wykonywać omawianą procedurę.

W sytuacjach, gdy brakuje wiertarek i wiertel, proces kotwiczenia konstrukcji staje się wyzwaniem. Standardowe śledzie i kotwy wymagają otworów, których brak uniemożliwia ich wykorzystanie. W konsekwencji konieczne jest poszukiwanie alternatywnych metod stabilizacji konstrukcji. W zależności od rodzaju podłoża i warunków terenowych stosowane są różne rozwiązania, które zapewniają stabilność bez wiercenia. Alternatywne sposoby stabilizacji konstrukcji:

- Obciążniki balastowe – w sytuacjach miejskich, gdzie nie można przeprowadzać wiercenia, obciążniki balastowe stają się popularnym rozwiązaniem. Stosuje się worki z piaskiem, pojemniki z wodą lub betonowe bloki, które rozmieszcza się wokół podstaw konstrukcji, aby zapobiec jej przesunięciu. Ten sposób jest szczególnie użyteczny w miejscach, gdzie nie można uszkodzić nawierzchni i nie wymaga specjalistycznego sprzętu.
- Mocowanie za pomocą taśm i kotew chemicznych – alternatywne podejście polega na wykorzystaniu taśm mocujących, które można przymocować do istniejących elementów infrastruktury, takich jak barierki, słupy czy latarnie.
- W niektórych przypadkach stosuje się również kotwy chemiczne, które pozwalają na stabilne zamocowanie bez wiercenia.

Te metody wymagają jednak dodatkowej oceny stabilności konstrukcji, zwłaszcza w kontekście bezpieczeństwa¹⁷.

Dostosowanie do wymagań terenowych i regulacji miejskich

W warunkach miejskich często obowiązują dodatkowe regulacje dotyczące ingerencji w nawierzchnię, co może wymagać uzyskania zgody na wiercenie otworów w chodnikach czy placach. W takim przypadku nie tylko brak wiertarki i wiertła może stanowić problem, lecz także ograniczenia formalne. Dlatego ważne jest, aby instrukcje montażu namiotów przewidywały możliwość alternatywnych metod stabilizacji, zgodnych z lokalnymi przepisami¹⁸.

¹⁷ P. Ribas, M. Catalina (2024). *Nature-based solutions in coastal protection: the use of bio-reefs and seagrass barriers*. MS thesis. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.

¹⁸ Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 12 listopada 2010 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo budowlane. Dz.U. 2010 nr 243 poz. 1623.

Proponowana modernizacja

Kotwiczenie namiotów w warunkach miejskich według instrukcji często wymaga użycia wiertarki do wykonania otworów pod śledzie, co zapewnia stabilność konstrukcji na twardym podłożu. W przypadku braku wiertarki i wiertła należy rozważyć alternatywne metody, takie jak obciążniki balastowe, kotwy chemiczne czy mocowanie do stałych elementów infrastruktury miejskiej. Każda z tych metod ma swoje ograniczenia, szczególnie w kontekście odporności na warunki atmosferyczne i wymagań formalno-prawnych. Odpowiednie przygotowanie i uwzględnienie specyfiki miejsca montażu są kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa i funkcjonalności namiotów w warunkach miejskich.

Wnioski

Rozwój zagrożeń związanych z użyciem substancji chemicznych, biologicznych, radiologicznych i nuklearnych (CBRN) stawia przed siłami zbrojnymi nowe wyzwania, które wymagają zarówno efektywnej dekontaminacji, jak i ciągłej modernizacji sprzętu. Zestaw Masowej Dekontaminacji Rannych (ZMDR) stanowi kluczowy element infrastruktury obronnej, umożliwiając szybkie i skuteczne oczyszczanie osób narażonych na niebezpieczne substancje oraz zapewniając ochronę operacyjną zarówno w środowisku militarnym, jak i cywilnym. Wyniki analizy wskazują na kilka obszarów potencjalnych usprawnień ZMDR, które mogą zwiększyć jego funkcjonalność i trwałość w trudnych warunkach polowych i miejskich:

1. Mobilność i adaptacja w trudnym terenie. Zidentyfikowano potrzebę dostosowania przyczepy transportowej ZMDR do wymagań współczesnego pola walki, co pozwoliłoby na większą mobilność i lepsze pokonywanie trudnych terenów. Podwyższenie prześwitu przyczepy zapewni zdolność przemieszczania się po nieutwardzonych drogach, eliminując ograniczenia wynikające z obecnego niskiego zawieszenia. Takie rozwiązanie zwiększyłoby elastyczność i skuteczność ZMDR w operacjach wojskowych, umożliwiając szybki dostęp do rejonów skażeń.
2. Zwiększenie wytrzymałości konstrukcji. Elementy konstrukcyjne, takie jak rurki stelażowe namiotów, wymagają modyfikacji materiałowej. Aktualne rurki wykazują niską wytrzymałość, szczególnie w miejscach łączeń, co prowadzi do ich pęknięcia i uszkodzeń. Zastosowanie wzmocnionych materiałów, np. nanokompozytów lub dodatkowych metalowych wkładek, może znacząco poprawić trwałość i odporność na uszkodzenia mechaniczne. Rozwiązanie to zmniejszyłoby częstotliwość

- napraw i zwiększy niezawodność sprzętu, co jest kluczowe w warunkach operacyjnych.
3. Stabilność i funkcjonalność na nierównym podłożu. Obecna konstrukcja namiotów wymaga rozstawiania na płaskiej powierzchni, co stanowi wyzwanie w warunkach polowych. Zastosowanie wytrzymałych, zintegrowanych mat terenowych ułatwiłoby rozkładanie namiotów na nierównym podłożu, jednocześnie zwiększając stabilność konstrukcji i chroniąc materiał namiotowy przed uszkodzeniami mechanicznymi. Zmiana ta poprawiłaby efektywność i bezpieczeństwo użytkowania ZMDR w zróżnicowanych warunkach terenowych, skracając czas potrzebny na przygotowanie stanowiska dekontaminacyjnego.
 4. Alternatywne metody kotwiczenia w warunkach miejskich. W warunkach miejskich, gdzie tradycyjne metody kotwiczenia są niemożliwe, istnieje potrzeba stosowania specjalistycznych rozwiązań, takich jak obciążniki balastowe czy kotwy chemiczne. Zmiana ta umożliwiłaby bezpieczne mocowanie namiotów na twardych powierzchniach (np. betonowych), co jest istotne w sytuacjach, gdy wiercenie otworów w podłożu jest niemożliwe. Takie rozwiązania wymagają dodatkowego sprzętu i materiałów, co powinno być uwzględnione w wyposażeniu ZMDR.

Wprowadzenie proponowanych usprawnień zwiększyłoby mobilność, wytrzymałość oraz zdolność ZMDR do efektywnego działania w różnych warunkach terenowych. Współczesne wymagania pola walki oraz rosnąca potrzeba ochrony cywilnej sprawiają, że modernizacja zestawów dekontaminacyjnych jest kluczowa dla zapewnienia skutecznej reakcji na incydenty CBRN. Rekomendowane zmiany przyczynią się do podniesienia niezawodności i efektywności ZMDR, stanowiąc fundament dalszych prac nad innowacyjnymi rozwiązaniami w zakresie ochrony przed zagrożeniami CBRN.

Bibliografia

- Alexander M. (1990). *High-Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle/High-Mobility Trailer (HMMWV/HMT) Brake Analysis*. Michigan.
- Anderson T.L. (2005). *Fracture mechanics: fundamentals and applications*. CRC Press.
- Bodurtha P., Gudgin Dickson E.F. (2016). *Decontamination science and Personal Protective Equipment (PPE) selection for Chemical-Biological-Radiological-Nuclear (CBRN) events*. „Alberta: Defence Research and Development Canada”.
- FM 3-11.21 *Multiservice Tactics, Techniques, and Procedures for chemical, biological and nuclear consequence management operations* (2008). U.S. Army.
- Harmata W. (2019). *Ochrona przed skażeniami: Wybrane zagadnienia metodologiczne, organizacyjne i techniczne likwidacji skażeń*. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa.

- Harmata W. (2020). *Operacyjna likwidacja skażeń*. „Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej”, 69(2).
- Harmata W. (2022). *Stan obecny i koncepcja nowoczesnej platformy do odkażania chemicznego, biologicznego i radioaktywnego*. „Zeszyt naukowy Akademii Wojsk Lądowych”, 54. Wrocław.
- Instrukcja Obsługi. Zestaw do masowej dekontaminacji rannych* (2014). Agregaty PEX POOL-PLUS. Dębica. Wydanie I.
- Jagirdar V.V., Trikande M.W. (2019). *Terrain Accessibility Prediction for a New Multi-axle Armoured Wheeled Vehicle*. „Defence Science Journal” Vol. 69, No. 2.
- Korbel A., Szymczyk E., Skorupa A. (2013). *Eksperymentalna i numeryczna analiza procesu instalacji nitu*. „Biuletyn WAT” Vol. LXII, Nr 2.
- NO-01-A006:2010 *Obrona przed bronią masowego rażenia – Terminologia* (2010). Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji. Warszawa.
- O’Brien Melin N. (2004). *Application of Bennett mechanisms to long-span shelters*. A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the Department of Engineering Science at the University of Oxford Magdalen College Trinity Term. University of Oxford. Wielka Brytania.
- Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(B)* (2020). Ministerstwo Obrony Narodowej. Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych im. gen. broni Władysława Sikorskiego. Bydgoszcz.
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 12 listopada 2010 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo budowlane. Dz.U. 2010 nr 243 poz. 1623.
- Prasittisopin L., Ferdous W., Kamchoom V. (2023). *Microplastics in construction and built environment*. „Developments in the Built Environment”, 15, 100188.
- Ribas P., Catalina M. (2024). *Nature-based solutions in coastal protection: the use of bio-reefs and seagrass barriers*. MS thesis. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Środki i urządzenia do likwidacji skażeń – Terminologia PN-V-01009:1999 (1999). Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa.
- Stelzer C. (2007). *Drillpipe Failure and its Prediction*. Ph.D. dissertation. Mining University Leoben. Leoben.

Abstrakt

Wzrost zagrożeń związanych z użyciem substancji chemicznych, biologicznych, radiologicznych i promieniotwórczych (CBRN) stanowi istotne wyzwanie dla współczesnych sił zbrojnych, które zobligowane są do zapewnienia skutecznej ochrony oraz sprawnego reagowania w sytuacjach kryzysowych. Jednym z kluczowych komponentów systemu przeciwdziałania skutkom takich zdarzeń jest Zestaw Masowej Dekontaminacji Rannych (ZMDR), przeznaczony do szybkiego i efektywnego usuwania skażeń z ciał osób narażonych na działanie niebezpiecznych substancji, w tym także osób poszkodowanych wymagających natychmiastowej pomocy. Celem niniejszej pracy jest analiza funkcjonalności oraz możliwości modernizacji ZMDR w kontekście dynamicznie ewoluujących zagrożeń CBRN oraz rosnących wymagań operacyjnych.

W artykule omówiono najważniejsze cechy ZMDR, takie jak mobilność, odporność konstrukcyjna czy zdolność do prowadzenia działań w warunkach zróżnicowanego i trudnego terenu. Przedstawiono również rekomendacje dotyczące potencjalnych modyfikacji podnoszących efektywność zestawu, obejmujące m.in.: zwiększenie prześwitu przyczepy transportowej, zastosowanie bardziej wytrzymałych materiałów konstrukcyjnych oraz wprowadzenie alternatywnych metod stabilizacji w środowisku zurbanizowanym.

Possibilities for Modernizing the Mass Casualty Decontamination System

Abstract

The increase in threats related to the use of chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) substances poses a significant challenge for modern armed forces, which must ensure effective protection and rapid response in crisis situations. A key element of this system is the Mass Casualty Decontamination Kit (ZMDR), designed for the swift and effective removal of contaminants from individuals exposed to hazardous substances, including injured personnel requiring immediate assistance. The purpose of this paper is to analyze the functions and modernization possibilities of ZMDR in the context of dynamically changing CBRN threats and growing operational requirements. The article discusses key features of ZMDR, such as mobility, structural durability, and operational capability in challenging terrains. It also presents recommendations for potential modifications that could enhance the ZMDR's functionality, including increased trailer clearance, the use of more durable construction materials, and alternative stabilization methods for urban environments.

Słowa kluczowe: inżynieria bezpieczeństwa, nauki o bezpieczeństwie, wojska chemiczne, likwidacja skażeń stanów osobowych, łącznia polowo namiotowa

Keywords: safety engineering, security studies, chemical troops, personnel decontamination, field tent decontamination shower