

Janusz ŚLIWIŃSKI¹
Ireneusz PLEBANKIEWICZ¹
Ireneusz LUBACH¹
Wacław MALEJ¹
Cezary ŚLIWIŃSKI¹
Patrycja WOJCIESZYŃSKA¹

KONCEPCJA BUTÓW PRZECIWWYBUCHOWYCH

1. Wstęp

Działania bojowe, patrolowe, misje interwencyjne i stabilizacyjne oraz działania antyterrorystyczne prowadzone są zarówno w terenie otwartym, zróżnicowanym pod względem rodzaju gruntu i poszycia roślinnego, jak również zabudowanym – coraz częściej o gęstej i wysokiej zabudowie. W czasie tych działań, saperzy opuszczają pojazdy i wykonują zadania minerskie związane z wykrywaniem i usuwaniem min, improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED) oraz pułapek zawierających ostre elementy stalowe i materiał wybuchowy. Zadania te są o tyle niebezpieczne, że w czasie ich wykonywania, saperzy narażeni są na nieprzewidywalne wybuchy wykrywanych urządzeń oraz na ostrzał przeciwnika. Należy mieć na uwadze również to, że wykrywane urządzenia mogą działać w trybie automatycznym, lub mogą być detonowane zdalnie radiowo lub przewodowo przez przeciwnika. Zasadniczym czynnikiem rażenia tych urządzeń jest fala uderzeniowa generowana detonacją materiału wybuchowego i odłamki.

2. Współczesne konstrukcje butów przeciwybuchowych

Ważnym elementem ubioru umożliwiającym saperom bezpieczne wykonywanie prac minerskich są buty przeciwybuchowe. Podstawowym zadaniem butów przeciwybuchowych, jest sygnalizowanie obecności w gruncie przedmiotów niebezpiecznych i przewodów elektrycznych sterujących ich detonacją, tuż przed postawieniem buta na ziemię. W przypadku niezamierzonej detonacji materiału wybuchowego przedmiotu niebezpiecznego, zadaniem takich butów jest rozproszenie energii impulsu fali uderzeniowej oraz wylapanie odłamków wytworzonych z jego kadłuba.

¹ mgr inż. Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. Profesora Józefa Kosackiego

Aktualnie istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych butów przeciwybuchowych i nakładek przeciwybuchowych na typowe buty wojskowe stosowanych przez saperów.

Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych butów przeciwminowych przedstawiono na rys.1.



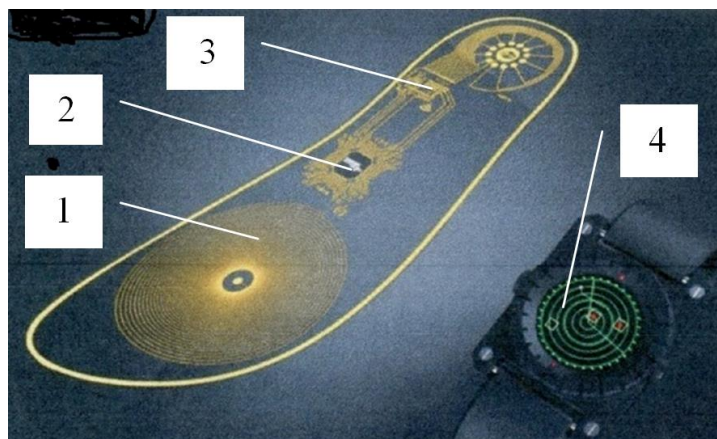
Rys. 1. Konstrukcje butów przeciwminowych produkcji:
A-niemieckiej [1]; B i C-singapurskiej [2]; D-amerykańskiej [1]

Przykłady rozwiązań nakładek przeciwybuchowych na typowe buty wojskowe przedstawiono na rys. 2. Wariant brytyjskich nakładek na buty przeciwybuchowych w trakcie badań wytrzymałościowych spodów przedstawiono na rys 2 C. Buty te opracowano w wyniku licznych wypadków zranień saperów usuwających miny po zakończonym konflikcie zbrojnym na Falklandach [4]. W trakcie badań butów przeciwybuchowych stwierdzono, że żołnierz w takich butach powinien swobodnie (ergonomicznie) wykonywać swoje zadanie w trudnym terenie. Stwierdzono również, że buty przeciwybuchowe nie powinny być za ciężkie oraz niekształtne.



Rys. 2. Konstrukcje nakładek przeciwybuchowych na buty wojskowe produkcji:
 A – izraelskiej [3]; B – kanadyjskiej [2]; C – angielskiej [4]; D – pakistańskiej [2];
 E – amerykańskiej [1]

Kolumbijska firma Lemur Studio Design opracowała urządzenie o nazwie SeaveOneLife, działające na zasadzie wykrywacza, przeznaczone do montowania w typowym obuwiu roboczym (rys. 3).

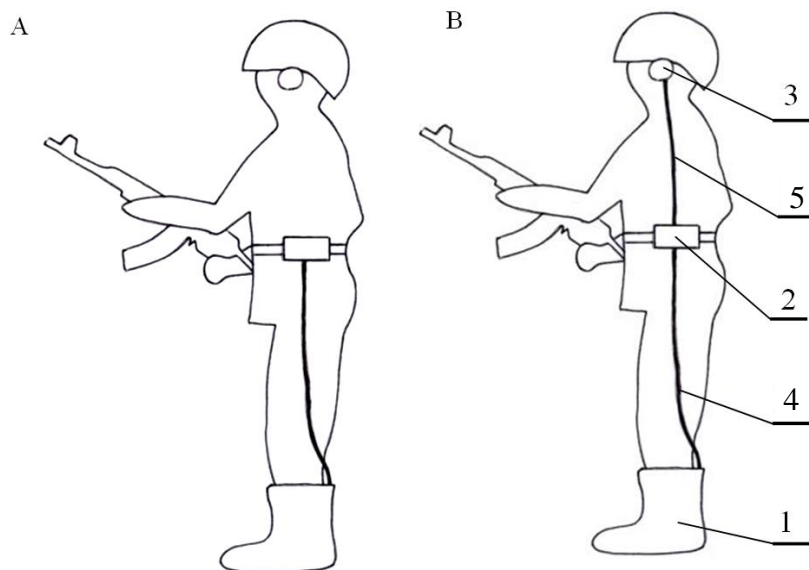


Rys. 3. Schemat urządzenia wykrywającego miny w postaci wkładki do buta [5].
1 – cewka indukcyjna; 2 – mikroprocesor, 3 – nadajnik radiowy; 4 – wyświetlacz

Urządzenie to ma postać wkładki do buta wykonanej z materiału przewodzącego, w której osadzona jest płaska cewka 1, mikroprocesor 2 oraz nadajnik radiowy 3. Sygnał z nadajnika o wykrytej minie, przekazywany jest na wyświetlacz 4 w postaci zegarka, który założony jest na rękę. W chwili wykrycia miny rozlega się sygnał akustyczny, a na ekranie wyświetlacza zegarka pokazuje się miejsce położenie miny względem buta [5]. Opracowane urządzenie przeznaczone jest zarówno dla saperów, jak i ludności cywilnej. Powyższe spowodowane jest tym, że Kolumbia, zaraz po Afganistanie jest krajem o największym zaminowaniu. Saperzy kolumbijscy wykrywający i usuwający miny wyposażeni nie tylko w ręczne wykrywacze min, ale również buty z wkładkami wykrywającymi i lokalizującymi miny. Stanowią one dodatkową ochronę życia sapersa. W konstrukcji butów przeciwybuchowych wykorzystuje się nowoczesne technologie z dziedziny materiałów kompozytowych oraz pianek z tworzyw sztucznych o dużej gęstości. Do produkcji butów wykorzystuje się między innymi wysokiej jakości skóry wodoodporne i paroprzepuszczalne.

3. Koncepcja zestawu butów przeciwybuchowych

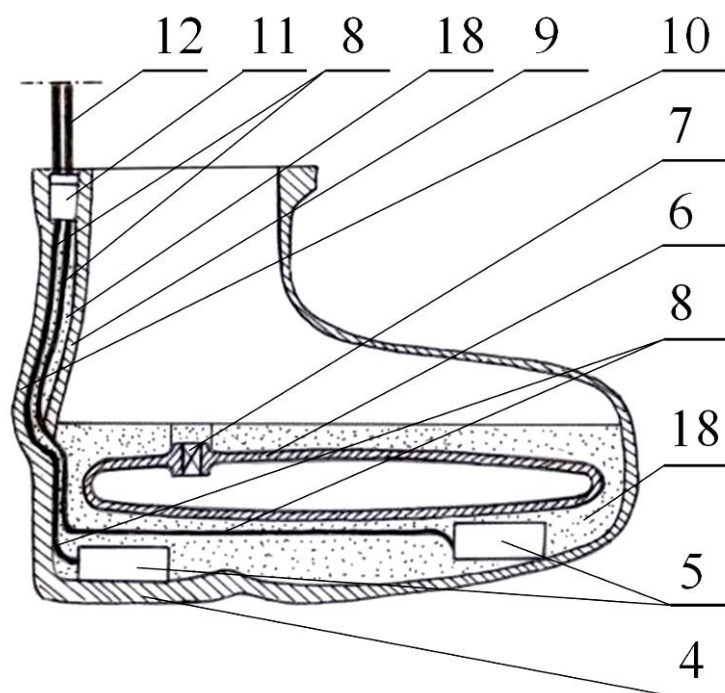
W Wojskowym Instytucie Techniki Inżynierskiej we Wrocławiu (WITI) opracowano koncepcję butów przeciwybuchowych przeznaczonych dla żołnierzy jednostek saperskich i antyterrorystycznych oraz żołnierzy innych jednostek specjalnych, prowadzących działania w terenie zagrożonym wybuchem min, urządzeń IED oraz obecnością niebezpiecznych pułapek stanowiących zagrożenie utraty życia lub okaleczenia ciała. Koncepcję butów przeciwybuchowych przedstawiono poniżej na rysunkach, na których rys. 4 przedstawia żołnierza wyposażonego w buty przeciwybuchowe, rys. 5 – buty przeciwybuchowe w przekroju wzdłużnym, natomiast rys. 6 – schemat funkcjonalny butów przeciwybuchowych. Buty przeciwybuchowe 1 zawierają blok obróbki sygnałów 2 oraz słuchawki 3.



Rys. 4. Żołnierz wyposażony w buty przeciwybuchowe [6].

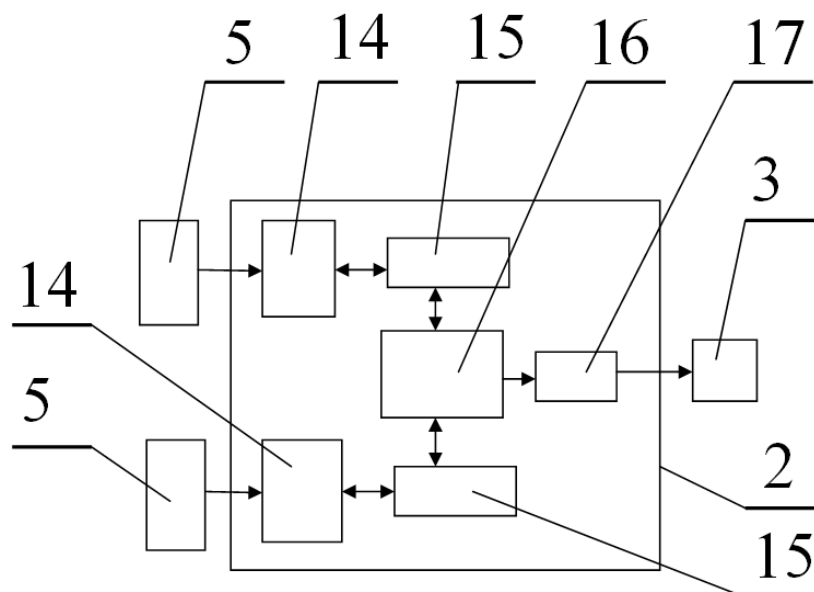
A – w wersji z radiowym przekazywaniem sygnału na słuchawki; B – w wersji z przewodowym przekazywaniem sygnału na słuchawki

1 – buty przeciwybuchowe; 2 – blok obróbki sygnałów; 3 – słuchawki; 4 – przewód elektryczny sygnałowy drugi; 5 – przewód elektryczny sygnałowy trzeci



Rys. 5. Buty przeciwybuchowe w przekroju wzdłużnym [6].

4 – podeszwa; 5 – magnetometry trzyosiowe; 6 – pojemnik próżniowy diamagnetyczny;
7 – zawór; 8 – przewody elektryczne sygnałowe pierwsze; 9 – osłona przewodów;
10 – cholewa; 11 – wtyczka; 12 – przewód elektryczny sygnałowy drugi; 18 – pianka ochronna



Rys.6. Schemat funkcjonalny butów przeciwybuchowych [6].
 2 – blok obróbki sygnałów; 3 – słuchawki; 5 – magnetometry trzyosiowe;
 14 – multipleksery; 15 – układy kontroli; 16 – jednostka centralna;
 17 – przetwornik analogowo-cyfrowy

Buty przeciwybuchowe posiadają podeszwę 4, w której, w dolnej części znajdują się magnetometry trzyosiowe 5, natomiast nad nimi umieszczony jest pojemnik próżniowy diamagnetyczny 6 z zaworem 7. Magnetometry trzyosiowe 5 połączone są z blokiem obróbki sygnałów 2 poprzez przewody elektryczne sygnałowe pierwsze 8, które umieszczone są w osłonie 9 zamocowanej do cholewy 10, wtyczkę 11 i przewody elektryczne sygnałowe drugie 12, a z kolei wyjście bloku obróbki sygnałów 2 połączone jest z słuchawkami 3 przewodem elektrycznym sygnałowym trzecim 13. Blok obróbki sygnałów 2 zawiera multipleksery 14, układy kontroli 15, jednostkę centralną 16 oraz przetwornik analogowo-cyfrowy 17. Wnętrze podeszwy 4 i osłony 9 wypełnione jest pianką ochronną 18.

Działanie butów przeciwybuchowych, polega na tym, że magnetometry trzyosiowe 5 na bieżąco mierzą trzy składowe ziemskiego pola magnetycznego: północną, wschodnią i pionową, których wartości przekazywane są do multiplekserów 14. Z multiplekserów 14, sterowanych przez układy kontroli 15, wartości chwilowe trzech składowych ziemskiego pola magnetycznego przekazywane są do jednostki centralnej 16. Wartości te w jednostce centralnej 16 przeliczane są na wektor natężenia pola magnetycznego w danym punkcie przestrzeni, którego wartość zapisywana jest w jej pamięci. W chwili gdy buty przeciwybuchowe 1 znajdą się nad przedmiotem niebezpiecznym zawierającym metal, wektor natężenia pola magnetycznego w danym punkcie przestrzeni ulega zmianie, a różnica pomiędzy wartością zapisaną w pamięci jednostki centralnej 16 oraz wartością bieżącą jest informacją o wykryciu niebezpiecznego urządzenia zawierającego metal. Informacja ta przekazywana jest poprzez przewody elektryczne sygnałowe pierwsze 8, wtyczkę 11 i przewody elektryczne sygnałowe drugie 12 do bloku obróbki sygnałów 2. Jednostka centralna 16 dokonuje kategoryzacji informacji w zależności od wielkości wykrytego elementu

metalowego i poprzez przetwornik analogowo-cyfrowy 17 przesyła ją przewodami elektrycznymi sygnałowymi trzecimi 13 do słuchawek 3.

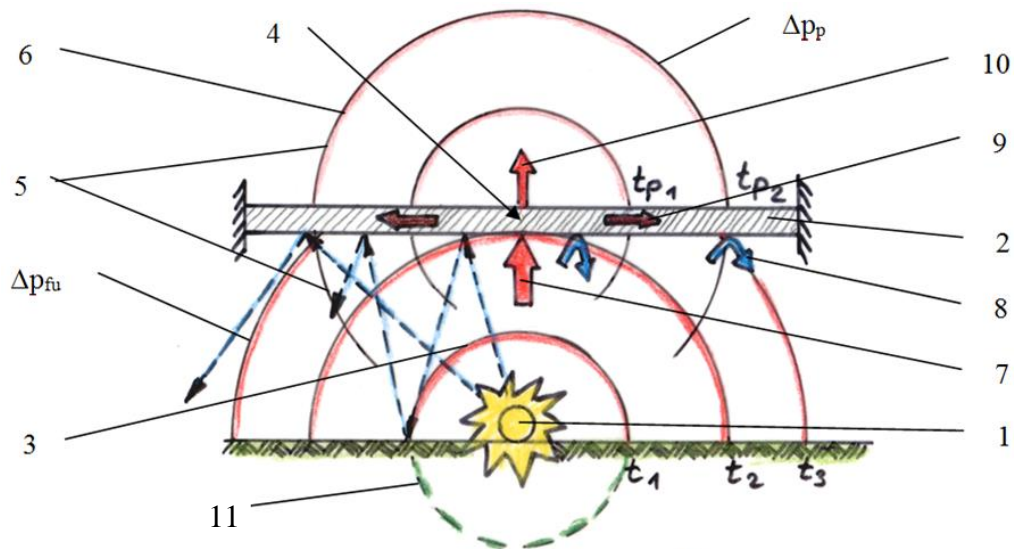
Zaletą butów przeciwwybuchowych jest to, że blok obróbki sygnałów mierzy wektor natężenia pola magnetycznego w danym punkcie przestrzeni, który zależy tylko od rozkładu ziemskiego pola magnetycznego oraz obecności elementów metalowych, a nie zależy od położenia czujników względem powierzchni ziemi. Zaletą jest również to, że fala uderzeniowa generowana niezamierzoną detonacją materiału wybuchowego, zostaje częściowo odbita i pochłonięta przez konstrukcję obudowy pojemnika próżniowego oraz częściowo rozproszona w wyniku przejścia przez granice ośrodków utworzonych przez podeszwę i piankę ochronną.

4. Oddziaływanie wybuchu na buty przeciwwybuchowe

4.1. Oddziaływanie wybuchu na przegrodę

Zasadniczym czynnikiem rażenia sapera w butach przeciwwybuchowych jest detonacja materiału wybuchowego i odłamki generowane z obudowy przedmiotu niebezpiecznego. Zatem konstrukcja butów przeciwwybuchowych powinna maksymalnie ograniczyć skutki ich oddziaływania na nogę sapera. Współczesne miny przeciwpiechotne zawierają od 15,5 g (mina Maus-1 produkcji Włoskiej) do 240 g materiału wybuchowego (mina TYPE 58 produkcji Chińskiej). Z kolei masa materiału wybuchowego zawartego w urządzeniach IED jest z reguły znacznie większa i zależy od ich konstrukcji. Problem oddziaływania wybuchu na buty przeciwwybuchowe sprowadza się do rozpatrzenia zagadnienia oddziaływania wybuchu na przegrodę (rys. 7).

Energia fali uderzeniowej pierwotnej generowanej detonacją materiału wybuchowego, oddziałując na przegrodę, zostaje przez nią częściowo odbita i pochłonięta oraz jest źródłem nowej sferycznej fali uderzeniowej generowanej przez tę przegrodę tzw. fali uderzeniowej wtórnej (rys. 7). Fala ta generowana jest przez impuls naprężeń ściskających przechodzących przez przegrodę, który powoduje jej deformację i drgania. W chwili oddziaływania na przegrodę, fala uderzeniowa pierwotna zostaje gwałtownie wyhamowana, co powoduje, że ciśnienie na jej czole znacznie wzrasta. W przypadku przegród sztywnych (np. dna wozów bojowych) wartość ciśnienia na czole fali uderzeniowej wyhamowanej jest około dwukrotnie większa niż pierwotnej. W przypadku oddziaływania fali uderzeniowej na podeszwę buta wykonaną np. z elastomeru, ciśnienie na czole fali uderzeniowej wyhamowanej może osiągnąć wartość nawet 1,5 razy większą niż fali uderzeniowej pierwotnej. Ważne znaczenie dla bezpieczeństwa sapera ma również ta część energii fali uderzeniowej wtórnej, która jest przeniesiona na jego ciało przez but przeciwwybuchowy. Fala ta zwana jest również falą uderzeniową przeniesioną.

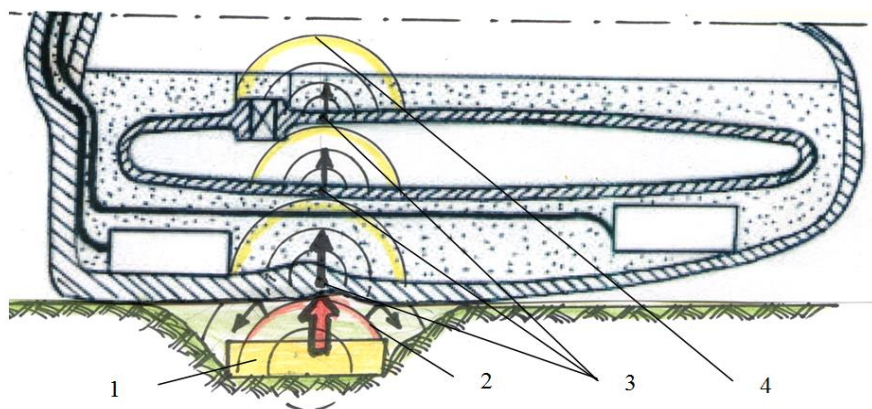


Rys. 7. Schemat oddziaływania wybuchu na przegrodę.

1 – ładunek MW; 2 – przegroda; 3 – fala uderzeniowa pierwotna; 4 – źródło fali uderzeniowej wtórnej; 5 – fala uderzeniowa wtórna; 6 – fala uderzeniowa przeniesiona; 7 – energia fali uderzeniowej wyhamowanej na przegrodzie; 8 – energia fali uderzeniowej odbitej; 9 – energia fali uderzeniowej pochłoniętej; 10 – energia fali uderzeniowej przeniesionej; Δp_{fu} – nadciśnienie na czole fali uderzeniowej swobodnej; Δp_p – nadciśnienie na czole fali uderzeniowej przeniesionej

4.2. Oddziaływanie wybuchu na pojemnik próżniowy butów przeciwwybuchowych.

Fala uderzeniowa pierwotna generowana detonacją materiału wybuchowego, oddziałując na przegrody urządzenia (ograniczające ośrodki o różnych parametrach wytrzymałościowych), ulega osłabieniu, jak również ośrodki te są źródłem wtórnych fal uderzeniowych (rys. 8).



Rys. 8. Osłabienie fali uderzeniowej generowanej detonacją materiału wybuchowego, w wyniku przejścia przez ośrodki o różnych parametrach wytrzymałościowych.

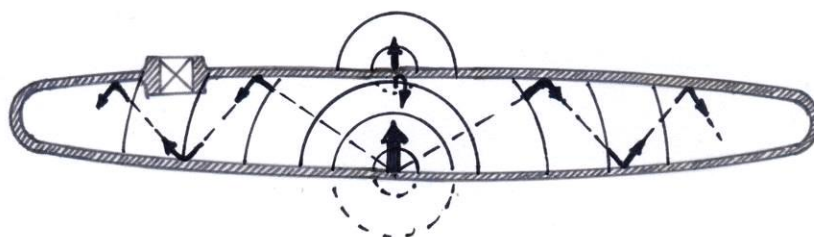
1 – materiał wybuchowy; 2 – fala uderzeniowa pierwotna; 3 – źródła fal uderzeniowych wtórnych; 4 – fala uderzeniowa przeniesiona na ciało człowieka

Jak już wspomniano pojemnik próżniowy jest źródłem wtórnej fali uderzeniowej (rys. 9). Fala ta przemieszcza się wewnątrz pojemnika, w kierunku górnej jego powierzchni, wielokrotnie odbija się od niej oraz generuje nową wtórną falę uderzeniową.

Fala uderzeniowa jest to cienka warstwa cząsteczek ośrodka (np. powietrza) o wysokim ciśnieniu, gęstości i temperaturze poruszająca się z prędkością naddźwiękową. Wielkością charakteryzującą falę uderzeniową jest ciśnienie na czole fali uderzeniowej oraz impuls jej energii. Jak już wspomniano fala uderzeniowa jest falą mechaniczną i nie rozchodzi się w próżni, ponieważ w próżni nie ma cząsteczek powietrza. W rzeczywistości wytworzenie bardzo wysokiej próżni dla celów użytkowych nie zawsze jest konieczne, dlatego też w technice wyróżnia się próżnie różnej jakości. Podział próżni na różne jakości wyszczególniono w poniższej tabelicy 1 [5]. W praktyce uzyskanie próżni na poziomie $10^{-3} \div 10^{-7}$ mbar (próżni wysokiej HV) jest stosunkowo łatwe [7].

Tablica 1. Rodzaje próżni.

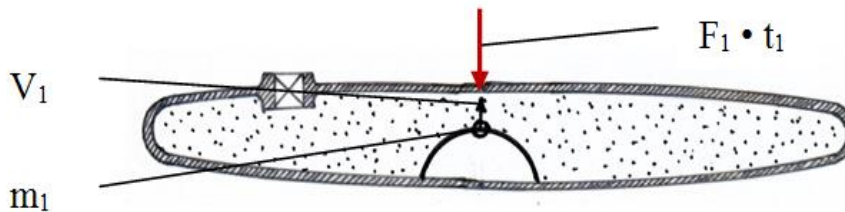
	Ciśnienie w hPa (mbar)	Liczba cząstek na cm^3	Średnia droga swobodna cząstki	Liczba uderzeń na powierzchnię ($\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Ciśnienie atmosferyczne	1013,25	$2,7 \times 10^{19}$	68 nm	10^{23}
Próżnia niska	300...1	$10^{19} \dots 10^{16}$	0,1...100 μm	$10^{23} \dots 10^{20}$
Próżnia średnia	$1 \dots 10^{-3}$	$10^{16} \dots 10^{13}$	0,1...100 mm	$10^{20} \dots 10^{17}$
Próżnia wysoka (HV)	$10^{-3} \dots 10^{-7}$	$10^{13} \dots 10^9$	10 cm...1 km	$10^{17} \dots 10^{13}$
Próżnia bardzo wysoka (UHV)	$10^{-7} \dots 10^{-12}$	$10^9 \dots 10^4$	1 km... 10^5 km	$10^{13} \dots 10^8$
Próżnia ekstremalnie wysoka (XHV)	$10^{-12} \dots 10^{-14}$	$10^4 \dots 10^2$	$10^5 \dots 10^7$ km	$10^8 \dots 10^6$
Przestrzeń kosmiczna	$10^{-7} \dots 10^{-16}$	$10^9 \dots 10^1$	1...109 km	$10^{13} \dots 10^4$
Próżnia absolutna (doskonała)	0	0	∞	0



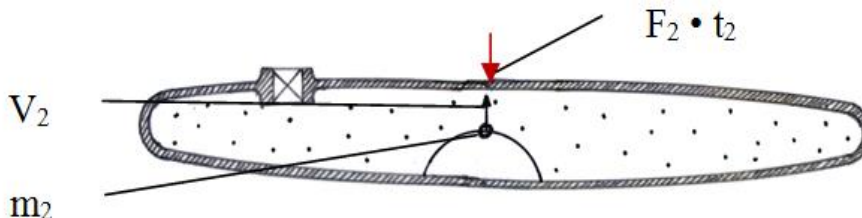
Rys. 9. Przemieszczanie się fali uderzeniowej w pojemniku próżniowym

4.3. Osłabianie energii fali uderzeniowej przez pojemnik próżniowy

Przeprowadzono przybliżoną analizę porównawczą dwóch pojemników próżniowych, w których w pierwszym znajduje się powietrze pod ciśnieniem atmosferycznym 1000 mbar (1 at.), a w drugim znajduje się próżnia wysoka (HV) tj. powietrze pod ciśnieniem $10^{-3} \div 10^{-7}$ mbar. Zgodnie z tabelą, w pojemniku pierwszym znajduje się $n_1 = 2,7 \times 10^{19}$ szt. cząsteczek powietrza w cm^3 (rys. 10), natomiast w drugim około $n_2 = 10^9$ szt. cząsteczek powietrza w cm^3 (rys. 11).



Rys. 10 Pojemnik pierwszy z powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznym



Rys. 11. Pojemnik drugi z próżnią wysoką (HV)

Z zasady zachowania pędu fali uderzeniowej i popędu siły oddziaływującej przez nią na górną powierzchnię pojemnika (rys. 10 i 11) wynika następująca równość:

$$m \cdot V = F \cdot t \text{ (kg} \cdot \text{m/s)}$$

gdzie:

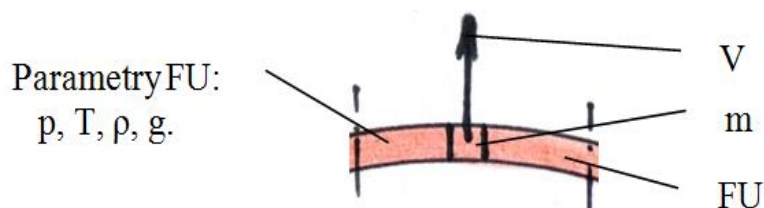
m – masa jednostkowa fali uderzeniowej (kg);

V – prędkość fali uderzeniowej (m/s);

F – siła jednostkowa fali uderzeniowej oddziaływująca na górną powierzchnię (N);

t – czas oddziaływania siły na górną powierzchnię pojemnika (s).

Interpretację pędu jednostkowego fali uderzeniowej przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Interpretacja pędu jednostkowego fali uderzeniowej

FU-fala uderzeniowa; V-prędkość fali uderzeniowej; m-masa jednostkowa fali uderzeniowej; p-ciśnienie fali uderzeniowej; T-temperatura fali uderzeniowej; ρ-gęstość fali uderzeniowej.

Na rys. 13 przedstawiono przybliżony wykres zależności masy jednostkowej względnej „m” fali uderzeniowej i jej prędkości względnej „V”, w funkcji liczby cząsteczek w cm³ powietrza tj.:

$$m = m_p/m_A; \quad V = V_p/V_A.$$

gdzie:

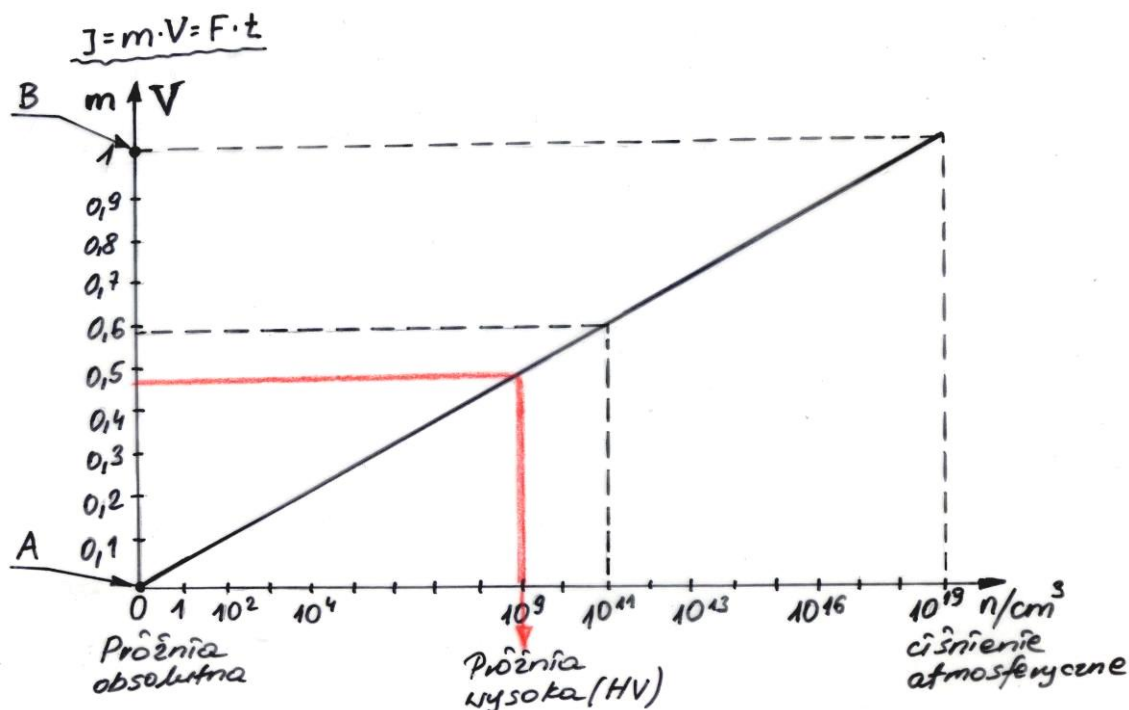
m_p – masa jednostkowa fali uderzeniowej w próżni wysokiej (HV);

m_A – masa jednostkowa fali uderzeniowej w powietrzu;

V_p – prędkość fali uderzeniowej w próżni wysokiej (HV);

V_A – prędkość fali uderzeniowej w powietrzu.

Przebieg w/w zależności na wykresie wynika z stąd, że w punkcie A wykresu (próżnia absolutna), zarówno masa jednostkowa fali uderzeniowej, jak i jej prędkość wynoszą zero. Zatem w punkcie A wykresu, pęd jednostkowy $I = m \cdot V = 0$. Z kolei w punkcie B wykresu, tj. przy ciśnieniu atmosferycznym, zarówno masa jednostkowa fali uderzeniowej, jak i jej prędkość osiągają wartości maksymalne. Zatem w punkcie B pęd jednostkowy fali uderzeniowej osiąga wartość maksymalną tj. $I = m \cdot V = I_{max}$.



Rys.13. Przybliżony wykres zależności względnych masy jednostkowej „m” fali uderzeniowej i jej prędkości „V”, w funkcji liczby cząsteczek w cm³ powietrza

Z powyższego wykresu, w sposób przybliżony wynika, że po przejściu fali uderzeniowej przez próżnię wysoką (HV), gdzie znajduje się $n = 10^9$ cząsteczek powietrza w cm³, zarówno masa jednostkowa „m”, jak i prędkość „V” fali uderzeniowej

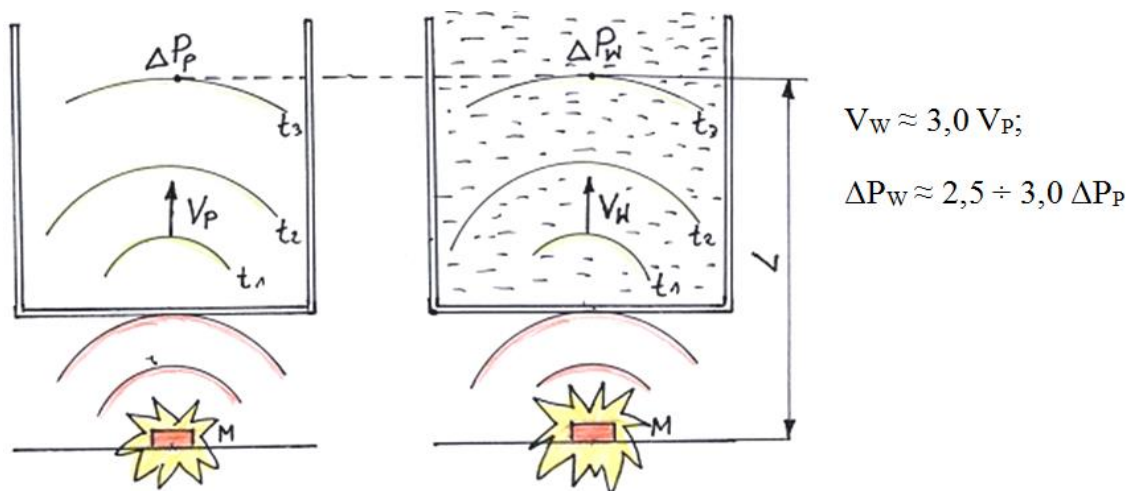
mogą osiągać około 50% wartości jakie posiadały by w powietrzu przy ciśnieniu atmosferycznym. Zatem pęd jednostkowy fali uderzeniowej w próżni wysokiej (HV) wynosić będzie w przybliżeniu:

$$I_{(HV)} \approx 0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ V} \approx 0,25 \text{ m} \cdot \text{V} \approx 0,25 I_{(\text{pow.})}, \text{ tj:}$$

$$I_{(HV)} \approx 0,25 I_{(\text{pow.})}$$

Z powyższego wynika, że pojemnik próżniowy, w którym wytworzona zostanie próżnia wysoka (HV), osłabi około czterokrotnie oddziałyującą na niego falę uderzeniową, w stosunku do pojemnika pierwszego.

Wartość energii impulsu oddziaływania fali uderzeniowej na górną powierzchnię pojemnika próżniowego ma zasadniczy wpływ na parametry fali uderzeniowej przeniesionej z buta na ciało sapera (rys. 8-poz. 4), która niejednokrotnie decyduje o jego życiu. Wynika to między innymi z tego, że prędkość rozchodzenia się fali uderzeniowej w ciele człowieka oraz ciśnienie na jej czole, są kilkakrotnie większe niż w powietrzu. Powyższą zależność zilustrowano na rys. 14, przy czym jako ośrodek alternatywny dla ciała człowieka przyjęto wodę, wychodząc z założenia, że ciało człowieka w wielu miejscach posiada właściwości zbliżone od wody.



Rys. 14. Ilustracja graficzna rozchodzenia się fali uderzeniowej w powietrzu (z lewej) i w wodzie (z prawej).

M – masa materiału wybuchowego; V_w – prędkość fali uderzeniowej przeniesionej do wody; V_p – prędkość fali uderzeniowej przeniesionej do powietrza;
 ΔP_w – ciśnienie na czole fali uderzeniowej w wodzie; ΔP_p – ciśnienie na czole fali uderzeniowej w powietrzu

Z przeprowadzonych powyżej rozważań wynika, nawet najlepsze buty przeciwwybuchowe stosowane w świecie nie zapewnią pełnej ochrony nogi sapera przed falą uderzeniową pierwotną generowaną detonacją materiału wybuchowego miny lub urządzenia IED. Natomiast należy podejmować starania mające na celu znaczne ograniczenie oddziaływania na nogę, a tym samym ciało sapera, fali uderzeniowej przeniesionej, której działanie jest tak samo niebezpieczne jak fali uderzeniowej pierwotnej. Przykładowo, jeżeli po detonacji miny przeciwpiechotnej pod butem

przeciwybuchowym, zostanie urwana stopa saperera, a przez jego ciało przejdzie fala uderzeniowa przeniesiona o dużej energii, to może ona uszkodzić narządy wewnętrzne jego ciała. W wyniku tego może nastąpić śmierć saperera. Natomiast jeśli w wyniku zastosowania w butcie pojemnika próżniowego, energia fali uderzeniowej przeniesionej zostanie znacznie ograniczona, to w przypadku udzielenia saperowi natychmiastowej pomocy, życie jego może zostać uratowane.

Rozwiązanie na drodze analitycznej problemu osłabiania fali uderzeniowej przez pojemnik próżniowy umieszczony w butcie przeciwybuchowym, nie jest możliwe. Można go rozwiązać jedynie na drodze doświadczalnej, tj. w czasie badań na modelach butów przeciwminowych i modelach symulujących nogę człowieka. Powyższe wynika z stąd, że rozpatrywane problemy ochrony nóg saperów za pomocą butów przeciwybuchowych z pojemnikiem próżniowym, są problemami nowymi dotychczas rzadko rozpatrywanymi w badaniach naukowych. Nie można wykluczyć, że w czasie badań wystąpią zdarzenia fizyczne trudne były do przewidzenia, które nie zostały ujęte w prowadzonych wyżej analizach.

5. Wnioski

- 1) Zasadniczym czynnikiem rażącym niezamierzonej detonacji urządzeń zawierających materiał wybuchowy jest fala uderzeniowa pierwotna oddziaływująca na podeszwę buta przeciwybuchowego, fala uderzeniowa przeniesiona oddziaływująca na narządy wewnętrzne ciała saperera oraz odłamki kadłuba tych urządzeń.
- 2) Buty przeciwybuchowe powinny w maksymalnym stopniu zabezpieczać nogi saperera przed niezamierzoną detonacją min i urządzeń IED.
- 3) Buty przeciwybuchowe powinny umożliwiać saperowi ergonomiczne przemieszczanie się w terenie w czasie jego rozpoznania oraz wykonywania prac minerskich i niszczeń.
- 4) Koncepcja butów przeciwybuchowych jest jedną z koncepcji wyposażenia saperera w ubiór roboczy, zwiększający jego bezpieczeństwo w czasie wykonywania prac minerskich.
- 5) Należy prowadzić analizy, tworzyć koncepcje nowych wielofunkcyjnych butów przeciwybuchowych oraz prowadzić ich badania w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Literatura

- [1] Jane's MINES AND MINE CLEARANCE, First Edition 1996-1997. Wyd. Jane's Information Group Limited, Wielka Brytania, 1996 r.
- [2] IHS Jane's EOD & CBRNE Defense Equipment 2015-2016. Wyd. UK by Polestar Wheatons.
- [3] Materiały ofertowe izraelskiej firmy MAAVARIM – CIVIL ENGINEERING LTD.
- [4] Mine-resistant boots. International Defense Review nr 12/1988 r.
- [5] <http://newatlas.com/lemur-studio-saveonelife/30569>.
- [6] ŚLIWIŃSKI J., PLEBANKIEWICZ I., LUBACH I., ŚLIWIŃSKI C., MALEJ W., WOJCIESZYŃSKA P.: Zgłoszenie w sprawie uzyskania patentu na wynalazek pt.: Zestaw butów przeciwybuchowych, Nr zgłoszenia P.422661, WITI 2017 r.
- [7] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Próżnia>.

EXPLOSION-PROOF BOOT SET

Summary

This article discusses the tasks performed by combat engineers (sappers) during combat operations and the risks associated with the detection and disposal of hazardous objects containing explosives. The design of mine shoes and various kinds of overboots for typical military boots and the requirements which must be met to ensure the safety of sappers performing their mining tasks is discussed. The design of a Colombian shoe insole device has been described. It comprises an electronic device for mine detection and a device for signaling the position of mine in the ground relative to the shoe. The concept of a set of explosion-proof boots, consisting of mine boots, signal processing block and earpiece was presented. The principle of operation of the explosion-proof boot kit has been discussed and its advantage over other similar design solutions in the world is outlined. It has been concluded that increasing the safety of sappers during mining and demining operations requires analyses and development of a new multifunctional mine boots and tests of those boots in as real operating conditions as possible.