

doi:10.15199/48.2015.03.22

Nowe technologie i urządzenia rażenia elektromagnetycznego w dziedzinie walki elektronicznej

Streszczenie. Artykuł przedstawia krótką charakterystykę i możliwości wykorzystania na współczesnym polu walki energii elektromagnetycznej (EM) z różnych zakresów pasma częstotliwości. Promieniowanie elektromagnetyczne jest jedną z form energii, która w określonych warunkach gwarantuje poprawną pracę wybranych urządzeń radioelektronicznych a jednocześnie może być istotnym czynnikiem zagrażającym prawidłowemu ich funkcjonowaniu oraz obsługującemu personelowi. Broń rażenia elektromagnetycznego, zwana powszechnie jako „bomba E”, ze względu na swój charakter określana jest również jako broń masowej destrukcji (ang. *Weapon of Electrical Mass Destruction*) lub jako broń niezabijająca (ang. *Non-lethal Weapon*). Walka elektroniczna polega na rozpoznawaniu źródeł emisji elektromagnetycznych (ZE) oraz dezorganizowaniu pracy urządzeń i systemów elektronicznych przeciwnika wykorzystujących EM, w tym energię wiązkową, przy jednoczesnym zapewnieniu warunków ich efektywnego użycia przez wojska własne. Operacje elektromagnetyczne (ang. *Electromagnetic Operations*), to wszelka aktywność militarna w spektrum EM, a atak elektroniczny (ang. *Electronic Attack*) – to wykorzystanie EM do celów ofensywnych. Atak ten obejmuje wykorzystanie broni wiązkowej (ang. *Directed Energy Weapons - DEW*), impulsu elektromagnetycznego dużej mocy zakresu mikrofal (ang. *High Power Microwave – HPM*), impulsu EM oraz innych urządzeń wykorzystujących pasmo fal elektromagnetycznych.

Abstract. The article presents the short characteristic and possibilities of usage the electromagnetic energy (EM) on the modern battlefield from different frequency bands. The electromagnetic radiation is one of the form energy which in the specific conditions guaranties the properly work of chosen electronic devices and also may be the significant of threatening factor for their functionality and personnel service. The electromagnetic weapons, commonly known as "bomb E", regard to its character is called as weapon of electrical mass destruction or non-lethal weapon. The electronic warfare depends on the reconnaissance of electromagnetic sources and work disorganizing the electronic devices and systems using the electromagnetic energy and also the directed energy and at the same time assuring the proper conditions for their usage by own troops. The electromagnetic operations are the whole military activity in the electromagnetic spectrum ad the electronic attack is using of the electromagnetic energy to defensive purposes. Tis electronics attack contains the usage of directed energy weapons, high power microwave energy, electromagnetic energy and different devices using the band of electromagnetic waves. (*The new technologies and threating electromagnetic devices in electronic warfare*)

Słowa kluczowe: broń wiązkowa, impuls elektromagnetyczny dużej mocy, walka elektroniczna.

Keywords: directed energy weapons, high power microwave, electronic warfare

Wstęp

W okresie ostatnich kilkunastu lat bardzo szybko wzrasta liczba wykorzystywanych komputerów, różnego rodzaju urządzeń elektronicznych oraz sprzętu telekomunikacyjnego. Trwa nieustanny proces poszukiwania nowych i efektywnych środków oddziaływania na infrastrukturę informacyjną sił zbrojnych. Jednym z efektów tych poszukiwań jest broń wiązkowa określana mianem broni skierowanej, [4, 6, 7, 9].

Największe zagrożenie dla urządzeń elektronicznych stanowi impuls elektromagnetyczny dużej mocy zakresu mikrofal, który można generować przy wykorzystaniu bomb elektromagnetycznych bądź generatorów mikrofal dużej mocy. Szczególne zainteresowanie budzi problem oceny odporności elektromagnetycznej urządzeń w sytuacji oddziaływania zakłóceń elektromagnetycznych ze strony impulsu elektromagnetycznego dużej mocy zakresu mikrofal (ang. *High Power Microwave - HPM*). Ekranowanie i filtracja stosowane w urządzeniach zapewniają tylko ograniczone zabezpieczenie przed silnym impulsem elektromagnetycznym.

Pole magnetyczne i elektryczne

Pole magnetyczne może być dwojaki: stałe i pulsujące.

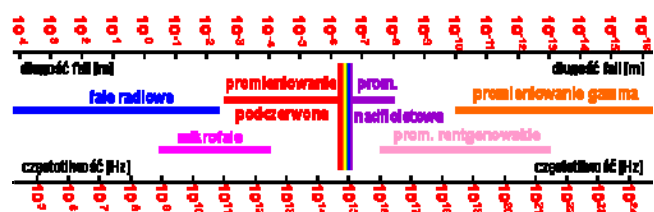
Stale pole magnetyczne, o sile 1000÷10000 razy większej niż magnetyzm ziemski, wykorzystywane jest dzisiaj po części do leczenia wzrostu guzów nowotworowych, spadku białych ciałek krwi i zmian genetycznych. Już pole silniejsze 5000 razy od ziemskiego powoduje u ludzi pracujących w jego zasięgu pewną odmianę choroby morskiej połączonej z ostrymi zaburzeniami równowagi. Każdy ruch ciała znajdującego się w takim polu powoduje w mięśniach indukcję silnych prądów podrażniających nerwy i skutkujących blokadą możliwości swobodnego poruszania się. Tego typu wpływ na organizm planuje się wykorzystać przede wszystkim

w generatorach pola magnetycznego umieszczanych na dnie na podejściach do portów wojennych do ochrony przed pletwonurkami.

Przeprowadzone badania wykazały, że zapobiegając pogorszeniu samopoczucia mogą małe generatory pola magnetycznego noszone w kieszeni i dysponujące polem zmiennym regulowanym w zakresie od 3 do 14 Hz i natężeniu od 30 do 300 miliamperów na minutę. Tego typu generatory mają być wykorzystywane na stanowiskach dowodzenia, bojowych centrach informacyjnych okrętów wojennych, stanowiskach dowodzenia obroną powietrzną i wszędzie tam, gdzie obniżenie koncentracji oraz senność i bóle głowy prowadzić mogą do obniżenia szybkości i sprawności działania w sytuacjach, gdzie na podjęcie decyzji czasem potrzebne są sekundy.

Broń działająca w oparciu o fale elektromagnetyczne

Pole elektromagnetyczne może się rozchodzić w przestrzeni z prędkością światła w postaci fali elektromagnetycznej. Współcześnie w zasadzie wszystkie segmenty widma fal elektromagnetycznych, począwszy od fal radiowych, poprzez mikrofałe, promieniowanie podczerwone, światło widzialne, ultrafiolet, promieniowanie rentgenowskie aż do promieniowania jonizującego, wykorzystywane są w broni wiązkowej (rys. 1), [4, 7, 8].



Rys. 1. Podział widma i częstotliwości fal elektromagnetycznych

Wojny pogodowe

Znany system HAARP (ang. *High-frequency Active Auroral Research Program*) wykorzystywany jest również w celach militarnych (rys. 2), [4, 7, 9]. Umożliwia prowadzenie komunikacji na bardzo dalekie odległości z samolotami lub z zanurzonymi okrętami podwodnymi. Potrafi rozpoznać różnego rodzaju aktywności na powierzchni ziemi jak i pod powierzchnią. Posiada około 720 anten, które przesyłają sygnały do jonosfery, a w szczególności do tzw. poziomu około 200 km ponad Ziemią. Każda z anten jest oddzielnie sterowana i umożliwia dzięki temu „trafienie” każdego dowolnego kawałka jonosfery (rys. 3).



Rys. 2. Radar UHF



Rys. 3. Pole antenowe systemu HAARP

Jako stacja przekaźnikowa, HAARP pozwala dzięki metodzie polaryzacji odbić wzmocnić w jonosferze sygnały o specyficznej częstotliwości. Innym możliwym zastosowaniem tej technologii może być jonizowanie warstw atmosfery nad wybranym obszarem prowadzące do całkowitego zakłócenia łączności radiowej.

Broń mikrofalowa

Następnym rodzajem broni wiązkowej jest broń mikrofalowa. Jest to jeden z kilku rodzajów broni nowej generacji, która ma obezwładniać przeciwników, nie czyniąc im trwałej krzywdy. Broń ta może być stosowana w konfliktach pełnoskalowych, jak i konfliktach asymetrycznych.

Promieniowanie termiczne

Prace nad miotaczami mikrofal (ang. *Active Denial System - ADS*) trwają w USA od wielu lat i są właśnie na ukończeniu. Broń emituje wiązki mikrofal o częstotliwości 95 GHz. Montowana jest na specjalnym pojeździe lub śmigłowcu i powoduje szybkie podgrzanie wody znajdującej się w wewnętrznych warstwach ludzkiego ciała przy pomocy mikrofal (rys. 4). Promieniowanie wysyłane przez broń potrafi przenikać ubranie i spowodować w przeciągu 2 sekund wzrost temperatury do 54°C, co przekracza o 9°C granicę bólu wywołanego temperaturą. Jej przeznaczeniem jest walka z tłumem, masowymi demonstracjami, a zasięg wynosi do 750 metrów. Ostatnie testy wykazały, że osoby "trafione" wiązką już po dwóch sekundach odczuwają parzący ból. Po niespełna pięciu sekundach ból jest już nie do zniesienia, a zaatakowany zrobi wszystko, by uciec z pola rażenia. Wtedy ból mija bez śladu i jakichkolwiek obrażeń.



Rys. 4. System ADS koncernu Raytheon

Nie stwierdzono nawet niebezpieczeństwa dla osób z rozrusznikiem serca. Trwają także prace nad wersją broni do użycia z powietrza.

Promieniowanie nietermiczne

Drugim czynnikiem rażenia mikrofal jest promieniowanie nietermiczne. Bezpośrednie działanie mikrofal na człowieka powoduje wystąpienie symptomów neurotycznych, zakłócenia pulsu, mrowienie ramion i nóg, szybkie męczenie się, bezsenność, pocenie się, zawroty głowy oraz skrajną nerwowość. Skierowanie mikrofal na całą głowę powoduje przy określonych częstotliwościach rezonanse owocujące porażeniem układu ruchu.

Badania wykazały także, że przy stosowaniu pulsujących mikrofal zakresu GHz można wpłynąć na nieświadome czynności życiowe w rodzaju oddychania czy bicia serca. Ten rodzaj promieniowania, jako zdecydowanie bardziej niebezpieczny dla zdrowia, nie nadaje się do rozpędzania tłumu, ale można go użyć jako broń ofensywną. Ograniczeniem jest tutaj fakt, że mikrofałe, trafiając na powierzchnię przewodnika, wnikają do niego tylko na pewną głębokość, która jest tym mniejsza, im mniejsza jest długość mikrofal oraz im większa przewodność właściwa i przenikalność magnetyczna przewodnika. Ponadto natężenie mikrofal w dobrym przewodniku bardzo szybko maleje wraz z odległością od jego powierzchni.

Dla przykładu, na głębokości równej długości mikrofałi natężenie to wynosi już tylko 0,05% natężenia mikrofałi padającej. Ograniczone wnikanie mikrofal do przewodnika spowodowane jest indukowaniem w nich prądów elektrycznych przez zmienne pola magnetyczne i elektryczne. W wyniku tego mikrofałe ulegają częściowemu pochłonięciu i odbiciu od powierzchni przewodnika, nie wnikając do jego wnętrza.

To powoduje, że na polu walki wszyscy żołnierze osłonięci pancierzami wozów bojowych oraz obsługi polowych aparatowni, których obudowy wykonane są z metalu, będą praktycznie niewrażliwi na emisję tych fal. Jedynie żołnierze na odsłoniętym terenie oraz kierowcy pojazdów transportowych będą narażeni na działanie tych fal. Istotnym czynnikiem sprzyjającym użyciu tego typu urządzeń jest ich praktyczna niewykrywalność bez użycia specjalistycznego oprzyrządowania.

Światło

Bronie promieniowe wykorzystujące światło jako element rażący, wykorzystują do swego działania wszelkie promienie, zarówno z zakresu tych widzialnych jak i podczerwone oraz ultrafioletowe.

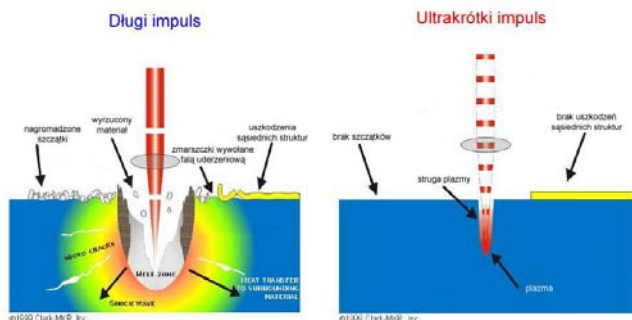
W przypadku zastosowania światła widzialnego i jego użycia na organizm człowieka owocuje to podobnymi skutkami, co opisywana w poprzednich rozdziałach broń falowa. Niemniej jednak tutaj większy wpływ zaznacza się na tzw. wegetatywny układ nerwowy. Układ ten odpowiedzialny jest za pracę serca, krwiobieg oraz przemianę materii. Wszystkie te funkcje na skutek dłuższego pobudzenia odpowiednimi optycznymi bodźcami świetlnymi zostają zachwiane. Skutkiem tego jest stała senność podczas dnia, a bezsenność w ciągu nocy. Promienie i impulsy podczerwone także zdolne są zakłócić równowagę w funkcjonowaniu ludzkiego organizmu.

Istnienie tego typu oddziaływań na ludzki organizm pozwala na skonstruowanie źródeł światła, które w połączeniu z bronią dźwiękową lub mikrofalową o działaniu termicznym, stworzą broń zdolną do rozproszenia agresywnego tłumu bez niepotrzebnych ofiar.

Już w 1997 r., uczeni amerykańscy ze słynnego Massachusetts Institute of Technology poinformowali

o skonstruowaniu lasera, którego wiązka składa się z atomów materii, a nie z fotonów uporządkowanych zgodnie z falami materii. Potencjalne możliwości lasera szybko odkryło wojsko, [4, 8]. Wysokoenergetyczna wiązka promieniowania może niszczyć cel dwójako (rys. 5):

- za pomocą impulsów długich, w czasie których następuje wybuchowe odparowanie materiału trafiającego promieniem, połączone z mikropęknięciami struktury i destrukcją warstw zewnętrznych trafiającego obiektu;
- za pomocą impulsów ultrakrótkich, o czasie trwania pojedynczych femtosekund (1×10^{-15} s), w czasie których elementem rażącym jest struga plazmy, głęboko wnikająca w trafiający obiekt, [8].



Rys. 5. Charakterystyka działania lasera z impulsem ciągłym i lasera impulsowego

Współczesna Inicjatywa Obrony Strategicznej zakłada rozmieszczenie na orbicie satelitów uzbrojonych w działa laserowe, [3, 10]. Miałyby one niszczyć nieprzyjacielskie rakiety zaraz po ich wystrojeniu bądź w przestrzeni kosmicznej, (rys. 6).

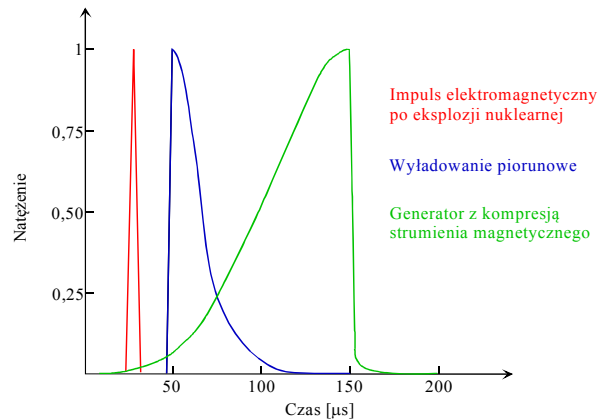


Rys. 6. Zdjęcie lasera THEL w czasie strzału na stanowisku badawczym i pierwsze udane zestrzelenie pocisku raketowego

Przyszłość stanowią lasery impulsowe, rażące cel serią ultrakrótkich impulsów (np. femtosekundowych) [8]. Każdy taki impuls powoduje wybuchowe odparowanie niewielkiej ilości materiału w trafiającym miejscu – a po ułamku sekundy w to samo miejsce trafia kolejny impuls. Efekt jest taki, jakby ktoś odpałił w punkcie trafienia serię małych ładunków wybuchowych.

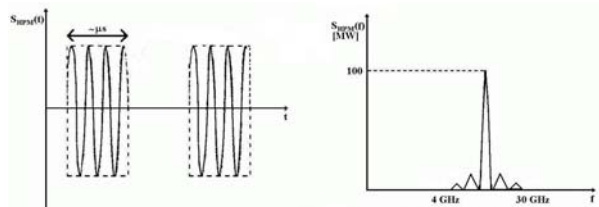
Impuls elektromagnetyczny

W okresie ostatnich lat obserwuje się niezwykle szybki wzrost liczby komputerów, sprzętu telekomunikacyjnego i innych urządzeń elektronicznych. Wszystkie te urządzenia znajdują zastosowanie w bardzo różnych dziedzinach aktywności człowieka poczynając od rozrywki, edukacji i sztuki, poprzez naukę, przemysł, transport, opiekę zdrowotną aż po administrację państwową i wojsko. Nic więc dziwnego, że specjaliści wojskowi doszli do wniosku, że obecnie o wygranej ewentualnej wojny może zdecydować szybkie zniszczenie urządzeń elektronicznych przeciwnika silnym impulsem elektromagnetycznym (rys. 7). Najprostszym sposobem porażenia przeciwnika impulsem elektromagnetycznym wydawało się być zdetonowanie ładunków nuklearnych na odpowiedniej wysokości nad jego terenem.



Rys. 7. Porównanie impulsów elektromagnetycznych

Jednakże niemniej groźnym jest impuls elektromagnetyczny dużej mocy zakresu mikrofal (HPM). Jest on impulsem wąskopasmowym o częstotliwości środkowej mieszczącej się w przedziale 4÷30 GHz oraz mocy szczytowej przekraczającej 100 MW (rys. 8), [5, 10].



Rys. 8. Postać czasowa i widmo impulsu HPM

Niszczące działanie tzw. bomby E polega na tym, że wysyła ona przez bardzo krótki czas niezwykle silną falę elektromagnetyczną, której moc osiąga miliardy watów. Długość tej fali wynosi od kilkudziesięciu centymetrów do ułamków milimetra. Wysłana energia rozchodzi się w otaczającej przestrzeni i dociera do wszelkiego rodzaju urządzeń elektronicznych. Zmienne pola elektryczne i magnetyczne, stanowiące tę falę, indukują zmiany napięcia w obwodach urządzeń, powodując ich zniszczenie lub poważne zakłócenia pracy, [1, 2, 6].

Broń wiązkowa

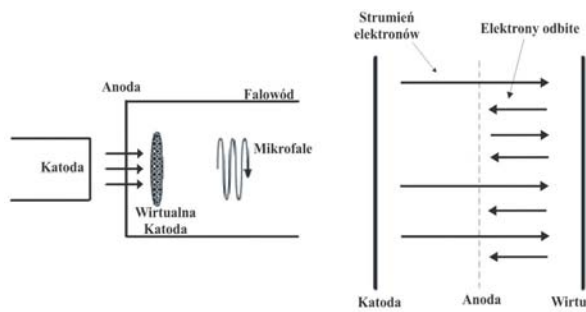
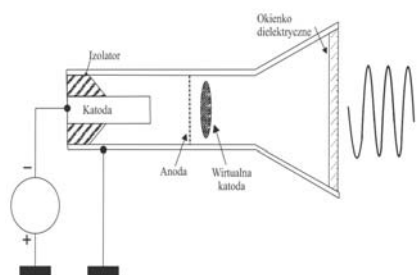
Badania nad bronią wiązkową są jedną z najprężniej rozwijających się gałęzi badań o charakterze militarnym. Zmianym jest fakt, że większość współcześnie opracowywanych broni wiązkowych należy do grupy broni niezabijających. Wszystkie źródła kierowanej energii zakresu mikrofal serii HPM zawierają elementy składowe przedstawione na rys. 9.



Rys. 9. Elementy składowe systemu HPM

Wśród dostępnych generatorów końcowych można wyróżnić: magnetron, klistron, lampę o fali bieżącej, amplitron, gyrotron i wirkator. Gyrotron emituje fale milimetrowe za pomocą przyspieszania strumienia elektronów w akceleratorze cząstek – cyklotronie. Zaletami są wysokie częstotliwości pracy (100 GHz) przy dużych poziomach mocy (~MW) oraz duża sprawność energetyczna. Gyrotrony są głównie używane w przemyśle i obróbce cieplnej wysokich technologii, w aspekcie militarnym prowadzone są badania nad wynalezieniem bezpiecznego systemu kontroli i rozpędzania tłumy (*Active Denial System*).

Innym źródłem energii mikrofal jest wirkator (rys. 10). Umożliwia on przekształcenie wysokoenergetycznego impulsu elektrycznego w falę bardzo silnych impulsów promieniowania o szerokim zakresie częstotliwości.



Rys. 10. Budowa wirkatora osiowego i zasada powstawania wirtualnej katody

Maksymalny prąd wewnątrz lampy zgodnie z prawem Child - Langmuira:

$$(1) \quad I \approx \frac{U^{3/2} S_k}{d_{ka}^2}$$

gdzie: U - napięcie między anodą a katodą, S_k - powierzchnia katody, d_{ka} - odległość między anodą a katodą.

Proces generacji mikrofal odbywa się za pomocą dwóch mechanizmów: w wyniku oscylacji elektronów między prawdziwą a wirtualną katodą lub oscylacji samej wirtualnej katody. Częstotliwość generacji w pierwszym przypadku:

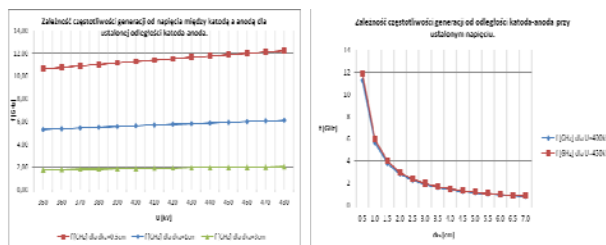
$$(2) \quad f = \frac{c}{2 \cdot \pi \cdot d_{ka}} \cosh^{-1}(\gamma_0)$$

gdzie:

$$(3) \quad \gamma_0 = 1 + \frac{e \cdot U}{m_e c^2}$$

W drugim przypadku ze względu na złożoność zjawisk, zależność na częstotliwość generacji jest trudna do wyprowadzenia. Poprzez odpowiednie dobranie cech konstrukcji jest możliwe uzyskanie sygnału o żądanych cechach energetycznych i częstotliwościowych (rys. 11), [5].

Energia elektromagnetyczna zakresu mikrofal jest zagrożeniem zarówno dla świata technicznego jak i **organizmów żywych**. W przypadku materii ożywionej można zaobserwować efekty termiczne i pozatermiczne, natomiast w przypadku urządzeń technicznych można mówić o tzw. „soft kill”, tj. czasowym, krótkotrwałym zakłóceniu pracy, obezwładnieniu urządzenia lub o tzw. „hard kill” czyli trwałym uszkodzeniu. Głębokość wnikania fal elektromagnetycznych w ludzką tkankę zależy od masy ciała i zawartości wody, maleje ona wraz ze wzrostem częstotliwości.



Rys. 11. Wynik badań symulacyjnych własności wirkatora

Efekt termiczny (udar cieplny) polega na przekształcaniu się energii PEM w energię cieplną w opromienionym organizmie, w wyniku którego następuje ogrzewanie się części organizmu lub jego całości.

Podsumowanie

Ze względu na bardzo szybko rozwijającą się elektronikę, wykorzystanie broni o skierowanej energii może bardzo skutecznie i na dużym obszarze zdestabilizować działanie wszystkich urządzeń i podzespołów elektronicznych, w których znajdują się niezabezpieczone układy elektroniczne.

Broń taka nie powoduje uszczerbku na zdrowiu, a jej skutki odczuwane są **tylko** podczas bezpośredniego bycia **poddanym jej rażeniu**. W warunkach przejściowych może być wykorzystana do zwalczania działań terrorystycznych, a w warunkach wojennych jako nowe uzbrojenie do obezwładnienia infrastruktury technicznej przeciwnika.

LITERATURA

- [1] Chudy Z., Mroczkowski M., *Modelowanie narażeń i testowanie odporności elektromagnetycznej elementów i układów elektronicznych*. Biuletyn WAT – II Konferencja Naukowa nt. Urządzenia i Systemy Radioelektroniczne – UiSR, Soczewka k/Płocka, 13–15 czerwca 2007 r., Warszawa 2007, Vol. LVI, str. 73-82.
- [2] Chudy Z., Mroczkowski M., *Ocena uodpornienia elektromagnetycznego systemów radioelektronicznych dla źródeł HPM*. Biuletyn WAT – II Konferencja Naukowa nt. Urządzenia i Systemy Radioelektroniczne – UiSR, Soczewka k/Płocka, 13–15 czerwca 2007 r., Warszawa 2007, Vol. LVI, str. 63–72.
- [3] Korpalski J., *Ochrona przed impulsem elektromagnetycznym*. Przegląd Obrony Cywilnej, Nr 2/1994.
- [4] Matuszewski J., *Możliwości użycia broni wiązkowej na współczesnym polu walki*. VII Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Systemy rozpoznania i walki elektronicznej. Warszawa, 9-11 grudnia 2008, str. 29 + materiały na CD.
- [5] Trzaska Z.: *Mikrofalowa broń dużej mocy*. Elektronika Nr 2/2006.
- [6] Wnuk M., Chudy Z.: *Cechy barier elektromagnetycznych w ochronie podzespołów i urządzeń radioelektronicznych przed skutkami oddziaływania impulsu elektromagnetycznego dużej mocy*. Elektronika, Nr 3/2014, str. 9-14.
- [7] Wnuk M., Chudy Z., *Pomiar mocy impulsu elektromagnetycznego zakresu mikrofal*. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 8/2014, str. 239-242.
- [8] Smith J. E., *HAARP Broń ostateczna*. Wyd. AMBER Sp. z o.o., Warszawa 2004.
- [9] Sobierajski R.: *Oddziaływanie femtosekundowych impulsów promieniowania lasera na swobodnych elektronach z powierzchniami ciał stałych*. Praca doktorska. Politechnika Warszawska, Warszawa 2005.
- [10] www.fas.org/spp/starwars/program/index.html

Autorzy:

prof. dr hab. inż. Marian Wnuk, E-mail: mwnuk@wat.edu.pl,
dr inż. Jan Matuszewski, E-mail: jmatuszewski@wat.edu.pl,
dr inż. Zdzisław Chudy, E-mail: zchudy@wat.edu.pl,
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa