



Wojskowa Akademia Techniczna

Wydział Elektroniki

Wpływ energii skierowanej na urządzenia telekomunikacyjne

prof. dr hab. inż. Marian WNUK





Plan wystąpienia .

1. *Wstęp*
2. *Środowisko elektromagnetyczne, cyberprzestrzeń*
3. *Formy wytwarzania impulsów wysokomocowych,*
4. *Drogi wciekania energii HPEM*
5. *Charakterystyka zagrożeń*
6. *Platformy dostawcze HPEM*
7. *HPEM a terroryzm*
8. *Wnioski*





Badanie poziomu zakłóceń elektromagnetycznych generowanych przez urządzenia radioelektroniczne do otaczającego środowiska stanowi główne cele kompatybilności elektromagnetycznej EMC (ang. *ElectroMagnetic Compatibility*).

Zdolność urządzenia lub systemu do poprawnej pracy w określonym *środowisku elektromagnetycznym* bez wprowadzania do tego środowiska niedopuszczalnych zaburzeń elektromagnetycznych nazywamy **KOMPATYBILNOŚCIĄ ELEKTROMAGNETYCZNA.**





KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA.





Cyberprzestrzeń

BIAŁA KSIĘGA BEZPIECZEŃSTWA NARODOWEGO RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

Ustawa z dnia 29.08.2002 o stanie wojennym oraz kompetencjach Naczelnego Dowódcy Sił Zbrojnych i zasadach jego podległości konstytucyjnym organom Rzeczypospolitej Polskiej

Art. 2. ust 1b Przez przestrzeń (....) rozumie się przestrzeń przetwarzania i wymiany informacji tworzoną przez systemy teleinformatyczne, określone w art. 3 pkt 3 ustawy z dnia 17.02.2005 o informatyzacji działalności podmiotów realizujących zadania publiczne





Cyberprzestrzeń

- *Systemy komunikacji elektronicznej tworzone przez system powiązań internetowych (w tym również sieci wykorzystujące fale elektromagnetyczne i klasyczne sieci telefoniczne).*
- *Przestrzeń otwartego komunikowania się za pośrednictwem połączonych komputerów.*
- *Świat sieci cyfrowych.*

ale spotykamy również definicję przedstawioną przez Wiliama Gibsona który 1984 cyberprzestrzeń definiuje następująco

Cyberprzestrzeń oznacza świadomą halucynację - jasne promieniowanie przebiegające przez mroczną przestrzeń umysłu.





Cyberprzestrzeń

Zgodnie z „Rządowym programem ochrony
cyberprzestrzeni RP”

„**cyberprzestrzeń**” – przestrzeń komunikacyjna tworzona przez system powiązań internetowych i obejmuje systemy, sieci, usługi teleinformatyczne oraz telekomunikacyjne

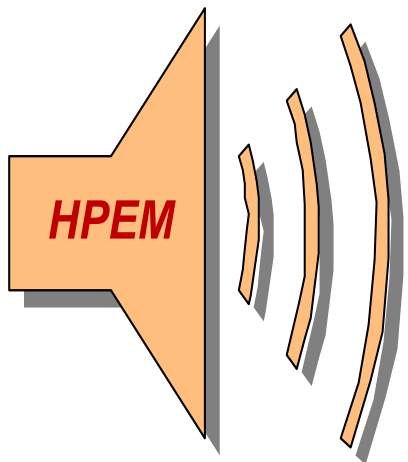
„**cyberprzestrzeń państwa**” – przestrzeń komunikacyjna tworzona przez system wszystkich powiązań internetowych znajdujących się w obrębie państwa.





„cyberprzestrzeń RP”

obejmuje ważne dla bezpieczeństwa państwa



system bankowy

*systemy transportu,
łączności,
infrastruktury energetycznej,
gazowej*

*systemy i sieci teleinformatyczne
eksploatowane przez administrację
rządową, i władzę sądowniczą*





Cyberprzestrzeń

CYBERTERRORYZM

Zgodnie z „Rządowym programem ochrony cyberprzestrzeni RP”

„**cyberterroryzm**” – terroryzm wymierzony przeciwko newralgicznym dla państwa systemom, sieciom i usługom teleinformatycznym.





Sieć i systemy TELEKOMUNIKACYJNE

Sieć telekomunikacyjna - systemy transmisyjne oraz urządzenia komutacyjne lub przekierowujące, a także inne zasoby, które umożliwiają nadawanie, odbiór lub transmisję sygnałów za pomocą przewodów, fal radiowych, optycznych.

System telekomunikacyjny składa się z:

- nadajnika,*
- medium transmisyjnego*
- odbiornika*

Medium transmisyjne – łącza przewodowe (linie miedziane), kanały radiowe naziemne i satelitarne, łącza światłowodowe





Broń elektromagnetyczna

Bomba E

HPM (z ang. High Power Microwaves)

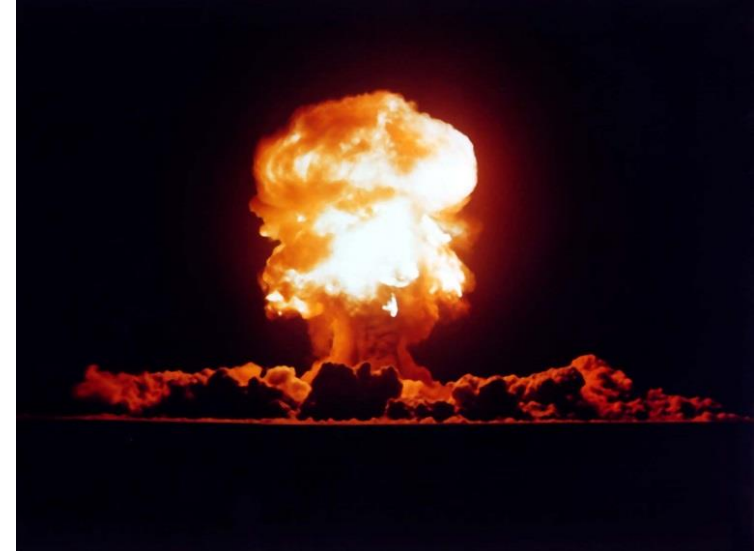
HPEM High Power Electromagnetics Wave

Broń wiązkowa

Broń z energią skierowaną

Broń nieśmiercionośna (Non-lethal)

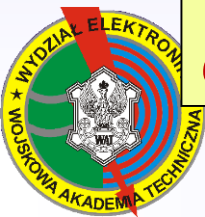
Działo mikrofalowe



Impulsy HPM odkryto jako uboczny efekt wybuchu bomby atomowej

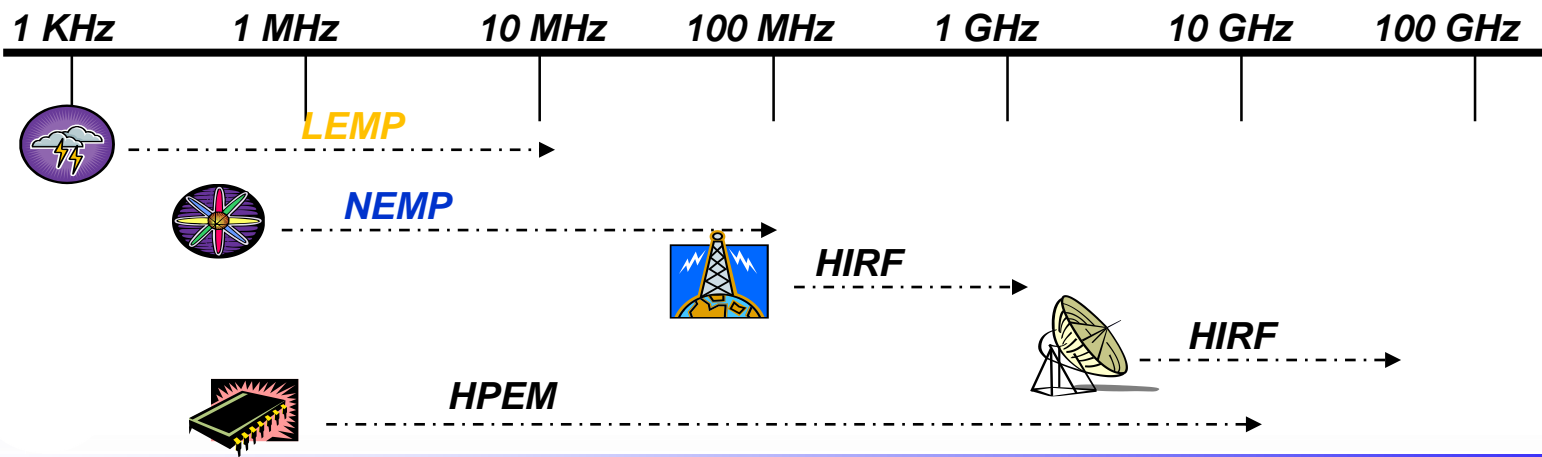
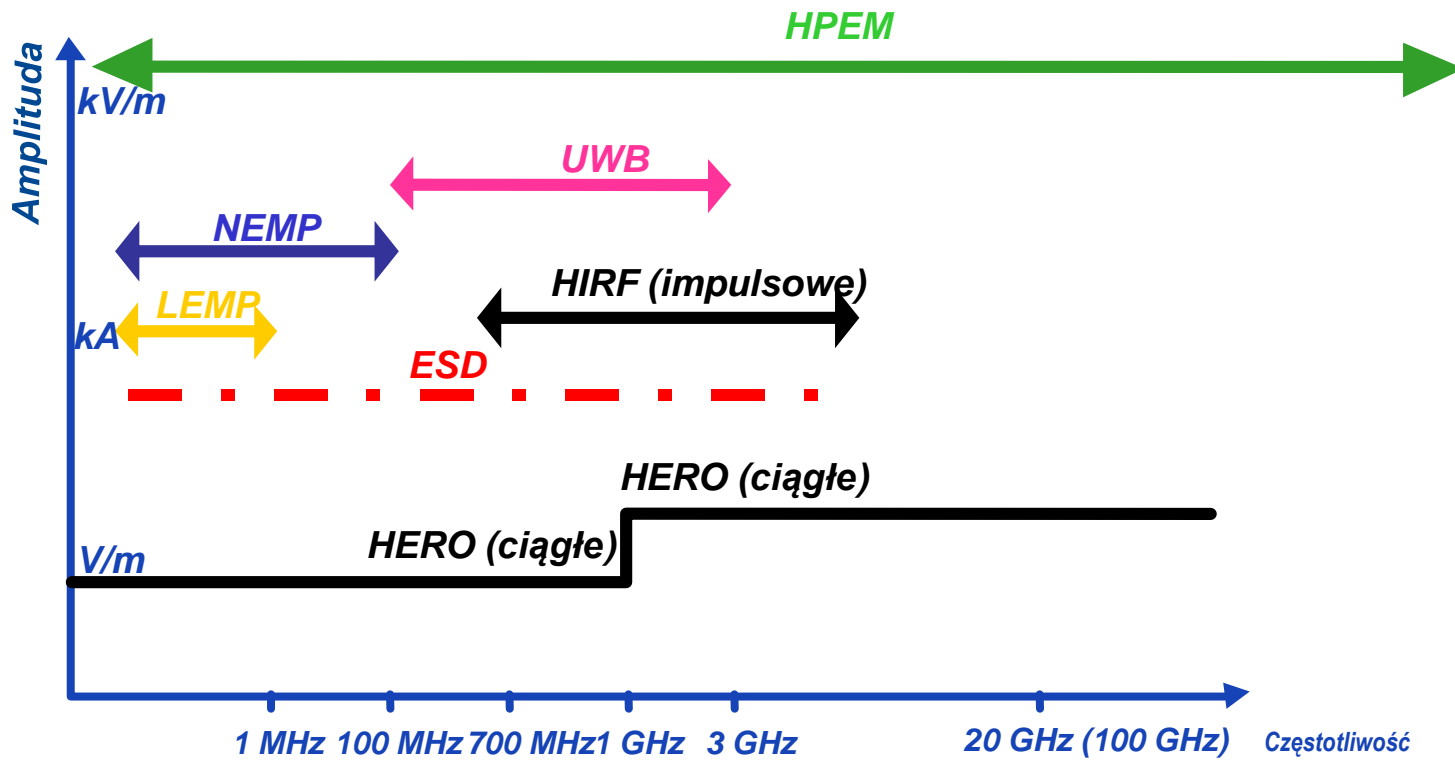
W czasie jednej z pierwszych próbnych eksplozji bomby atomowej w ZSRR impuls elektromagnetyczny spowodował zniszczenie sieci elektroenergetycznej na obszarze o promieniu 1000 km

Energia wysokoenergetycznych impulsów elektromagnetycznych powoduje wzbudzenie bardzo silnych prądów w obwodach elektronicznych powodując nieodwracalne zniszczenia układów zbudowanych na bazie półprzewodników – diód tranzystorów mikroprocesorów.





Spektrum EM





CECHY CHARAKTERYSTYCZNE HPEM JAKO BRONI OFENSYWNEJ

- Wytwarzanie krótkotrwałych ,ukierunkowanych w wiązkę , nanosekundowych impulsów o mocy kilkuset MW i energii od 0.2 – 200 J**
- Uzyskiwanie natężeń pola elektrycznego rzędu 10-100 KV/m na odległościach od 20 do 1000 m**
- Pasma częstotliwości generowanych sygnałów : 100MHz – 20 GHz**
- Generowanie impulsów mocy jednorazowych, wielokrotnych lub ciągłych**
- Silne działanie niszczące oraz trwale zakłócające urządzenia elektroniczne**
- Silne własności penetracyjne impulsów do obwodów, obudów urządzeń i do połączeń kablowych między nimi**
- Oddziaływanie na urządzenia i kable zakopane w ziemi**





CECHY CHARAKTERYSTYCZNE HEPM JAKO BRONI OFENSYWNEJ

- ❑ *Znaczny spadek natężenia pola ze wzrostem odległości*
- ❑ *Różne wersje wykonania i rozmiary generatorów impulsów*
- ❑ *Wykonania fabryczne i domowej roboty jako broń terrorystyczna*
- ❑ *Łatwość wytworzenia z elementów powszechnie dostępnych*
- ❑ *Wiedza o „domowym” sposobie wytworzenia dostępna w Internecie*
- ❑ *Broń charakterystyczna dla konfliktów asymetrycznych*
- ❑ *Broń obosieczna, nieselektywna razi wszystko co napotka*
- ❑ *Brak precyzji namierzania celu*

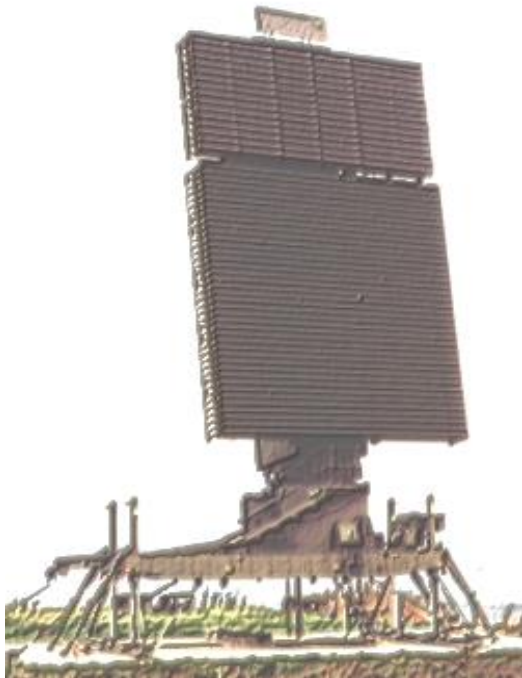




CECHY CHARAKTERYSTYCZNE HPEM JAKO BRONI OFENSYWNEJ

Radary

$P_i = 0,5 - 1,2 \text{ MW}$
 $t_i = 1 - 10 \mu\text{sek}$



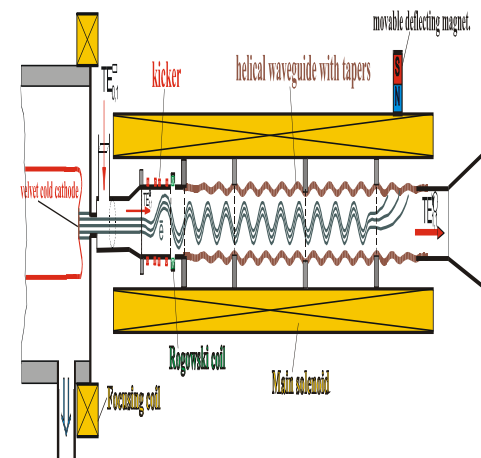
Wyładowanie atmosferyczne

Wyładowanie główne 30 – 200kA
Czas trwania - milisekundy

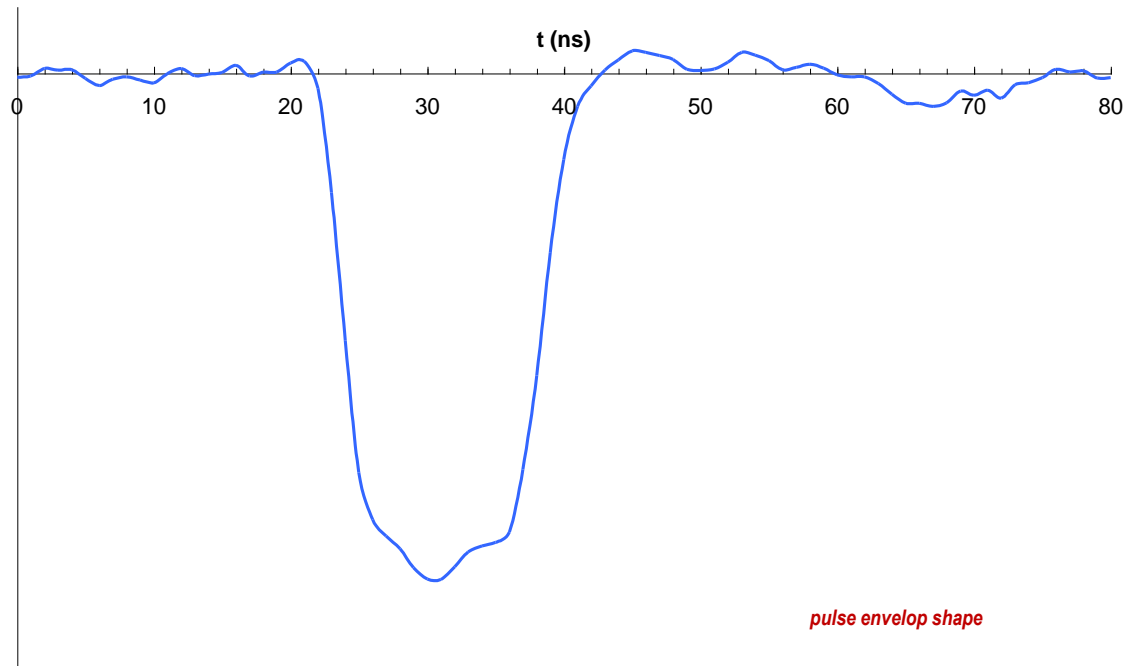


HPEM

$P_i = \text{GW}$
 $t_i = \text{nsek}$



Impulsy HPEM

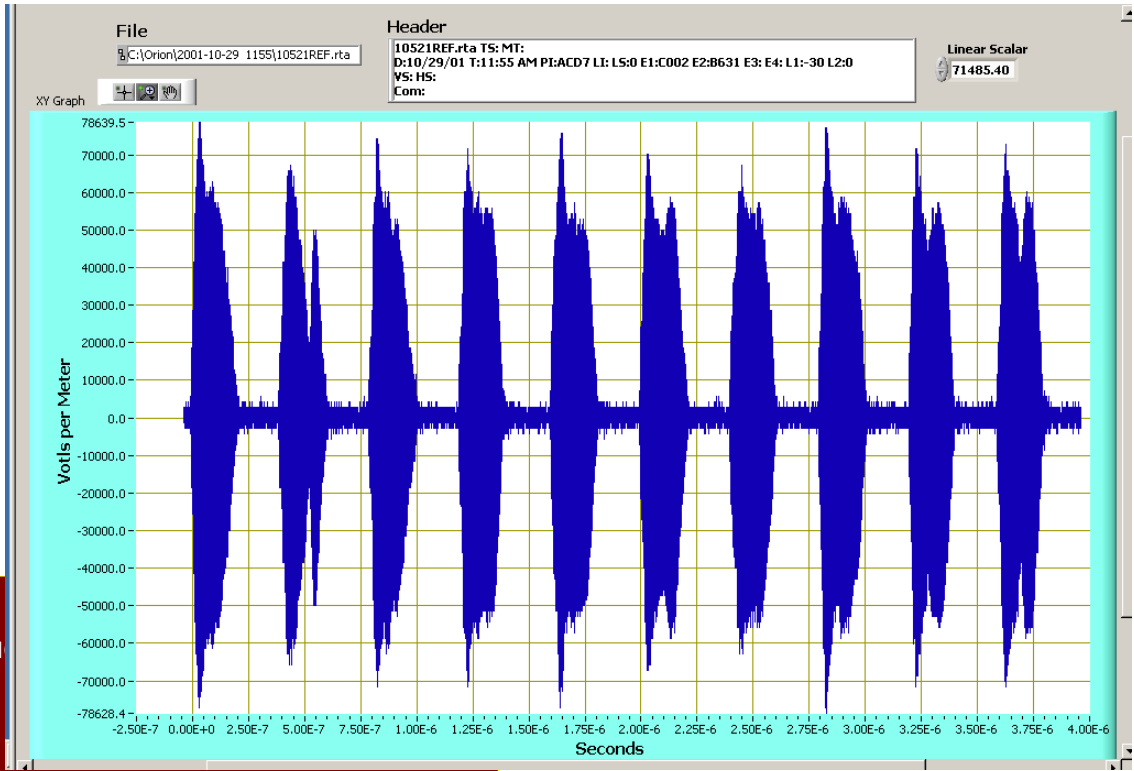


pulse width (half power) : ≈ 15 ns
power : 500 MW

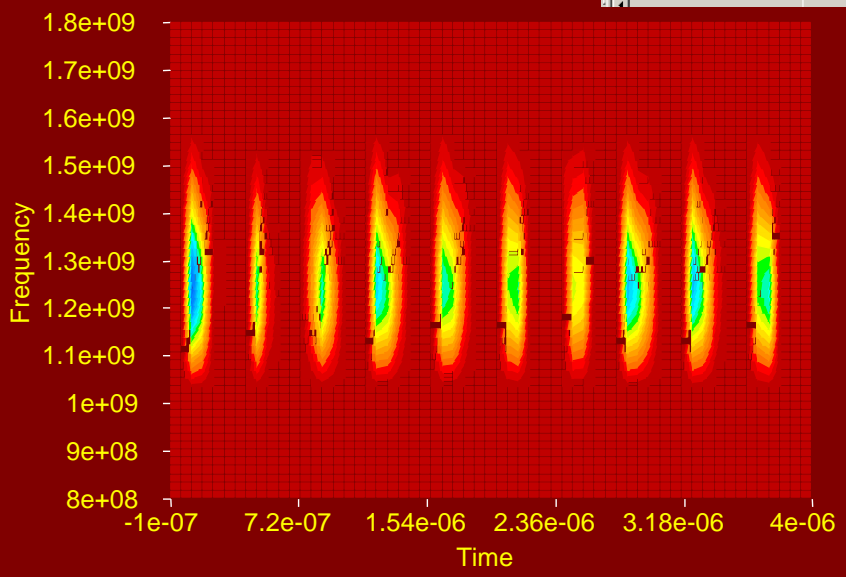




Impulsy HPEM



Short-Time Fourier Transform Frequ





Czasy trwania impulsów HPEM

Czasy **impulsów** zawierają się w zakresie od 5 do 50 ns.

- **Pozwalają na osiągnięcie bardzo wysokich wartości mocy impulsu przy ograniczonym wydatku energetycznym.**
- **Uniemożliwia to włączenie jakichkolwiek zwór czy zabezpieczeń, które mogłyby uniemożliwić penetrację impulsu do wnętrza urządzenia elektronicznego.**
- **Ewentualne zabezpieczenia mają czas zadziałania rzędu mikrosekund, podczas gdy czas trwania impulsu HPEM jest dziesiątki razy krótszy.**





Zmniejszenie odporności:

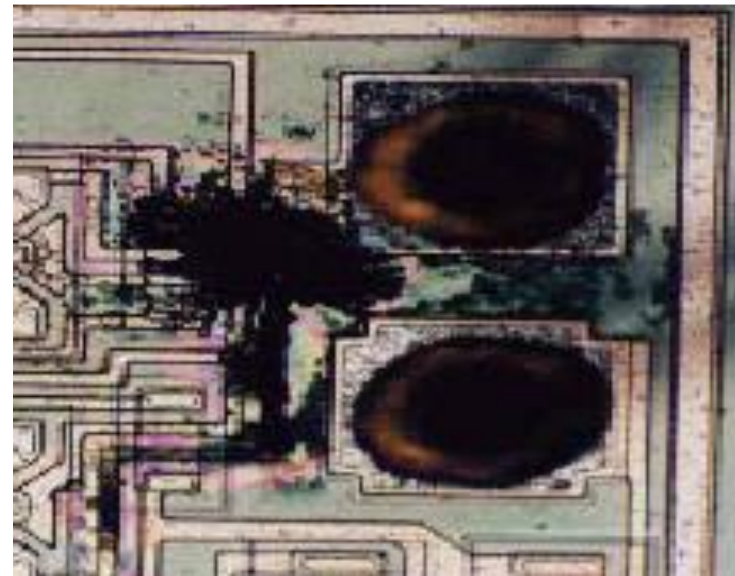
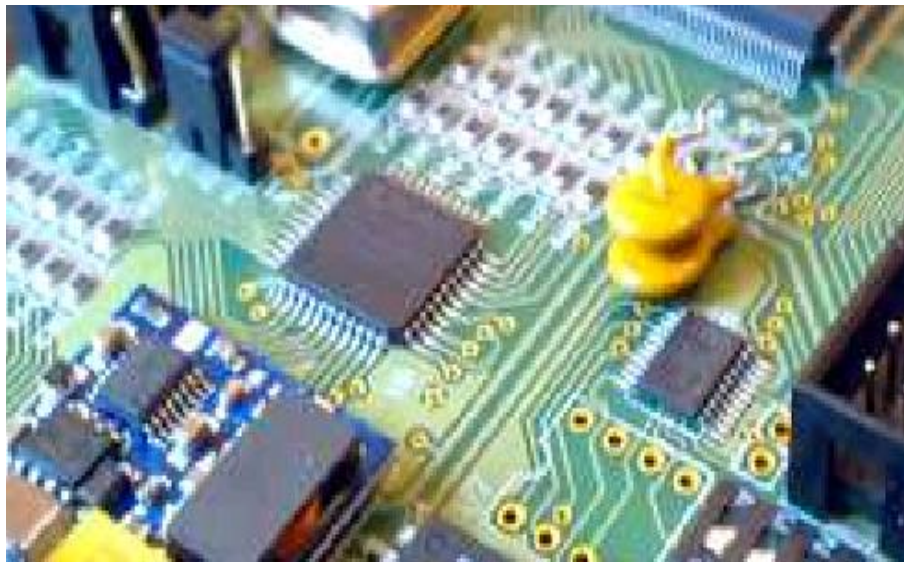
Wartości energii impulsu jednomikrosekundowego powodujące trwałe uszkodzenie elementów elektronicznych

| Element | Wartość Energii [mJ] |
|--------------------------|-------------------------|
| Lampa Elektronowa | $1 \dots 10^4$ |
| Rezystor drutowy | 10^3 |
| Rezystor węglowy | 50 |
| Przełącznik | $10^{-1} \dots 10^3$ |
| Rezystor cienkowarstwowy | $10^{-1} \dots 10$ |
| Dioda prostownicza | $10^{-1} \dots 10^2$ |
| Dioda Zenera | $10^{-1} \dots 10^2$ |
| Tranzystor dużej mocy | $10^{-1} \dots 10$ |
| Układ scalony VLSI | $10^{-6} \dots 10^{-3}$ |





Zmniejszenie odporności:



detektor mikrofalowy

ulega uszkodzeniu

przy $0,2 \mu\text{J}/\text{m}^2$

dla impulsu o długości 100 ns





ELEMENTY W SYSTEMACH C4I PODDATNE NA ODDZIAŁYWANIE HPEM

- ❑ *Elementy półprzewodnikowe zwłaszcza układy scalone i diody mikrofalowe*
- ❑ *Wejściowe obwody antenowe*
- ❑ *Połączenia kablowe transmisyjne , sterujące i zasilające oraz obwody dołączone do nich*
- ❑ *Obwody i układy zasilania mocy zmiennoprądowe i stałoprądowe zewnętrzne i wewnętrzne*



Fig. 6. Permanent damage of input transistor. Finger width is approximately 1 μm . Photo (SEM): C. Afzelius, FMV.





Formy wytwarzania impulsów ekstremalnie wysokomocowych

- 1. Wybuch bomby atomowej***
- 2. Kompresja pola magnetycznego***
- 3. Elektroniczne wytwarzanie impulsów HPEM***
- 4. Małe urządzenia generujące HPEM do celów terrorystycznych***





Formy wytwarzania impulsów ekstremalnie wysokomocowych

1. Wybuch bomby atomowej

- **Specjalne konstrukcje bomb atomowych ukierunkowane głównie na wytworzenie impulsów HPEM**
- **jedna specjalizowana bomba atomowa zdetonowana na wysokości 40 km unieszkodliwi urządzenia elektroniczne na terytorium połowy Polski**
 - **na powierzchni Ziemi (wysokość do 2 km),**
 - **w atmosferze (wysokość 2-20 km),**
 - **na dużej wysokości (większej od 40 km).**
- **czas narastania impulsu < 5 ns,**
- **czas trwania impulsu < 200 ns,**
- **$E < 40 \text{ kV/m}$,**
- **$H < 200 \text{ A/m}$.**
- **czas narastania impulsu < 50 ns,**
- **czas trwania impulsu < 100 μs ,**
- **$E < 10 \text{ kV/m}$,**
- **$H < 50 \text{ A/m}$.**
- **czas narastania impulsu < 10 ns,**
- **czas trwania impulsu > 100 ns,**
- **$E < 100 \text{ kV/m}$,**
- **$H < 300 \text{ A/m}$.**





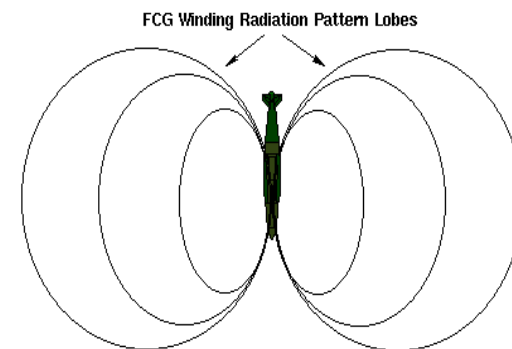
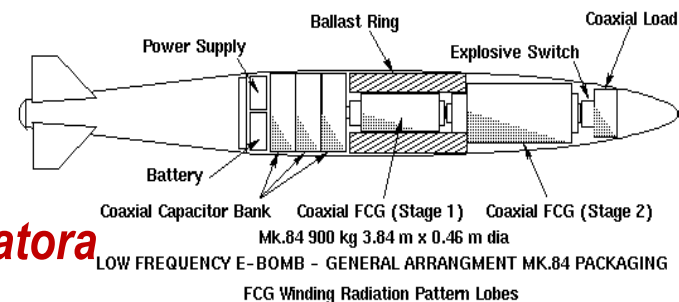
Formy wytwarzania impulsów ekstremalnie wysokomocowych

2. Kompresja pola magnetycznego

Vircator (ang. VIRtual CAthode oscillaTOR), czyli urządzenie generujące z wirtualną katodą. W urządzeniach bazujących na technologii Vircatora istnieje możliwość regulacji częstotliwości promieniowania impulsowego w szerokim paśmie częstotliwości (od 0,5 do 30 GHz)

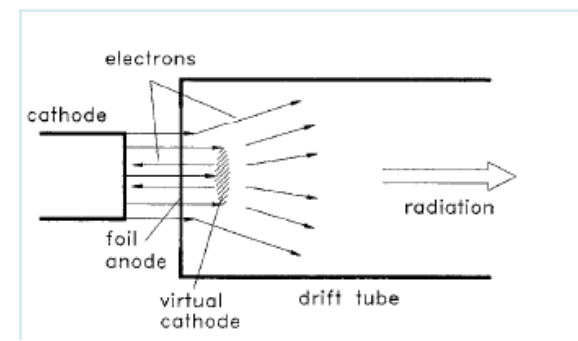
Impuls HPEM otrzymywany jest w wyniku eksplozji klasycznego materiału wybuchowego w urządzeniach umożliwiających gwałtowną kompresję pola

- stosowane materiały czynne – ferromagnetyki, ferroelektryki
- do zamontowania na bezzałogowych obiektach latających



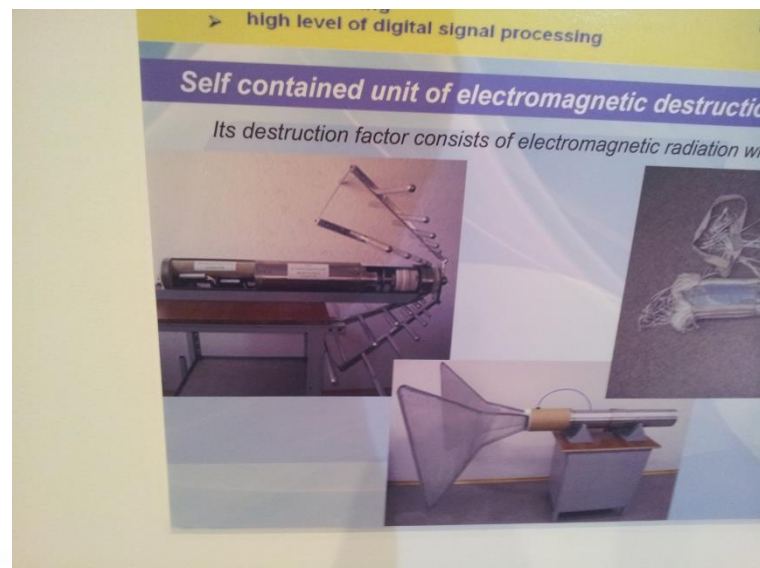
(C) 1996 Carlo Kopp

FIG.4 LOW FREQUENCY E-BOMB WARHEAD (MK.84 FORM FACTOR)





Viricator

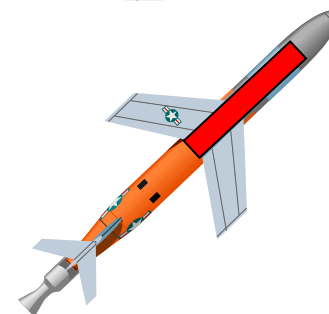
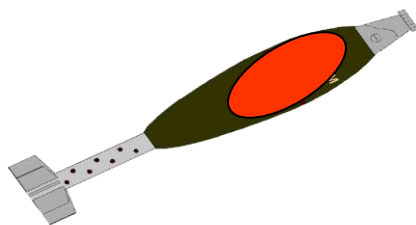
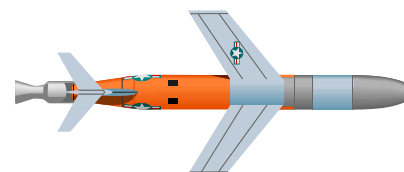




Formy wytwarzania impulsów ekstremalnie wysokomocowych

2. Kompresja pola magnetycznego

- *wytwarzany jest najczęściej tylko jeden impuls*
- *zrucane w bombach w pobliżu miejsc które mają być sparaliżowane*
- *raczej niskie częstotliwości promieniowania (trudności ze skupieniem promieniowania ale duże penetracje do wnętrza budynków, bunkrów)*



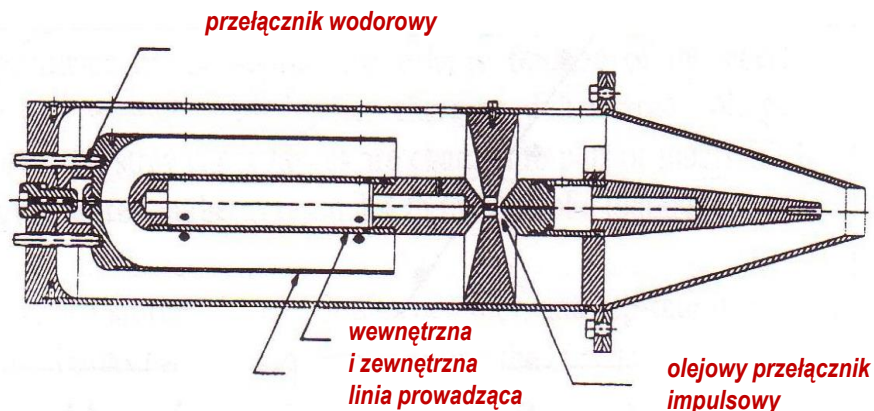


Formy wytwarzania impulsów ekstremalnie wysokomocowych

3. Elektroniczne wytwarzanie impulsów HPEM

- możliwość wytwarzania ciągu impulsów
- możliwość wytwarzania impulsów o określonej częstotliwości

Przykłady niektórych rozwiązań urządzeń do generacji impulsów HPEM



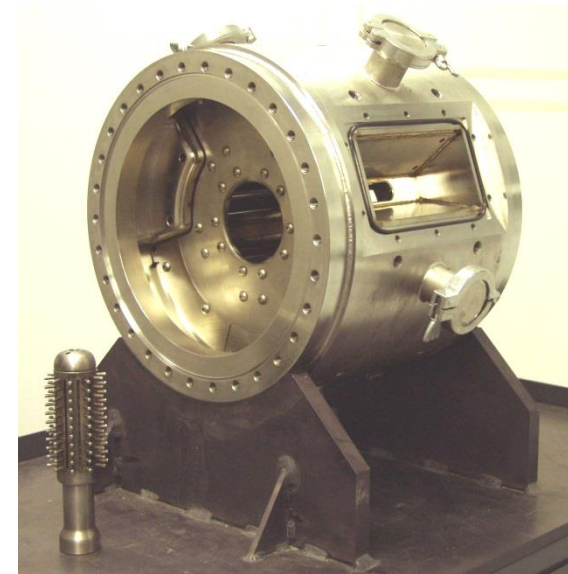
Urządzenie nazwane roboczo **SNIPER** (ang. Sub-Nanosecond ImPulsE Radiator) jest ultra szerokopasmowym źródłem wytwarzającym impuls o mocy 1,2 GW. natężenia pola elektrycznego w odległości 1 m od urządzenia $E = 120 \text{ kV/m}$ (gęstość mocy $S = 40 \text{ MW/m}^2$)



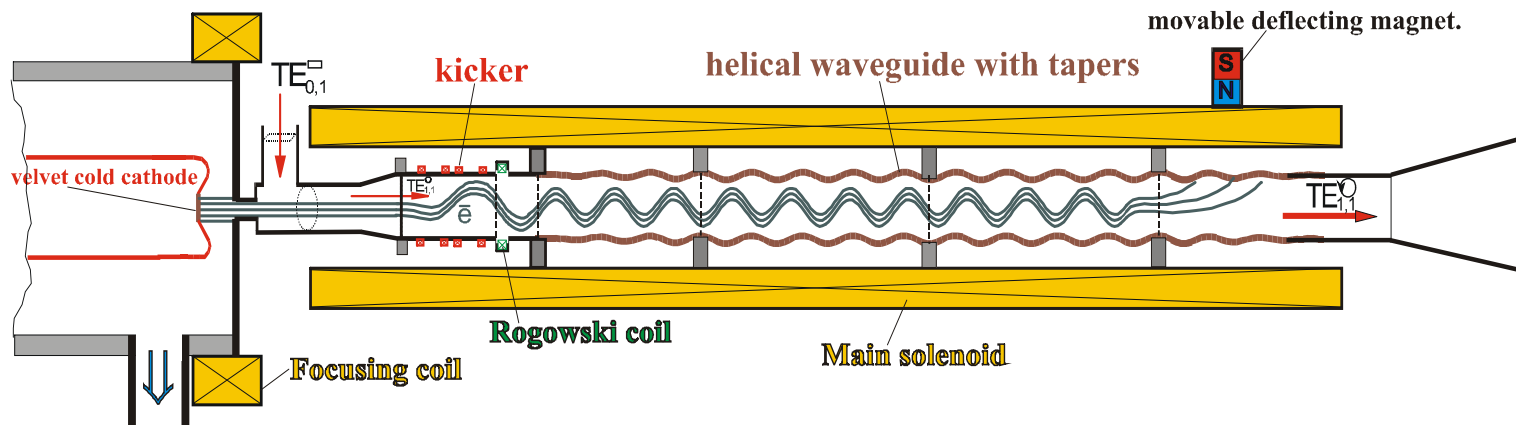


3. Elektroniczne wytwarzanie impulsów HPEM

Magnetrony



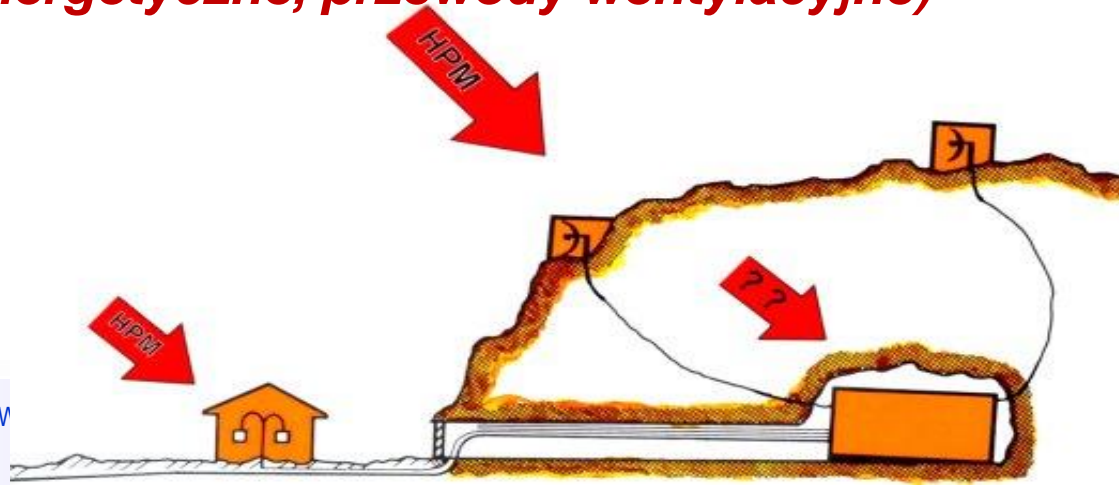
Gyro-TWT Amplifier





Drogi wciekania energii HPEM

- ❖ **Bezpośrednie - poprzez anteny**
 - **gdy HPEM ma częstotliwość na jakiej pracuje antena i urządzenie**
 - **HPEM jest impulsem o dużym spektrum harmonicznym**
- ❖ **Pośrednie - poprzez inne wejścia elektroniczne do urządzenia**
 - **poprzez pola wtórne indukowane w zewnętrznych metalowych częściach**
 - **po kablach energetycznych**
- ❖ **Nieoczekiwane - w bunkrach, obiektach (doprowadzenia energetyczne, przewody wentylacyjne)**

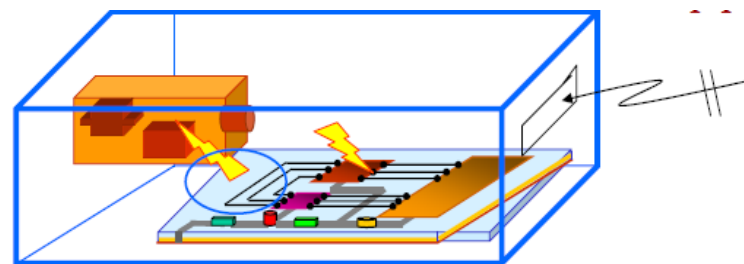
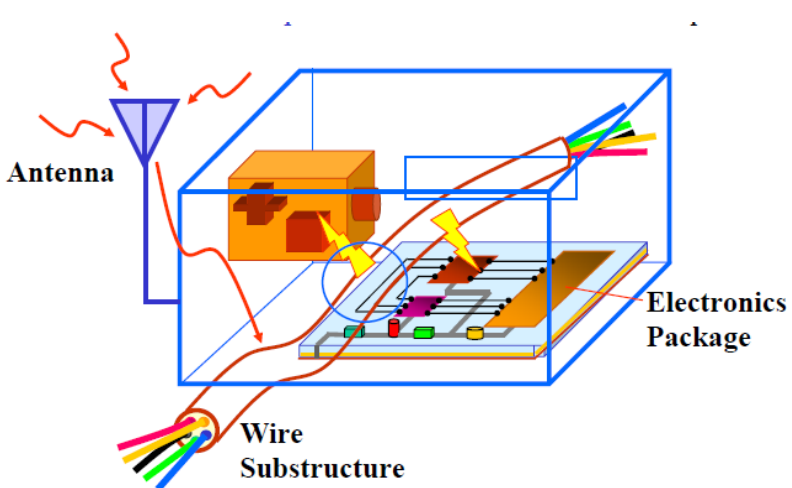
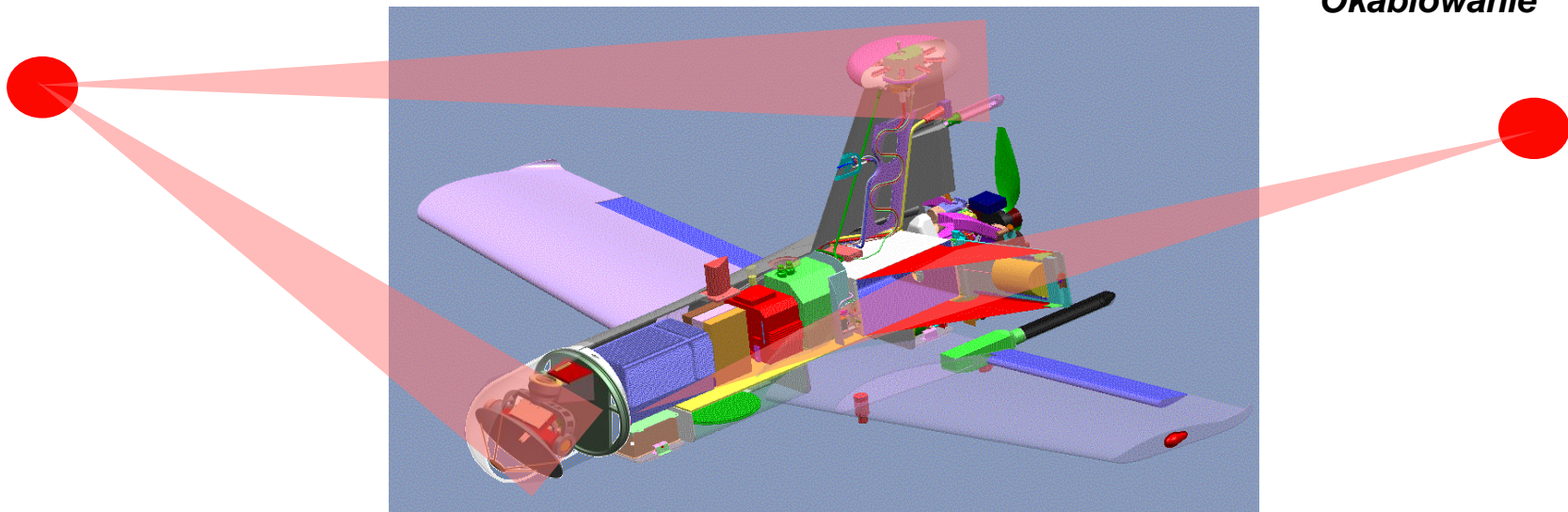




**Drzwi frontowe
przez
Anteny i czujniki**

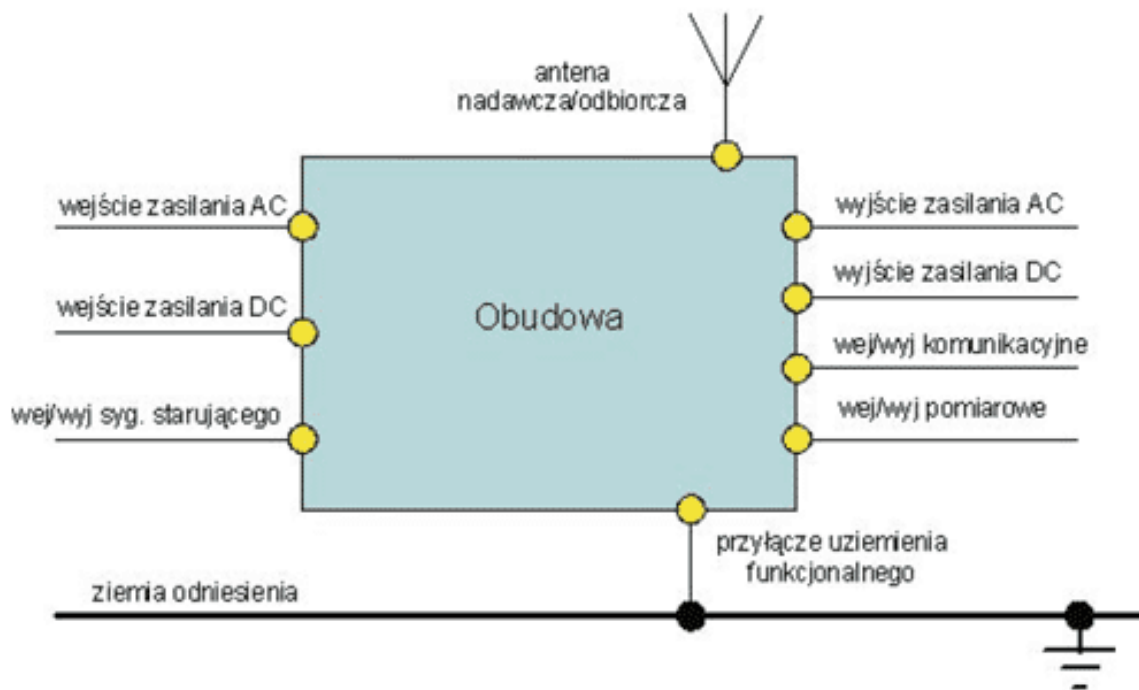
Mechanizm sprzężenia

**Drzwi tylne
przez
Okablowanie**





Drogi przedostawania się energii impulsów HPEM do urządzeń telekomunikacyjnych i teleinformatycznych

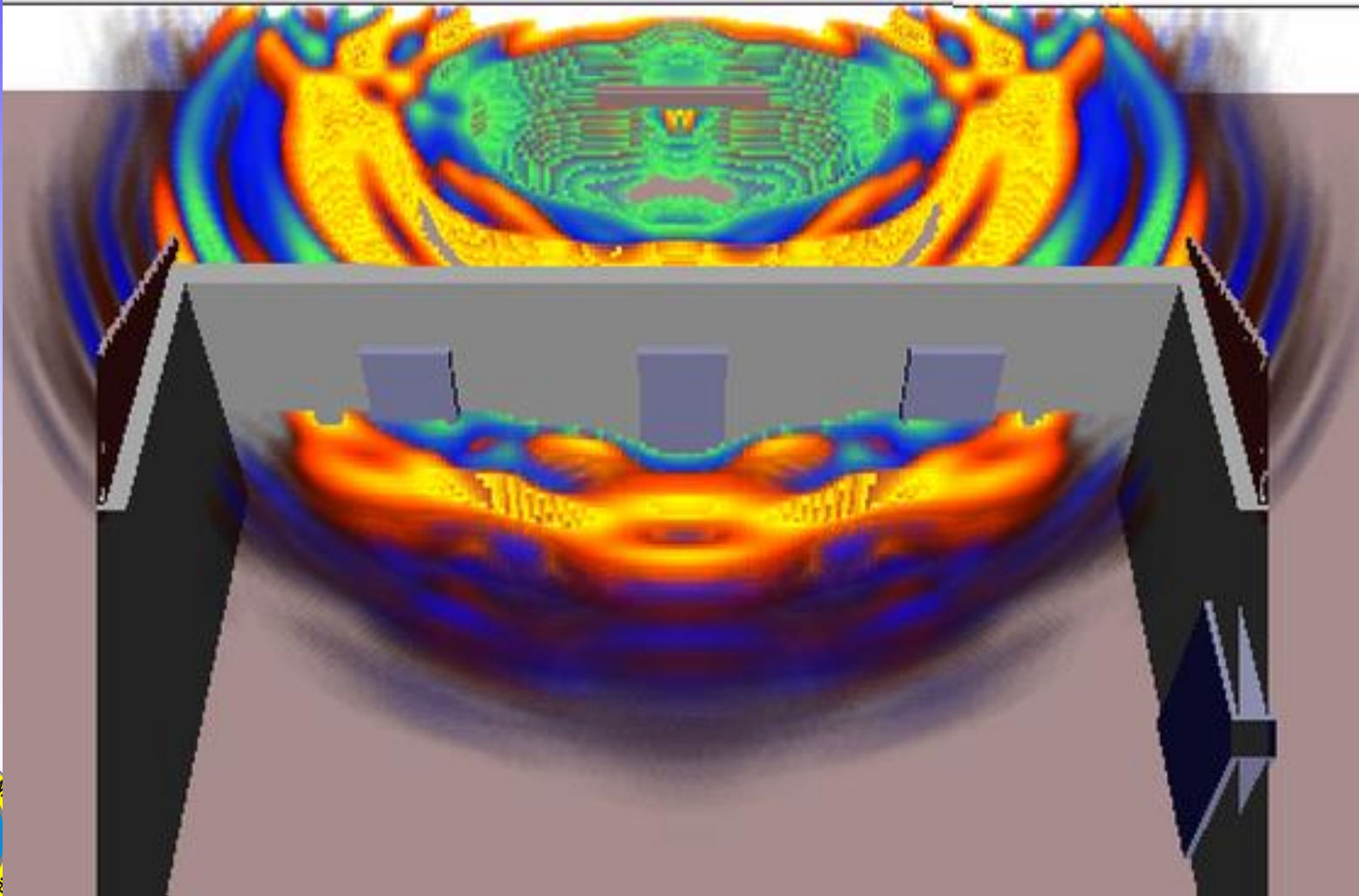


Energia przenoszona przez wysokoenergetyczne impulsy elektromagnetyczne może przedostawać się do wnętrza urządzenia telekomunikacyjnego poprzez: obudowę, interfejsy telekomunikacyjne, wejścia zasilania itd.





Wizualizacja natężenia pola elektrycznego





Betonowe bloki ścienne

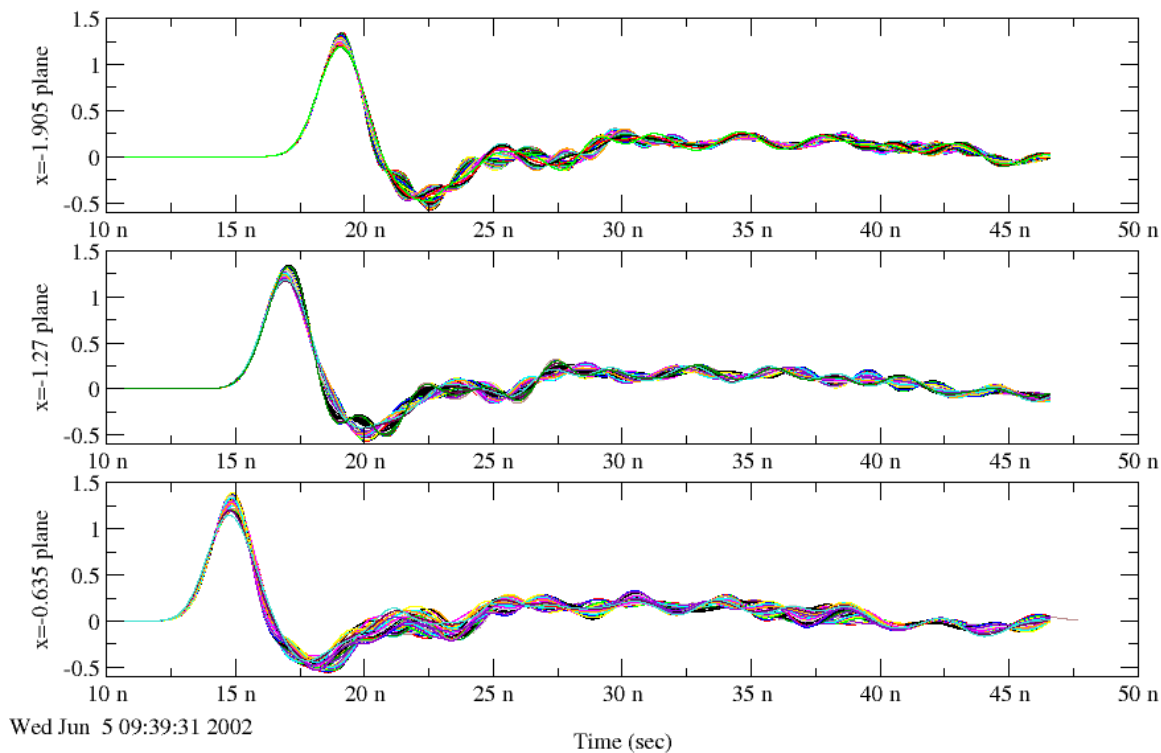
- **Główne betonowe bloki ścienne, 12'' grubości z prętami na wierzchu (blisko powierzchni), dalekie oraz średnie (typowo w środku ściany) położenia**
- **Typowe betonowe oszacowania $\varepsilon_r = 8.8$, $\sigma = 0.0, 0.01, 0.04$**





Zespół ściennych transmisji

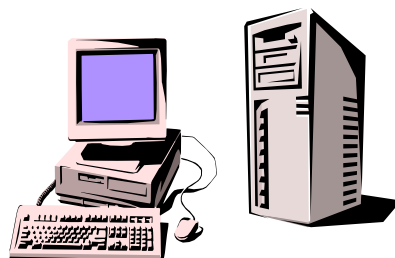
- 4,0" kwadratowy pręt w 12" grubości betonowych bloków
- 50 kształtów fali 0.635, 1.27, 1.905 metrów przedstawiają wahania w transmisji





Drogi przedostawania się energii impulsów HPEM do urządzeń telekomunikacyjnych i teleinformatycznych

Wszystkie urządzenia i podzespoły elektroniczne, w których znajdują się układy scalone ulegają bezpowrotnemu zniszczeniu





Zintegrowana łączność na polu bitwy poprzez zastosowanie Network Centric Operation

Sieć umożliwiająca łączność Marynarki Wojennej

Zintegrowane rozwiązania CNI Avionics



Użyteczność publiczna

Metropolitan Area

SMALL OFFICE / HOME OFFICE

Office

Home

Last Mile
Radio access instead of cabled wide-band network

MOBILE / NOMADIC

Mobile Office

Hotel

House

Car

Train

Airport

Continuous Service

BROADBAND OVERLAY

GSM

UTMS

TETRA

Multimedia Services Improvement
WiMax extend and complete services provided by existing networks

BACKHAUL

WiMax BS

WiMax BS

Network

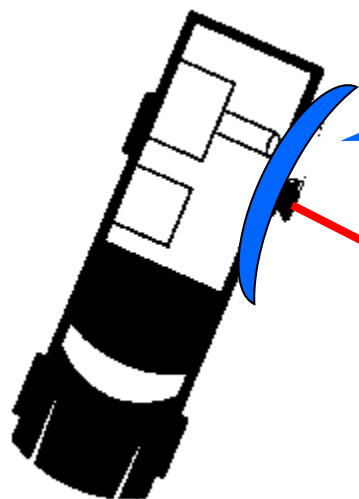
Access

Wireless Access to the Backbone
instead of wired connection





Wzajemne oddziaływania systemu namierzania i wartości progowe



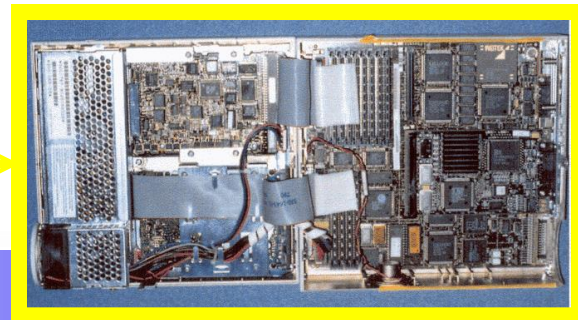
Źródło

Antena przytwierdzona odpowiednio do obszaru strony platformy

Zasięg

Promień

Elektroniczny cel



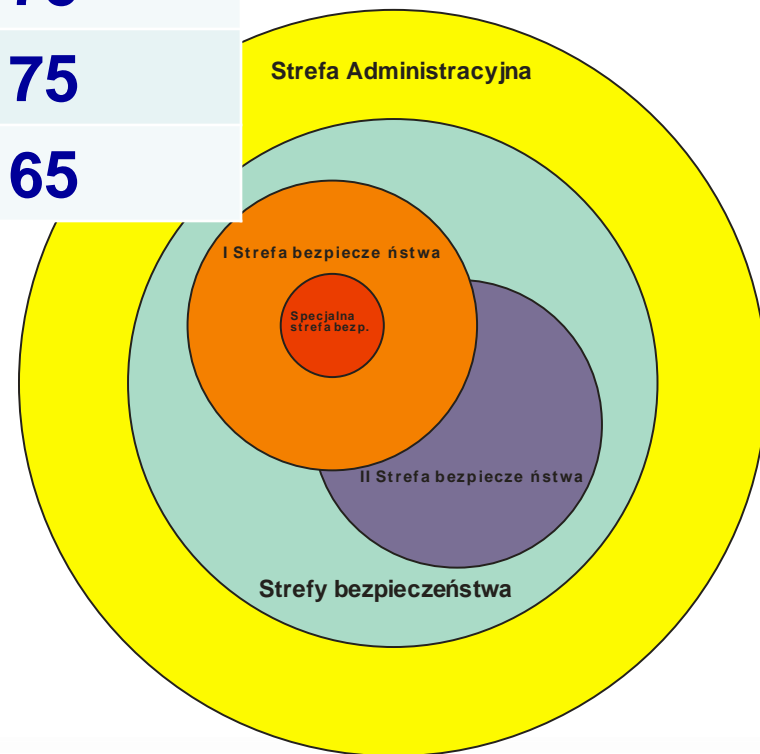
tarcza





Wymagana skuteczność ekranowania przy poziomie sygnału -37 dBm

| Zakres częstotliwości [MHz] | Wymagane poziomy [dB] | |
|-----------------------------|-----------------------|---------|
| | Klasa A | Klasa B |
| 5-30 | 85 | 75 |
| 30-300 | 85 | 75 |
| 300-470 | 80 | 75 |
| 470-950 | 75 | 65 |





Platformy dostawcze HPEM

Zostało zdefiniowanych pięć platform w odniesieniu do prawdopodobnych środków możliwych dla przetransportowania urządzeń

Rozmiary są typowe i zróżnicowane



| Platformy dostawcze | Objętość | Pojemność załadunku |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Walizka | 0.02 m³ | 5kg |
| Szafka | 0.15 m³ | 38 kg |
| Ciezarówka Pickup | 4 m³ | 1000 kg |
| Autobus | 8 m³ | 2000 kg |
| Naczepa ciągnika | 80 m³ | 20,000 kg |





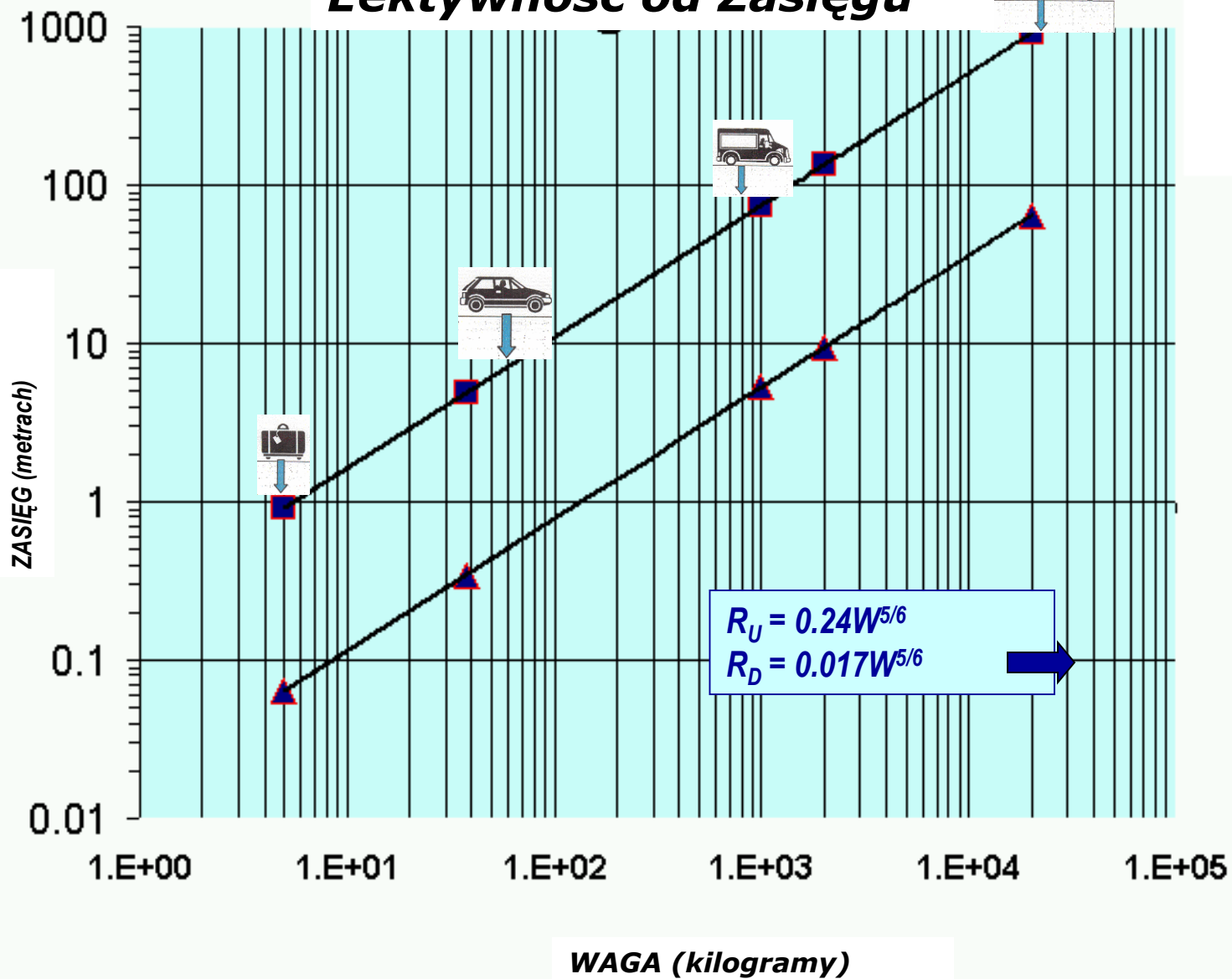
Skalowalne Platformy Wyjściowe

| Dostarczone Platformy | Objętość | Waga | Wyjściowa Energia RF | Wyjściowa Moc RF |
|--------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|------------------|
| Walizka | 0.02 m³ | 5 kg | 0.01 J | 10 MW |
| Szafka | 0.15 m³ | 38 kg | 0.075 J | 75 MW |
| Cieżarówka Pickup | 4 m³ | 1000 kg | 2 J | 2000 MW |
| Autobus | 8 m³ | 2000 kg | 4 J | 4000 MW |
| Pół Platforma | 80 m³ | 20,000 kg | 40 J | 40,000 MW |



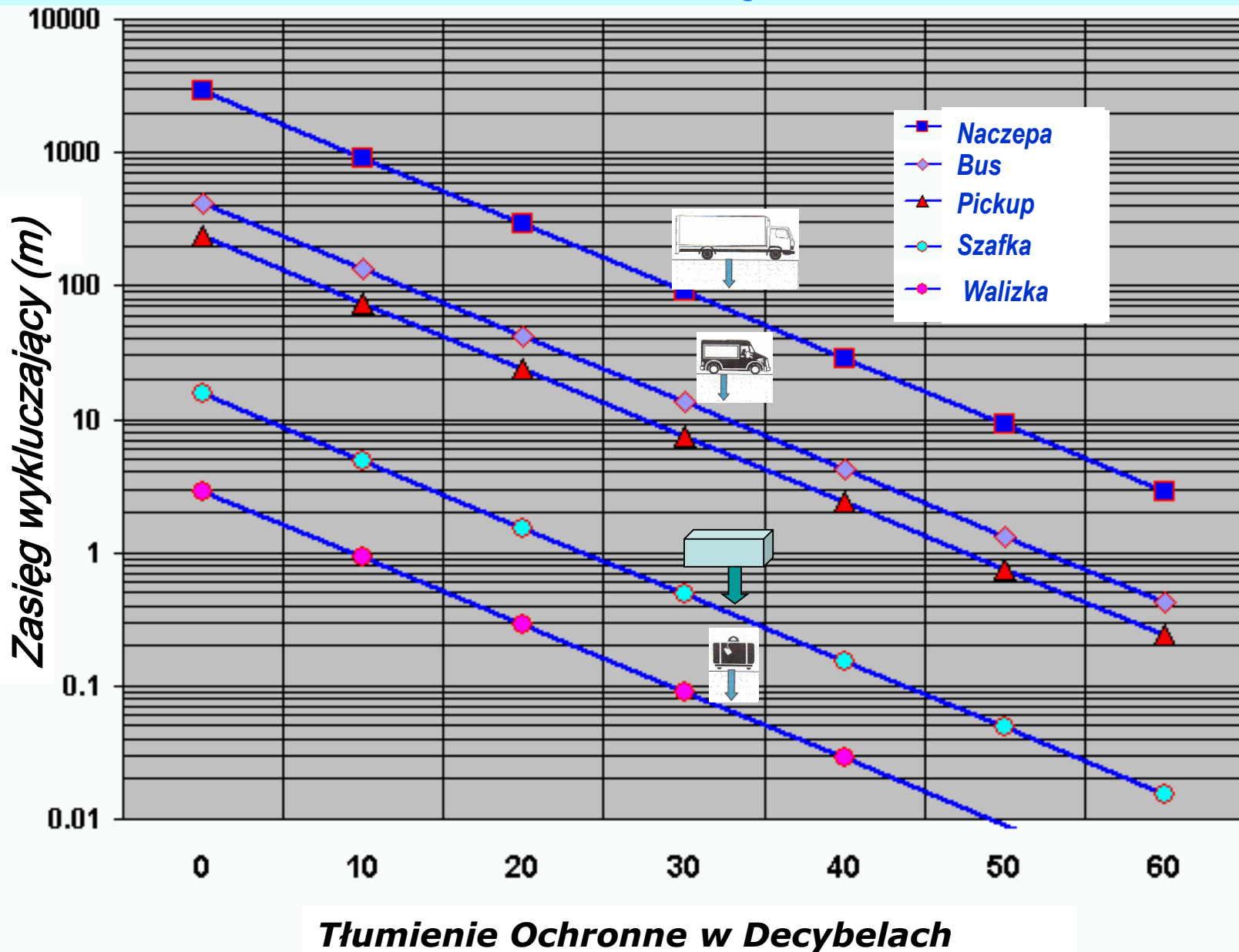


Eektywność od Zasięgu



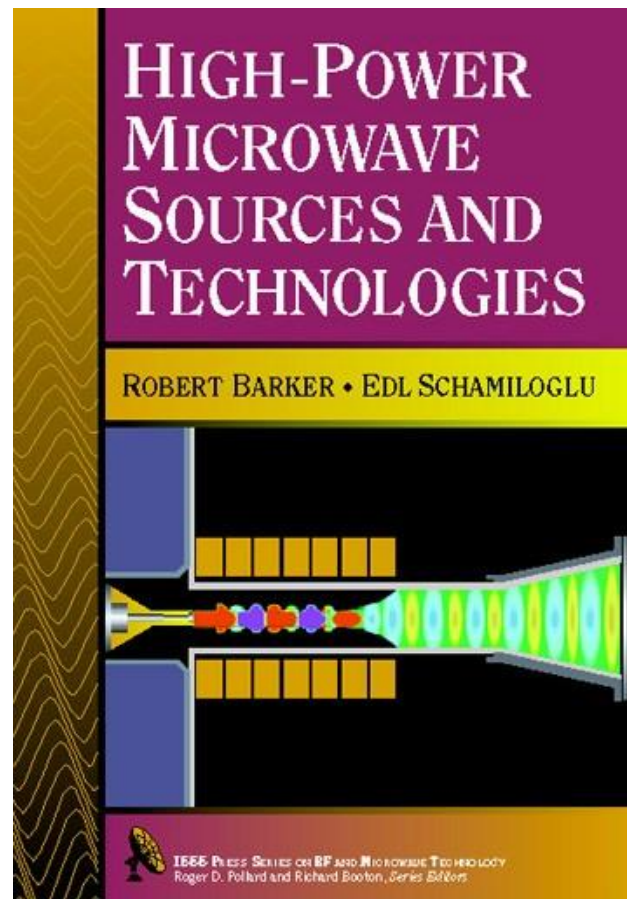
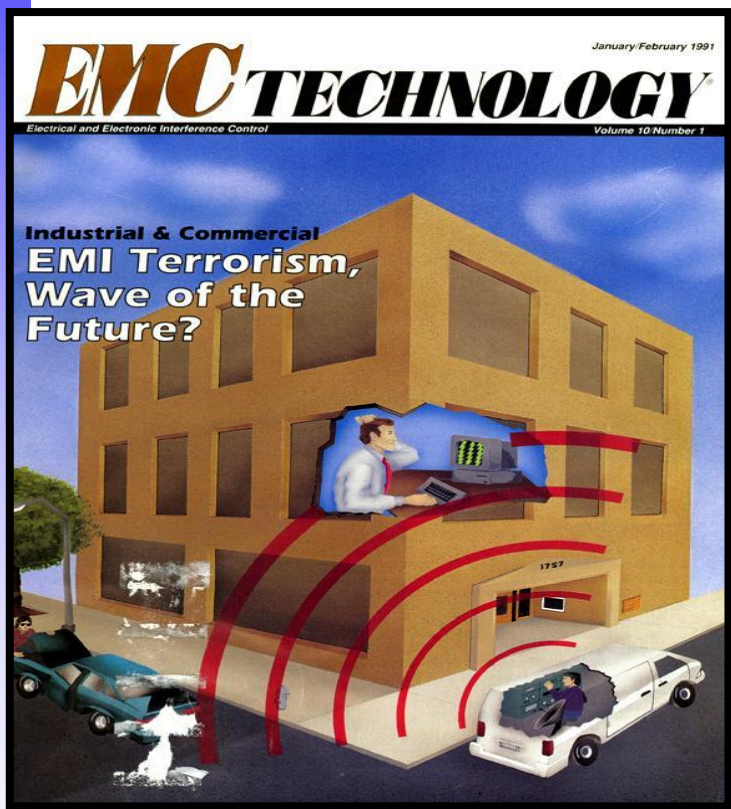


Efektywny Zasięg Zakłócania vs. Poziom Ochrony





Zminiaturyzowane urządzenia generujące HPEM do celów terrorystycznych





ROZWÓJ TECHNOLOGII HPEM W EUROPIE I NA ŚWIECIE

- Początki w latach 60-tych , próby z bronią jądrową
- Szybki rozwój od początku lat 90-tych
- Od lat duża liczba programów badawczych i doświadczalnych w NATO uczestnicy;
USA, Niemcy ,kraje skandynawskie , Czechy, Litwa
- Kraje najbardziej zaawansowane w technologii HPEM ; Rosja, Szwecja ,Niemcy ,USA, Chiny
- Laboratoria i poligony badawcze
- Systematyczny postęp w programach doprowadził obecnie do powstania pierwszych programów produkcyjnych urządzeń oraz zaawansowania technologii użycia tej broni i obrony przed jej skutkami
- Prawdziwe wyniki prac z programów (np. z NATO- RTO) są niedostępne
- Polska nie brała nigdy udziału w tych programach**

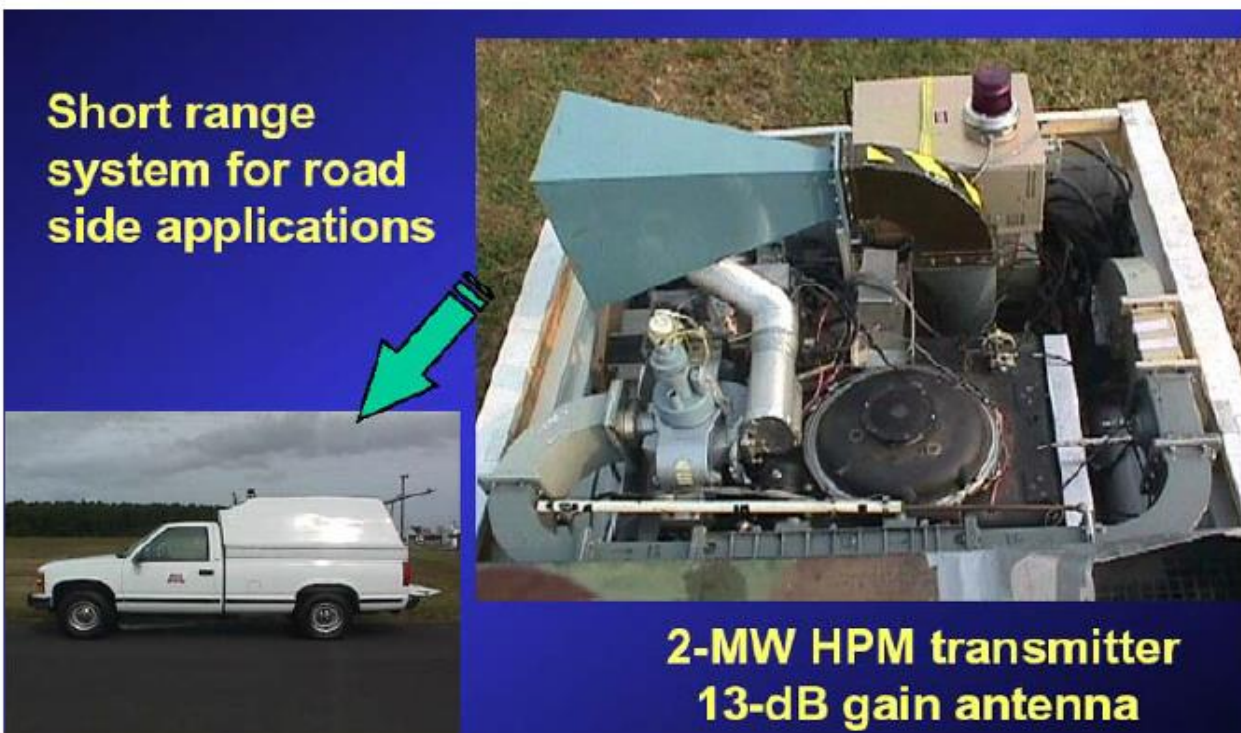




GENERATOR HPEM DO ZATRZYMYWANIA POJAZDÓW I NISZCZENIA URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH NA POBOCZACH DRÓG (IED)

Nature of HPM Threat

Example 1: Mobile HPM Source



© Fraunhofer INT

Fraunhofer
INT





GENERATOR HPEM DO ZATRZYMYWANIA POJAZDÓW





Atak mikrofalami. Rakieta zdała test i "usmażyła" elektronikę

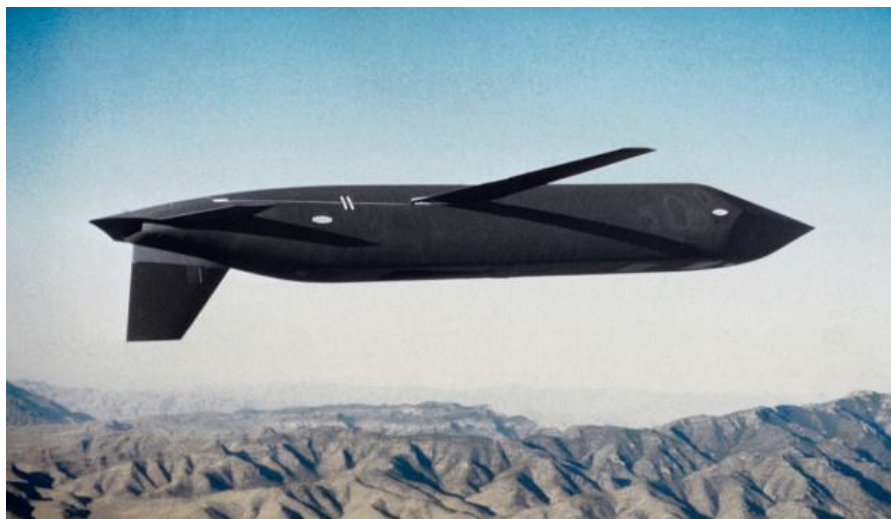


Foto: USAF Wygląd CHAMP-a jest tajny. Ma jednak przypominać raketę cruise, taką jak na przykład AGM-129

Rakieta CHAMP, która ma "zwiastować nadejście nowej ery w prowadzeniu wojen", udanie zaliczyła pierwszy test. Pocisk przeleciał po zaprogramowanej trasie i silnymi wiązkami mikrofal "usmażył" elektronikę we wskazanych budynkach.

Jak twierdzi Boeing oraz wojsko, wszystko przebiegło bez zarzutów i rakieta spełniła pokładane w niej nadzieje. O tym, że pierwszy w pełni sprawny CHAMP przeleciał nad poligonem w Utah 16 października, poinformowano dopiero ponad tydzień później.





***DZIĘKUJĘ PAŃSTWU ZA
UWAGĘ***

