Instytut Łączności

Kompatybilność elektromagnetyczna & bezpieczeństwo

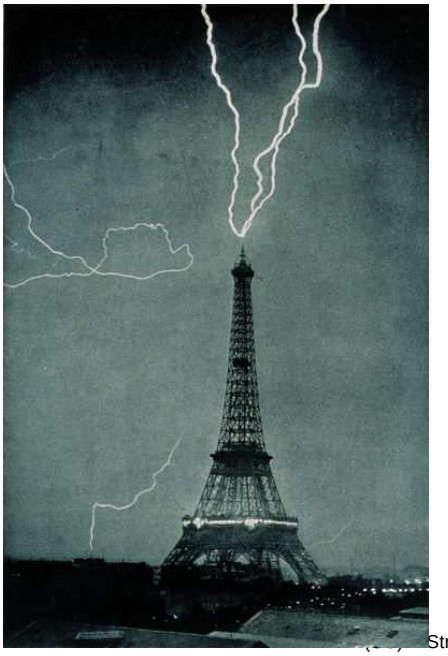
Prof. dr hab. Ryszard Strużak

Warszawa 21– 03 - 2007

- Społeczństwo staje się coraz bardziej uzależnione od elektryczności
  - Transmisja energii i informacji na odległość, gromadzenie i przetwarzanie informacji
    - Radio, telewizja, telekomunikacja, pogotowie, transport, opieka medyczna, biznes, banki i finanse, przemysł, ...
- Cel: Przegląd zagrożeń natury elektro-magnetycznej związanych ze współistnieniem urządzeń, procesów i systemów
  - Wprowadzenie do EMC

Plan

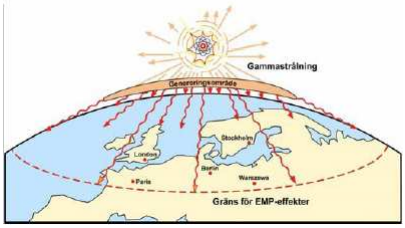
1. Kilka przykładów z życia
2. Bezpieczeństwo funkcjonalne
3. Trendy
4. EMC, EMI, IEMI, ...
5. Badania eksperymentalne EMC



Procesy EM

- Naturalne
- Związane z działalnością człowieka
  - Zamierzone
  - Niezamierzone

EMP - „Sztuczny piorun”



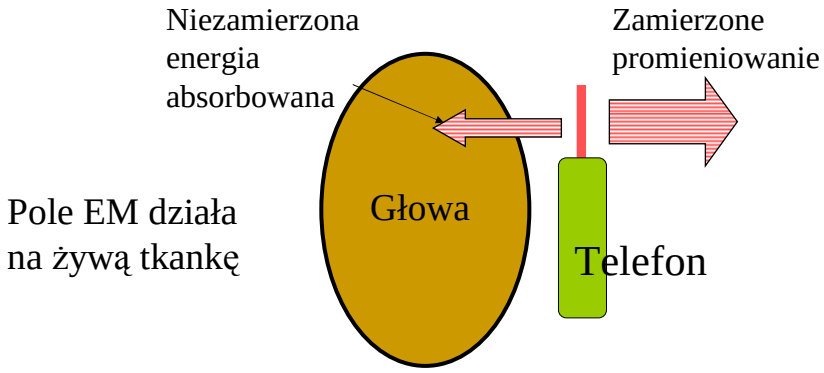
- Potężny impuls pola EM
  - Wytwarzany w celu uszkodzenia lub zniszczenia systemów elektronicznych, telekomunikacyjnych i elektrycznych

EMP może być wytworzony przez wybuch nuklearny w atmosferze

Zniszczenia mogą rozciągać się na wielkie obszary, zależnie od siły wybuchu i jego wysokości nad ziemią

Mats Bäckström: THE THREAT FROM INTENTIONAL EMI AGAINST THE CIVIL TECHNICAL INFRASTRUCTURE; *Reprint from ESW2006, 3rd European Survivability Workshop, 16 – 19 May 2006, Toulouse, France.*

Efekty biologiczne



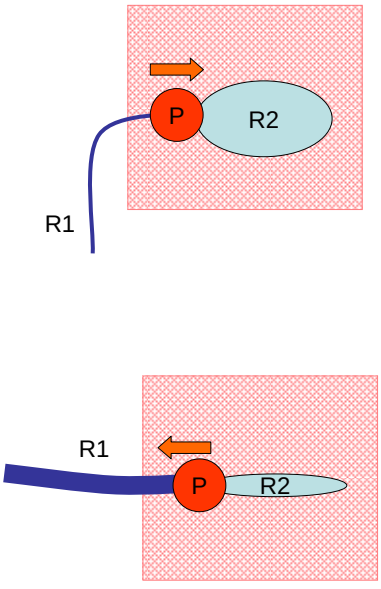
Ograniczenia mocy:
2.7mW/cm2 (6min.)
8W/kg (dowolny gram tkanki)

Source: J. Lin: Wireless communication radiation and its biological effects, Global Communications Interactive 1998

Implanty

- Rozruszniki serca
- Pastor z San Francisco, leczący się na impotencję, miał wszczepiony aparat sterowany radiem, wywołujący erekcję po naciśnięciu przycisku.
  - Jednak oprócz zamierzonych, doświadczał on również przypadkowych erekcji - za każdym razem kiedy sąsiad otwierał zdalnie sterowane drzwi garażu
  - Skomentował to tak: „To było dość niewygodne podczas pracy w ogrodzie, ale naprawdę uciążliwe podczas odprawiania niedzielnego nabożeństwa”.

(Źródło: Europa Times Nr 22, marzec 1995 – ponad milion czytelników)



Zgon w karetce pogotowia

- Pacjent przewożony do szpitala był podłączony do defibrylatora. Za każdym razem, kiedy załoga ambulansu włączała radio celem uzyskania porady medycznej, defibrylator wyłączał się.
- Pacjent zmarł.

- Rozwiązanie: plastikowy dach ambulansu został zastąpiony metalowym . (Wg NASA Reference Publication 1374, lipiec 1995)

- **defibrylacja elektryczna,** przerwanie groźnego dla życia migotania przedsionków i komór serca

„Uciekające” wózki inwalidzkie

- Niektóre wózki dla niepełnosprawnych wykonywały niekontrolowane starty, skręty, zjazdy z krawężnika itp., kiedy w pobliżu przejeżdżały samochody policji, straży pożarnej czy pogotowia.
- (Wg NASA Reference Publication 1374, lipiec 1995)

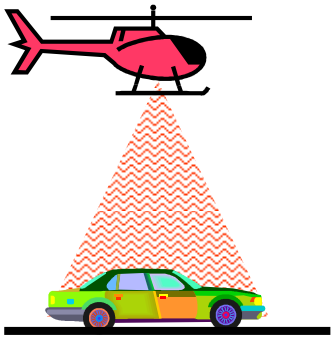
Rozpędzanie demonstrancji

- W 2001, Pentagon finansował budowę urządzenia do rozpędzania demonstrantów
  - Wiązka energii EM dużej mocy wywołuje ból (parzy) (CNN, 2001)
    - Foto: A 100MW EM system under development (2004) = equiv. of 200'000 microwave ovens 500W each)

Source: CNN.com - Sci-Tech - Pentagon's latest weapon: a pain beam - March 2, 2001

http://www.comsol.com/stories/sara/index.php?highlight=non-lethal; http://www.sara.com/;

Zatrzymywanie pojazdów



- W 2004, policja Los Angeles zamówiła urządzenie do wymuszonego zatrzymywania pojazdów na odległość
  - Eureka Aerospace, El Segundo, CA;
  - Zródło: Business Week, European Edition, Sept. 6, 2004, p. 77

Katastrofa (Severomorsk)

W maju 1984 roku wybuchł radziecki skład amunicji.

Przyczyną wypadku była stacja radiolokacyjna dalekiego zasięgu, która „oświetliła” skład.

(Zródło NASA Reference Publication 1374, lipiec 1995)

Katastrofy helikopterów

- W latach 1981 - 1987, pięć helikopterów wojskowych typu Blackhawk rozbiło się, zabijając lub raniąc wszystkich członków załogi.
  - Kiedy maszyny przelatywały blisko nadajników radiowych dużej mocy miały miejsce niekontrolowane manewry.

•Zrodlo: NASA Reference Publication 1374, lipiec 1995

Baby alarm

- Caused interference to aircraft communications near UK airports because of spurious oscillations from its plug-top power supply on VHF radio channels used by National Air Traffic Services (NATS).
- Particularly difficult to detect on the ground. NATS (with RA) uses a specially equipped aircraft. The aircraft locates roughly the source of the interference. Then a specially equipped road vehicle identifies the house concerned.
- Comments
  - The sample tested for radiated emissions did not exhibit the spurious oscillation, but the product put on the market was slghtly different
  - The sample was only tested for conducted emissions (up to 30MHz), in the mistaken belief that it had no mechanism to generate disturbances above this frequency.
  - Most plug-top power supplies use switch-mode power conversion, with power switching at between 50 and 500KHz. However, because they must switch at very high rates to maximise efficiency and minimise heat losses it is easy for them to emit significant amounts of emissions at up to 1000 times their basic switching rate. So a 100kHz switcher might give high levels of emissions at 100kHz intervals all the way from 100kHz to 100MHz.

http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/topics/research/RAwebPages/Radiocomms/pages/interexpl/houseapp.htm#babyalarm

Katastrofa F16

- Myśliwiec F-16 rozbił się kiedy przelatywał w pobliżu nadajnika radiowego Głosu Ameryki w Niemczech.
  - F16 jest z natury niestabilny i pilot musi polegać na komputerze pokładowym „fly-by-wire”
  - W późniejszym okresie F-16 zmodyfikowano.
  - „fly-by-wire” = układ sterowania, w którym brak jest mechanicznego połączenia pomiędzy pilotem samolotu a powierzchniami sterowymi) (Wg NASA Reference Publication 1374, lipiec 1995)

Osobiste urządzenia elektroniczne

- W latach 1986 - 1995, NASA ASRS rejestrował rocznie średnio 5200 raportów pilotów dot. bezpieczeństwa lotów.
- Pozornie nieszkodliwe urządzenia, np. telefony komórkowe, laptopy, magnetofony, dyktafony, radia, urządzenia monitorujące pracę serca itp., mogą zakłócać prace systemów elektronicznych na pokładach współczesnych samolotów.
- Raporty pilotów, w większości anonimowe, nie podawały ani modeli samolotów ani nazw linii lotniczych.
- (ASRS - Aviation Safety Reporting System
- (Wg NASA Reference Publication 1374, lipiec 1995)

Niezamierzone odpalanie rakiet

- Podczas testów bombowca B-52 stwierdzono niekontrolowane sygnały rozkazu wystrzelenia rakiety
- Przeprojektowanie i ponowne testy zabraly kolejny rok.
- (Wg NASA Reference Publication 1374, lipiec 1995)

„Magiczny” okręt

- Przycumowany w porcie okręt miał wyłączone silniki, ale jego instrumenty pokładowe pokazywały, że płynie on z dużą prędkością

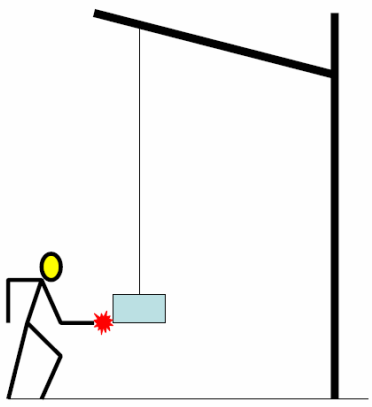
II WW U-boot story

1. Niemcy stosowali Ubooty to zatapiania floty bryt.
2. Bryt. uzyli samolotow z radarami do wykrywania peryskopow
3. Niemcy uzyli odbiornikow dostrojonych do wykrywania radarow lecz przeoczyli promieniowanie LO
4. Bryt. wykryli to i zastapili radary odbiornikami dostrojonymi do LO niemieckich odbiornikow

Katastrofa Sheffield'a

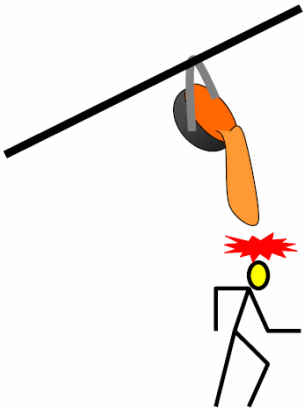
- Brytyjski niszczyciel Sheffield posiadał najbardziej wyrafinowany system obrony przeciwrakietowej w owym czasie.
- Mimo to, w 1982 roku (wojna o Falklandy), został trafiony rakietą Exocet i zatonął grzebiąc wiele ofiar
  - » Przyczyna: niekompatybilne systemy komunikacji z samolotami i radarem anty-rakietowym (radar musial byc wyłaczany na czas komunikacji).

„Parzący" dźwig



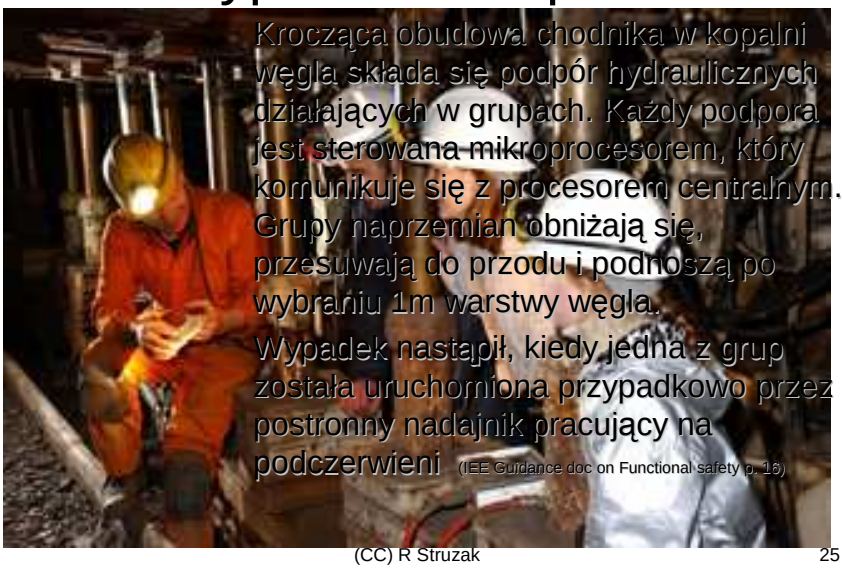
- Pracownik został ciężko poparzony gdy dotknął ładunku dźwigu budowlanego
  - Przyczyna: Energia z pobliskiego nadajnika radiowego

Śmierć w odlewni



- Pracownik odlewni zginął kiedy napowietrzny transporter wylał na niego kilka ton roztopionego metalu
  - W 2006 zraniony operator zdalnie sterowanego dzwigu

Wypadek w kopalni

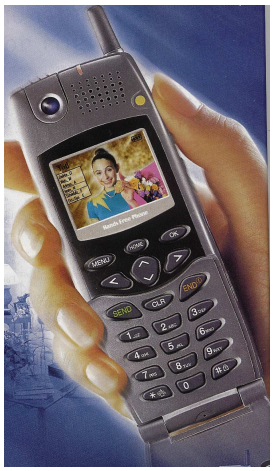


Krocząca obudowa chodnika w kopalni węgla składa się podpór hydraulicznych działających w grupach. Każdy podpora jest sterowana mikroprocesorem, który komunikuje się z procesorem centralnym. Grupy naprzemian obniżają się, przesuwają do przodu i podnoszą po wybraniu 1m warstwy węgla.

Wypadek nastąpił, kiedy jedna z grup została uruchomiona przypadkowo przez postronny nadajnik pracujący na podczerwieni (IEE Guidance doc on Functional safety p. 16)

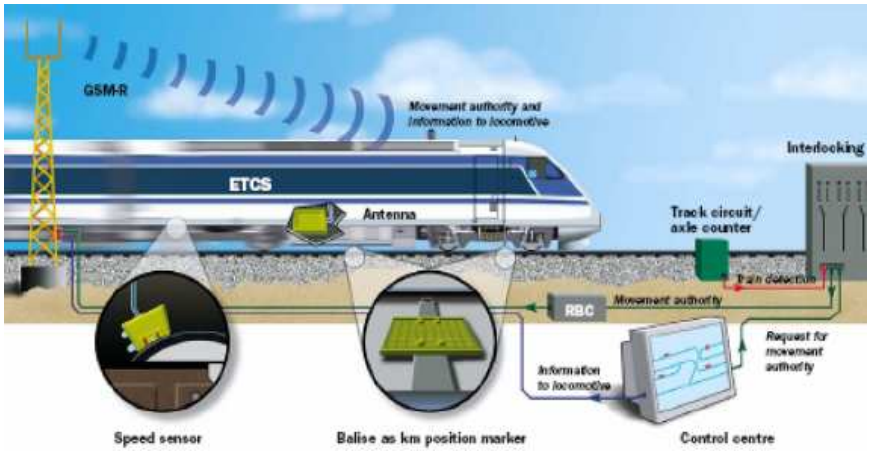
Przesłuch w telefonach

Po zainstalowaniu anten stacji bazowej na budynku, rozmowy użytkowników telefonów komórkowych były słyszane we wszystkich telefonach stacjonarnych w tym budynku i w budynkach sąsiednich.



„Czarna dziura” na kolei

- Wagony kolejowe wjeżdżały do pewnego obszaru, którego nie opuszczał żaden wagon



- The *European Rail Traffic Management System* (ERTMS), level 2, for the Bothnia line in Sweden. From www.botniabanan.se.

Mats Bäckström: THE THREAT FROM INTENTIONAL EMI AGAINST THE CIVIL TECHNICAL INFRASTRUCTURE; *Reprint from ESW2006, 3rd European Survivability Workshop, 16 – 19 May 2006, Toulouse, France.*

Przedwczesne zmęczenie mostu żelbetowego przez kolej magnetyczną (maglev) w Japonii wskutek zmian pola magnetycznego

Zrodlo:
Takeo Yoshino

Wypadki drogowe

- Samochody wyposażone we wczesne modele ABS ulegały wypadkom na niektórych odcinkach niemieckiej autostrady

ABS = Anti-Lock Braking System zapobiegający blokowaniu się kół podczas hamowania

Eksplozja pyłu zbożowego w magazynie zboża spowodowana elektrycznością statyczną

Zródlo: V Padula Pintos

Plan

1. Kilka przykładów z życia
2. Bezpieczeństwo funkcjonalne
3. Trendy
4. EMC, EMI, IEMI, ...
5. Badania eksperymentalne EMC

Bezpieczeństwo

- = stan wolny od nadmiernego ryzyka
  - nieakceptowalnego przez osobę, grupę, lub społeczeństwo
  - Ryzyko - prawdopodobieństwo!

Bezpieczeństwo funkcjonalne

- Zachowanie, w określonym środowisku akceptowalnego ryzyka
  - zagrożenia życia, zdrowia, lub szkody
  - na skutek niewlasciwego dzialania urzadzen
  - w wyniku błędów człowieka lub czynników zewnętrznych

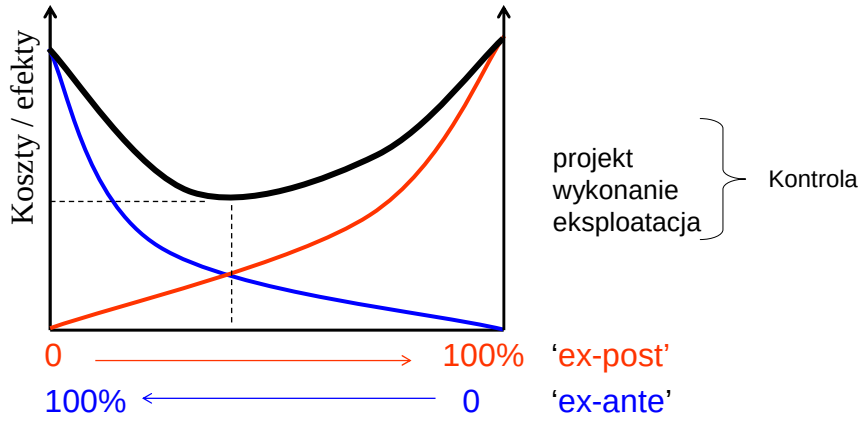
Proces lawinowy

- Narażenia EM mogą wywołać wadliwe działanie dowolnego elementu co może spowodowac proces lawinowy
  - Komponent → blok → podsystem → system
- W krytycznych aplikacjach związanych z bezpieczeństwem, może to prowadzić do wypadku lub katastrofy

Konsekwencje

- Odpowiedzialność przed sądem
  - Użytkownik, operator, właściciel, wytwórca, lub dostawca urządzenia które spowodowało śmierć, obrażenia, straty materialne lub inne szkody osobom trzecim.
  - To samo dotyczy zagrożenia (możliwości powstania takich szkód)
    - » Analogia: przepisy budowlane, przepisy BHP
    - » W zakresie EMC: Dyrektywy EU i Polskie Normy

Zapewnienie bezpieczeństwa kosztuje



Dla ustalonego prawdopodobieństwa występowania zakłóceń, optymalna kombinacja nakładów na profilaktykę (ex-ante) i na usuwanie ich skutków (ex post) daje minimum kosztów całkowitych

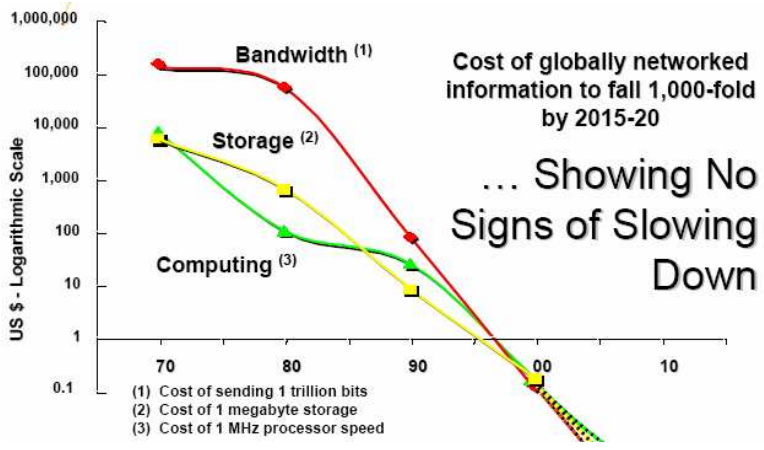
Plan

1. Kilka przykładów z życia
2. Bezpieczeństwo funkcjonalne
3. Trendy
4. EMC, EMI, IEMI, ...
5. Badania eksperymentalne EMC

Trendy

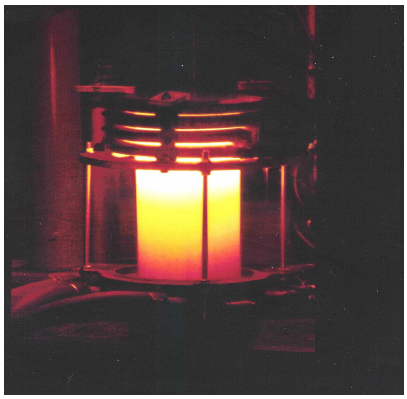
- Rozpowszechnienie złożonych systemów
  - Niska cena zintegrowanych układów funkcjonalnych
  - Powszechność elektryczności
  - Postęp w przetwarzaniu sygnałów
- Integracja, elektronizacja, automatyzacja, i komputeryzacja systemów bardziej wrażliwych na oddziaływania EM
- (niż urządzenia elektromechaniczne i lampy elektronowe)
- Zwiększone prawdopodobieństwo sasiedztwa i kolizji

Falling costs



Source: Federal Reserve Bank of Dallas
Douglas Sward (ITU2004) - *http:/ /strategis.ic.gc.ca*

GPS-receiver can be inserted in any device - works at nano- and pico-watt power levels



RF Hardening (600kW, 3kHz) Metallic rod ∅511mm Speed: 1.5mm/s [Japan]

Czujniki i RFID

- Urządzenia, które zbierają i przesyłają informacje o obiekcie, czasie, miejscu i transakcji/ procesie
  - RFID --Radio Frequency Identification Device
  1. interrogator/ czytnik
  2. transponder
- Integralna cześć współczesnych systemów komputerowych automatyki

Plan

1. Kilka przykładów z życia
2. Bezpieczeństwo funkcjonalne
3. Trendy
4. EMC, EMI, IEMI, ...
5. Badania eksperymentalne EMC

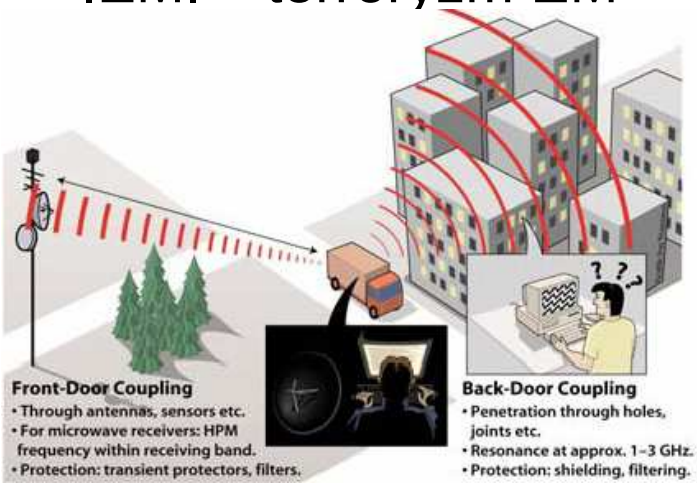
EMC, EMI, IEMI, ...

EMC = Kompatybilność elektromagnetyczna
= zdolność urządzeń (systemów) do bezkolizyjnego współistnienia z innymi urządzeniami (systemami)
(Electromagnetic Compatibility)

EMI = Zakłócenie elektromagnetyczne (przeciwieństwo EMC)
(Electromagnetic Interference)
= dowolne zjawisko elektromagnetyczne które niszczy, przerywa, blokuje lub w inny sposób obniża wydajność urządzeń i procesów
- Może być naturalne lub wywołane działalnością człowieka
- Może być przypadkowe lub celowe (wojna, terroryzm)

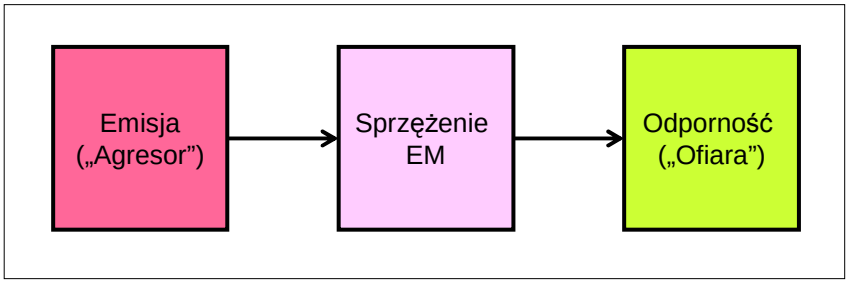
IEMI = Zamierzone zakłócenie elektromagnetyczne

IEMI – terroryzm EM



Mats Bäckström: THE THREAT FROM INTENTIONAL EMI AGAINST THE CIVIL TECHNICAL INFRASTRUCTURE; *Reprint from ESW2006, 3rd European Survivability Workshop, 16 – 19 May 2006, Toulouse, France.*

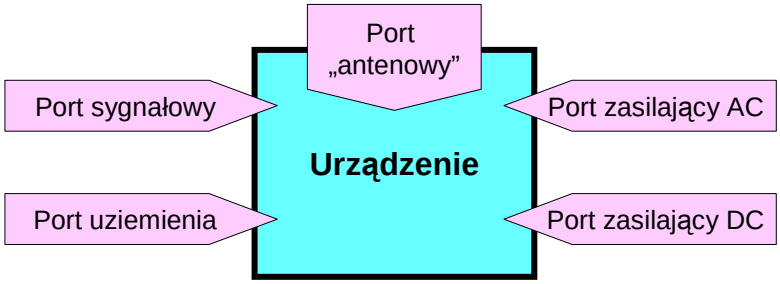
Najprostszy model: 1 + 1



Każde urządzenie może być jednocześnie i ‘agresorem’ i ‘ofiarą’
Normy nakładane są na emisyjność; rzadziej na odporność
Sprzężenia nie normowane – klasyfikacja środowiska
(analogia do klas klimatycznych)

Fritsch C A: Radiative Heat Transfer; Physical Design of Electronic Systems, Vol. I Design Technology, Prentice-Hall1970, p. 259-286; Buus R G: Electrical Interference; Physical Design of Electronic Systems, Vol. I Prentice-Hall1970, p. 381-438; Telecomm Glossary 2000

Sprzężenia



- Interakcje EM miedzy urządzeniem i jego otoczeniem zachodzą za pośrednictwem wielu ‘bram’ fizycznych (portów) i różnych mechanizmów interakcji
- Każda brama działa dwukierunkowo: do i od urządzenia

Prawdopodobieństwo kolizji

- Założenie: 2 systemy ‘mój’ i ‘inny’
- *P(I) = P(A and B and C*)*
  - A: ‘Mój’ system działa prawidłowo pod nieobecność niepożądanej energii EM
  - B: Inny system wytwarza niepożądana energię EM
  - C: ‘Mój’ system działa prawidłowo w obecności tej niepożądanej energii
  - C* jest zdarzeniem przeciwnym (negacją) zdarzenia C

Wszystkie ta zdarzenia odnoszą się do tego samego krótkiego przedziału czasu

Niedostatek informacji

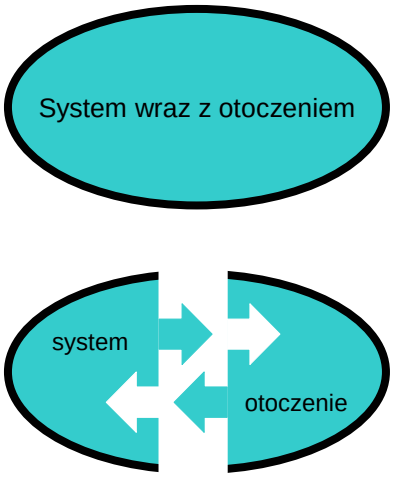
- Producenci urządzeń, właściciele i dyrektorzy obiektów mają opory w udostępnianiu informacji dot. EMC
- Klauzule tajności (pracownicy, konsultanci)
  - Możliwe negatywne skutki prawne
  - Możliwość wykorzystania danych przez konkurencję
  - Możliwość wykorzystania danych przez terrorystów (powód nie zawsze prawdziwy)

Efekt:
wiarygodne dane, dotyczące emisyjności, wrażliwości, sprzężeń, prawdopodobieństwa zagrożenia urządzeń, systemów i procesów, są często niedostępne

Plan

1. Kilka przykładów z życia
2. Bezpieczeństwo funkcjonalne
3. Trendy
4. EMC, EMI, IEMI, ...
5. Testy

Problemy badania EMC



- Jak oddzielić badane urządzenie (system) od jego otoczenia
  - zachowujac warunki jego pracy zblizone do normalnych (np. dopasowanie)
- Jak badać wielkie obiekty nie mieszczace się w laboratorium

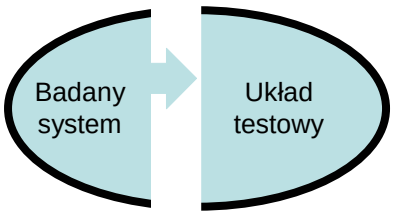
Testy

		Agresorzy		
		…	E_i	…
Ofiary	…	…	…	…
	W_j	…	H_{ij}	…
	…	…	…	…

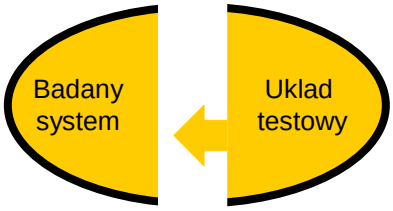
E – emisyjność
W – wrażliwość (odporność)
H – wsp. sprzężenia
dla ustalonego mechanizmu oddziaływań
E, W, H = funkcje wielu zmiennych

- Kontrolowane – standardowe zmienne decyzyjne E, W, H
- $E_i \rightarrow$ standardowe W_j & H_{ij}
- $W_j \rightarrow$ standardowe E_i & H_{ij}
- H_{ij}: zwykle nie podlega kontroli (zakłada sie wartości '*typowe*' dla danego środowiska jak np. 'zwykłe' mieszkanie lub szpital; pokład okrętu lub maszynownia)
- Warunki testowania a rzeczywiste warunki pracy?
- Testy systemów złożonych?

Emisyjność



Odporność (wrażliwość)



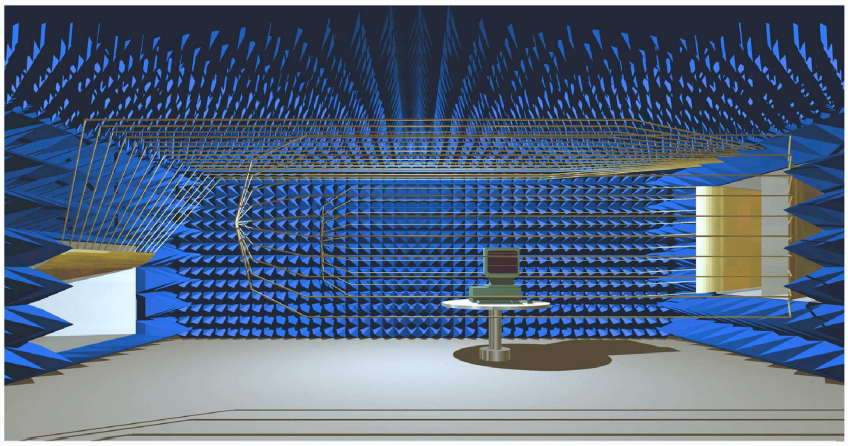
- Powtarzalność
- Analiza błędów
- Wzorcowanie

Test room

Courtesy of Rohde & Schwarz

55

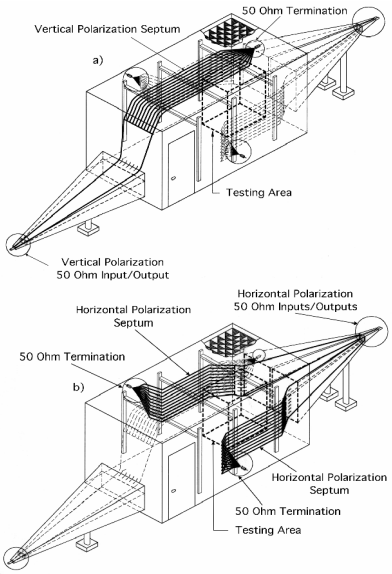
TEM cell



Source: A Podgorski

(CC) R Struzak

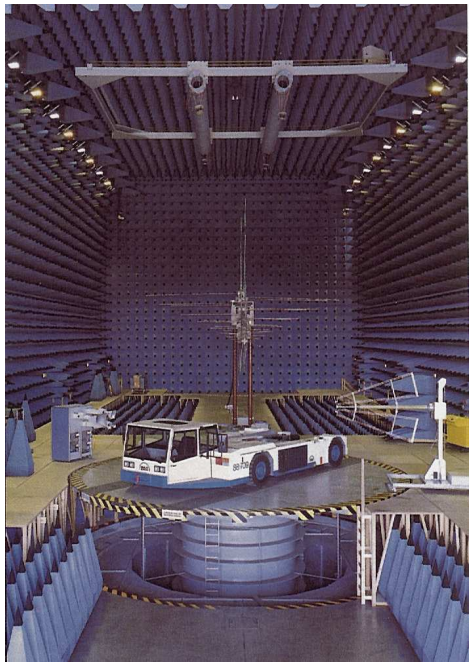
56



Source: A Podgorski

EMC tests

Courtesy of Rohde & Schwarz

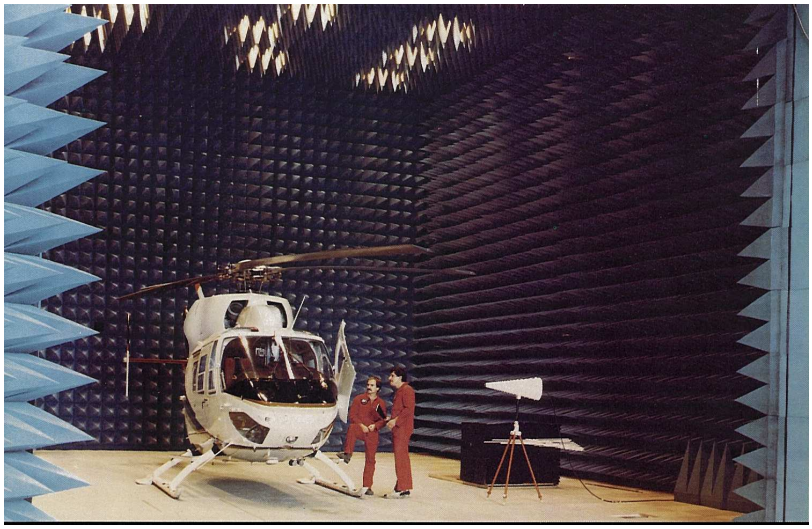


EMC tests

Courtesy of Rohde & Schwarz

59

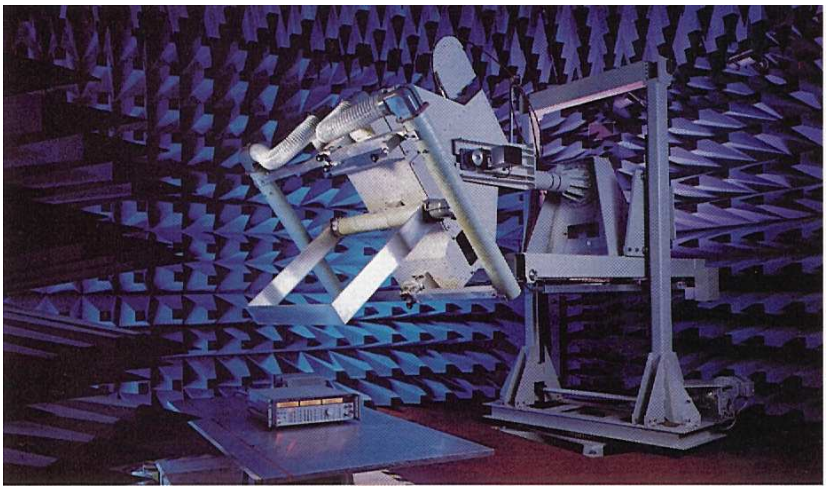
EMC tests



Courtesy of Rohde & Schwarz

60

Test antennas

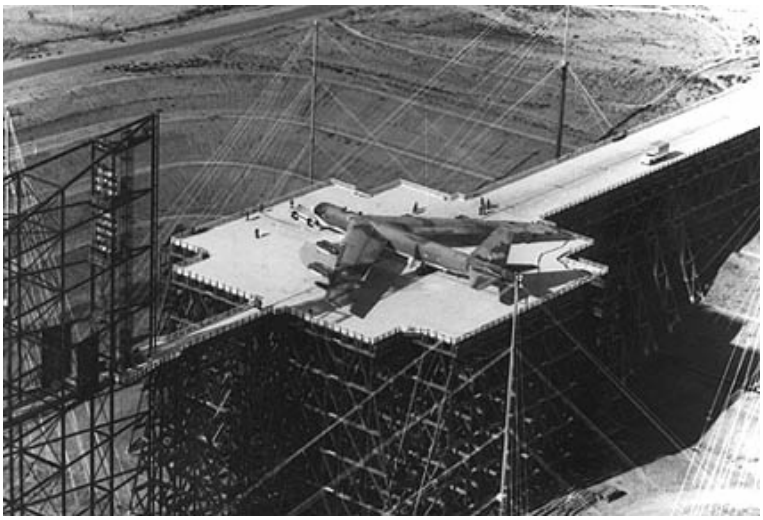


Courtesy of Rohde & Schwarz

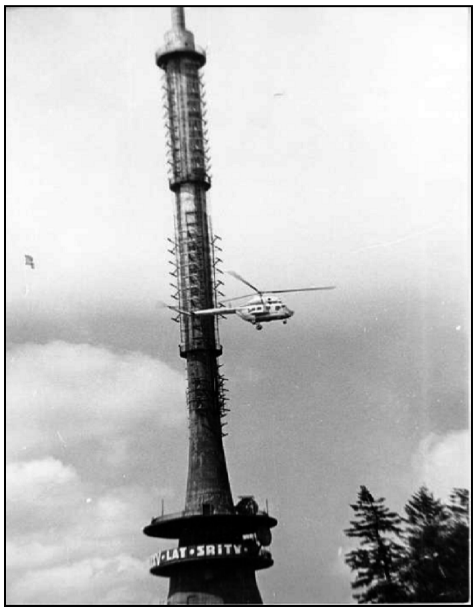
61

Badania EMC

The Swedish *Microwave Test Facility* (MTF). Photo: Saab Communications AB, Linköping, Sweden.
Mats Bäckström: THE THREAT FROM INTENTIONAL EMI AGAINST THE CIVIL TECHNICAL INFRASTRUCTURE
Reprint from ESW2006, 3rd European Survivability Workshop, 16 – 19 May 2006, Toulouse, France.



A B-52 bomber sits atop the TRESTLE electromagnetic pulse (EMP) simulator at Kirtland Air Force Base, New Mexico. The facility is the largest wood-and-glue laminated structure in the world (1998). Aircraft tested here are subjected to up to 10 million volts of electricity to simulate the effects of a nuclear explosion and assess the "hardness" of electrical and electronic equipment to the EMP pulse generated by a nuclear burst.
Credit: U.S. Air Force (courtesy Natural Resource Defense Council) http://www.brook.edu/FP/projects/nucwcost/trestle.htm; http://www.eskimo.com/~bilb/freenrg/empweap.html



Badania EMC z powietrza

Latające laboratorium kontrolno-pomiarowe EMC utworzone w Instytucie Łączności przez zespół prof. R Strużak, Dr E Żernicki i inn. (1970 – 1985)

Dzisiaj takie pomiary można wykonywać przy wykorzystaniu bezzałogowych, zdalnie sterowanych modeli samolotów i helikopterów.

(CC) R Struzak 65

Badania EMC z powietrza

Latające laboratorium kontrolno-pomiarowe EMC utworzone w Instytucie Łączności przez zespół prof. R Strużak, Dr E Żernicki i inn. (1970 – 1985)

Dzisiaj takie pomiary można wykonywać przy wykorzystaniu bezzałogowych, zdalnie sterowanych modeli samolotów i helikopterów.

66

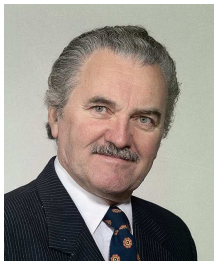
Flying laboratory (2)

- Powszechne uzależnienie od elektroniki w zastosowaniach o krytycznym znaczeniu dla społeczeństwa nadaje sprawie odporności systemów na zakłócenia EM szczególne znaczenie

- Dziękuję za uwage

- Instytut Łączności
  Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej
  Ul. Swojczycka 38,
  51-501 Wrocław,
  Tel. +48 71 3728868
  Fax +48 71 3728878
  - www.itl.waw.pl
  - r.struzak@il.wroc.pl

69



Ryszard STRUZAK *PhD., DSc.*
Academician, International Telecommunication Academy
Life Fellow IEEE
ryszard@struzak.com
ryszard.struzak.com

Important notes

Copyright © 2007 Ryszard Struzak. This work is licensed under the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenbses/by/1.0) and may be used freely for individual study, research, and education in not-for-profit applications. Any other use requires the written author's permission. These materials and any part of them may not be published, copied to or issued from another Web server without the author's written permission. If you cite these materials, please credit the author.

Beware of misprints!!! These materials are preliminary notes for my lectures and may contain misprints. If you notice some, or if you have comments, please feel free to send these to r.struzak@ieee.org.

Selected References

- *Armstrong K*: EMC-related functional safety; ITEM update 2001, p. 52-59
- *EUROPEAN EMC Directive (http://europa.eu.int/comm/enterprise/electr_equipment/emc/guides/english.pdf)*
- *EUROPEAN RTTE Directive (http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/1999/l_091/l_09119990407en00100028.pdf)*
- *IEEE Electromagnetic Compatibility Society*: http://www.emcs.org/
- *IEE Guide to EMC and Functional Safety*, IEE September 2000 (free) http://www.iee.org/Policy/Areas/Emc/index.cfm
- *International Electrotechnical Commission* (www.iec.ch)
- *International Telecommunication Union* (www.itu.int)
- *Mannon J, Johnson E*: Radio Waves Spell Trouble for Industry; *New Scientist, 5 May 1983*
- *Moroń W: Nature and Technology: improving relations; in Struzak R (Ed.) Global Communications Asia 1997, ISBN 0946393869, p. 259-263*
- *NASA* Reference Publication 1374, Jul. 1995
- *Online guide to EMC* (http://www.interferencetechnology.com/)
- Rohde & Schwarz: Measuring EMI and wanted signals; News from Rohde & Schwarz Special
- *Struzak R*: Terrestrial Electromagnetic Environment; *in Rotkiewicz W (ed.) Electromagnetic Compatibility in Radio Engineering, p.3-57, ISBN 0-444-99722-9, Elsevier 1982*
- *Szentkuti B:* EMC standards today: starting point into the future*; in Struzak R (Ed.) Global Communications Interactive 1999, ISBN 1902221230, p.86-92*
- *Teichmann H:* Electromagnetic compatibility concerns all of us*; in Struzak R (Ed.) Global Communications Asia 1998, ISBN 190222101-X, p. 80-85*
- "Guidelines for Improving Television and Radio Reception" - dealing with RFI from Radiocommunications Agency: http://www.radio.gov.uk/publication/ra_info/ra323/ra323.htm.
- "What To Do if You Have an Electronic Interference Problem", by ARRL & CEA: http://www.arrl.org/news/rfi/neighbors.html.
- "Interference", from FCC: http://www.fcc.gov/cgb/consumerfacts/interference.html.
- "Interference Handbook", from FCC & ARRL: http://www.arrl.org/fcc/tvibook.html.
- "RFI/EMI RadioFrequency Interference/ElectroMagnetic Interference" articles on RFI from/to household appliances: http://www.arrl.org/tis/info/rfigen.html.
- "Reception Advice" from BBC : http://www.bbc.co.uk/reception or http://www.bbc.co.uk/reception/factsheets/index.shtml; http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/topics/research/RAwebPages/Radiocomms/pages/interexpl/houseapp.htm
- Antenna code (free): http://home.att.net/~ray.l.cross/asap/index.html
- *www.emc.wroc.pl*