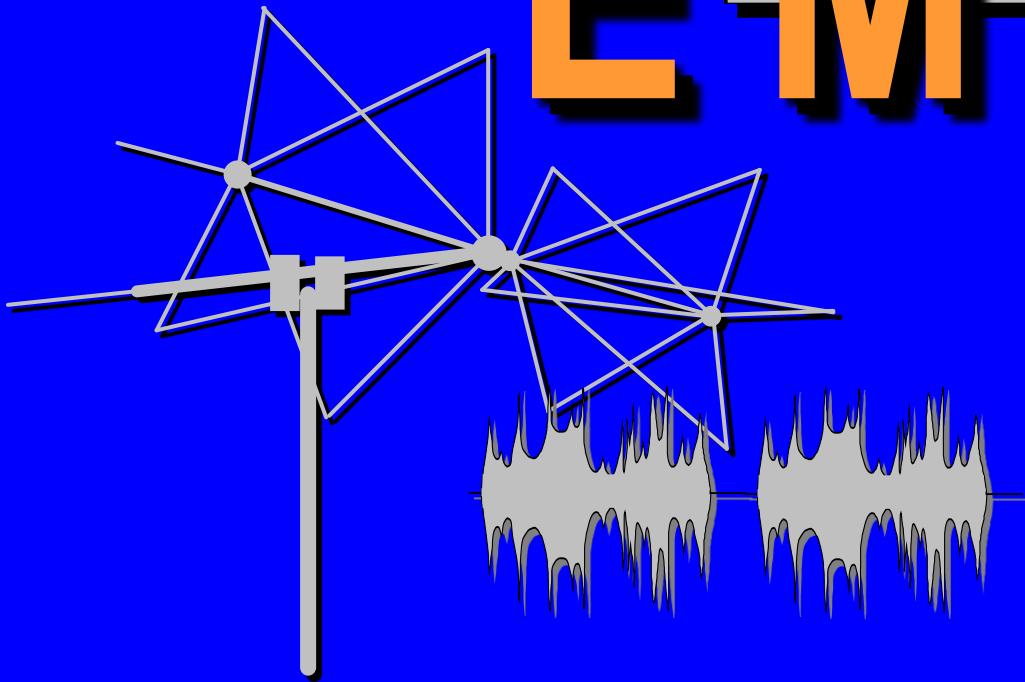


EMC



Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

je schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), a současně svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřípustně neovlivňovat své okolí, tj. neprodukovat signály, jež by byly nepřípustně rušivé pro jiná zařízení (technická či biologická).

ElectroMagnetic Compatibility
EMC

ElektroMagnetische Verträglichkeit
EMV

ЭлектроMагнитная Совместимость
ЭМС

Historie EMC

- **Vznik** v šedesátých letech minulého století v USA.
- Dlouhou dobu (10 až 15 let) předmětem zájmu jen odborníků ve **vojenském a kosmickém průmyslu**.
- V sedmdesátých a osmdesátých letech postupný přesun zájmů i do všech oblastí **civilního života**. Hlavní důvody:
 - ➡ prudký rozvoj **mikroprocesorové techniky** (PC)
 - ➡ rozvoj celosvětových **elektronických komunikací** (zejména celoplošných – mobilních, satelitních)
- Dnes je EMC neoddělitelnou součástí všech oblastí života (důvody technické, zdravotní, bezpečnostní a ekonomické)

Důvody pro respektování EMC

- Velké a trvale stoupajícího množství elektrických a elektronických zařízení a spotřebičů od druhé poloviny 20. století.
- Stále se rozšiřující využívané spektrum EM signálů v kmotových pásmech prakticky **od 0 Hz do stovek GHz**.
- Různá elektrická zařízení pracují na velmi odlišných úrovních výkonu; maximální poměr těchto výkonů může dosáhnout až **10^{20}** , tj. **200 dB**.



velmi vysoká pravděpodobnost vzájemného rušení

Vzájemný vztah elektromagnetické kompatibility a spolehlivosti

H. M. Schlicke (1968)

Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý – bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. **Spolehlivost** a **elektromagnetická kompatibilita** jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností.

Příklady nedodržení EMC a jejich důsledků

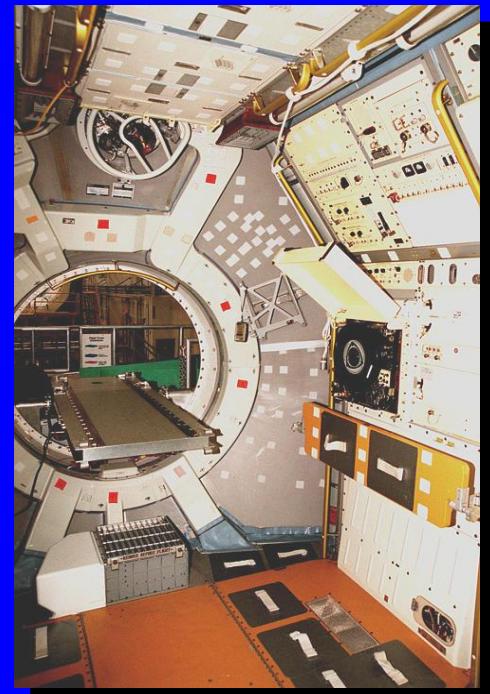
- **Zničení stíhacího letounu Tornado v roce 1984.** Příčinou bylo rušení elektronického řídícího systému letadla elmag. vlněním. Letadlo letělo v malé výšce nad vysílačem velkého výkonu v Holkirchenu u Mnichova. V důsledku selhání automatického systému řízení se zřítilo. Hmotná škoda byla 100 miliónů marek.



- **Potopení britského křižníku Shefield v r. 1982 během falklandské války.** Příčinou bylo nedodržení EMC mezi komunikačním zařízením lodi a jejím protiletadlovým rádiovým obranným systémem pro rušení cílové navigace nepřátelských raket. Systém působil tak velké rušení rádiové komunikace, že musel být během rádiového spojení lodi s velitelstvím ve Velké Británii vypínán. A právě v takovém okamžiku odpálilo argentinské stíhací letadlo raketu Exocet, která křižník potopila. Křižník za několik miliard liber byl zničen, dvacet lidí přišlo o život.



- **Havárie rakety typu Persching II v SRN v důsledku elektrostatického výboje.** Při převozu rakety byl její pohon neúmyslně odpálen elektrostatickou elektřinou z okolní bouřky.
- **Havárie v hutích v USA v roce 1983.** Příčinou havárie bylo rušení mikroprocesorového systému řízení jeřábu přenášejícího lící pánev s tekutou ocelí příruční vf. vysílačkou. Pánev se předčasně převrhla a rozžhavený kov zabil jednoho dělníka a čtyři další zranil.
- **Vyřazení systému dálkového přenosu dat na vesmírné stanici SpaceLab.** Systém byl vyřazen z provozu napěťovým pulzem, který vznikl po zapnutí elektrického vysavače. Vysavač nebyl testován na EMC a přesto se ocitl na palubě kosmické stanice.



- Havárie v cukrovaru Mělník po instalaci odstředivek s tyristorovými měniči o výkonu 200 kW. Po jejich připojení k napájecí síti 22 kV vzniklo takové kolísání a deformace napájecího napětí, že nastal skupinový výpadek sítě aktivací napěťových ochran. Přitom zhoršení kvality napájecí sítě vyvolaly samy měniče, které byly připojeny na síť přímo bez filtrace. Vznikla tak paradoxní situace, kdy zdroj rušení se nakonec stal svou vlastní obětí.
- Intenzivní rušení zcela přerušilo rádiové spojení na lodích Labské plavby na kmitočtech $1 \div 2$ MHz a v dolech na Ostravsku, kde byla navíc narušena i funkce havarijního vypínání důlního kombajnu. Zdrojem rušení byl tyristorový měnič (část pohonu kombajnu), na lodích byl zdrojem rušení mikroprocesorový řídicí systém.

- **Havárie ve zdravotnických zařízeních.** Diagnostická souprava na jednotce intenzivní péče monitorovala životní funkce připojených pacientů. Spínání okolních spotřebičů však vyvolávalo v kardioskopu přídavné pulzy, které byly vyhodnocovány jako nesynchronní tep srdce. Navíc vadný startér blízké zářivky vyvolával hlášení překročení meze teplu a blokoval měření. Celá souprava musela být vyměněna za jiný systém od jiného výrobce, splňující požadavky EMC.
- **Rušení záznamu EKG.** V pražské poliklinice vykazoval záznam zapisovače EKG silné náhodné „škubání“, což zdánlivě indikovalo kritický stav pacienta. Po užití odrušovacích prostředků byl v tomto jevu identifikován záznam morseovky. Ukázalo se, že jde o krátkovlnné vysílání ministerstva dopravy, které mělo anténu 150 m od polikliniky. „Porucha“ byla odstraněna až úplným odstíněním místo EKG a užitím elektrokardiografu odolného proti rušení.

● Rušení televizního příjmu



amatérské a
občanské
vysílání (CB)



blízký
FM vysílač



domácí
spotřebiče
(vysoušeč
vlasů, holicí
strojek, vrtačka)



blízký
osobní
počítač a
jeho kabeláž

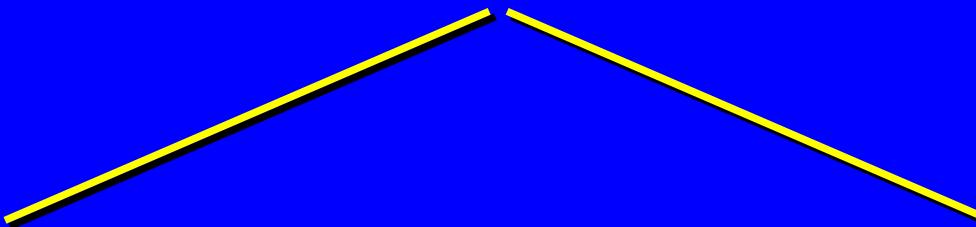


elektrický
zvonek



elektrické
otevírání
garáže,
bezdrátový
zvonek apod.

EMC



biologických systémů



**Cílem je posouzení
vlivu EM polí na živé
organizmy, zejména
na člověka**

technických systémů



**Cílem je výzkum
vzájemného působení a
zajištění koexistence
technických prostředků,
přístrojů a zařízení.**

EMC biologických systémů

Dva druhy účinků EM polí na živé organizmy:

Tepelné účinky – ohřev biologických tkání vystavených účinkům EM pole (velké intenzity).

Netepelné účinky – déle trvající expozice polí s relativně nízkou výkonovou úrovní. Potenciální vliv na **centrální nervový systém, imunitní systém, krevní oběh, příp. genetické a karcinogenní účinky.**

Dlouhodobé výzkumy – velké rozdíly v interpretaci účinků na organismus ➔ tvorba tzv. **hygienických norem**

Nejvyšší přípustné hodnoty indukovaných proudů, absorbovaných výkonů a hustoty ozáření podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 1/2008 Sb.

Veličina	Zaměstnanci	Ostatní osoby
	kmitočet f [Hz]	kmitočet f [Hz]
Indukovaná proudová hustota $[A/m^2]$	$300 \div 10^7$	$0 \div 10^7$
	$\sqrt{2} \cdot 0,01$	$\sqrt{2} \cdot 0,002$
Měrný absorbovaný výkon $[W/kg]$	$10^5 \div 10^{10}$	$10^5 \div 10^{10}$
	0,4	0,08
Plošná hustota zářivého toku $[W/m^2]$	$10^{10} \div 3 \cdot 10^{11}$	$10^{10} \div 3 \cdot 10^{11}$
	50	10

Vyhláška 1/2008 určuje rovněž způsoby, jimiž se splnění uvedených podmínek zjišťuje a vyhodnocuje.

Pro nejvytíženější kmitočtové pásmo **100 kHz – 10 GHz** je meze **SAR** (*Specific Absorption Rate* – **měrný pohlcený výkon**) 0,4 W/kg pro zaměstnance pracující s vf. zařízeními a 0,08 W/kg pro ostatní osoby (pro obyvatelstvo). **Tyto meze nesmí být překročeny při expozici** (době působení) **delší než 6 minut.** V případě expozice jen malé části těla (např. působení mobilních telefonů) se meze SAR zvyšují na

- **10 W/kg** pro zaměstnance (20 W/kg pro ruce, chodidla a kotníky),
- **2 W/kg** pro ostatní osoby (4 W/kg pro ruce, chodidla a kotníky).



Nejcitlivějším orgánem jsou oči, kde neprobíhá dostatečné chlazení krevním prouděním a může dojít např. k zákalu.

SAR mobilních telefonů



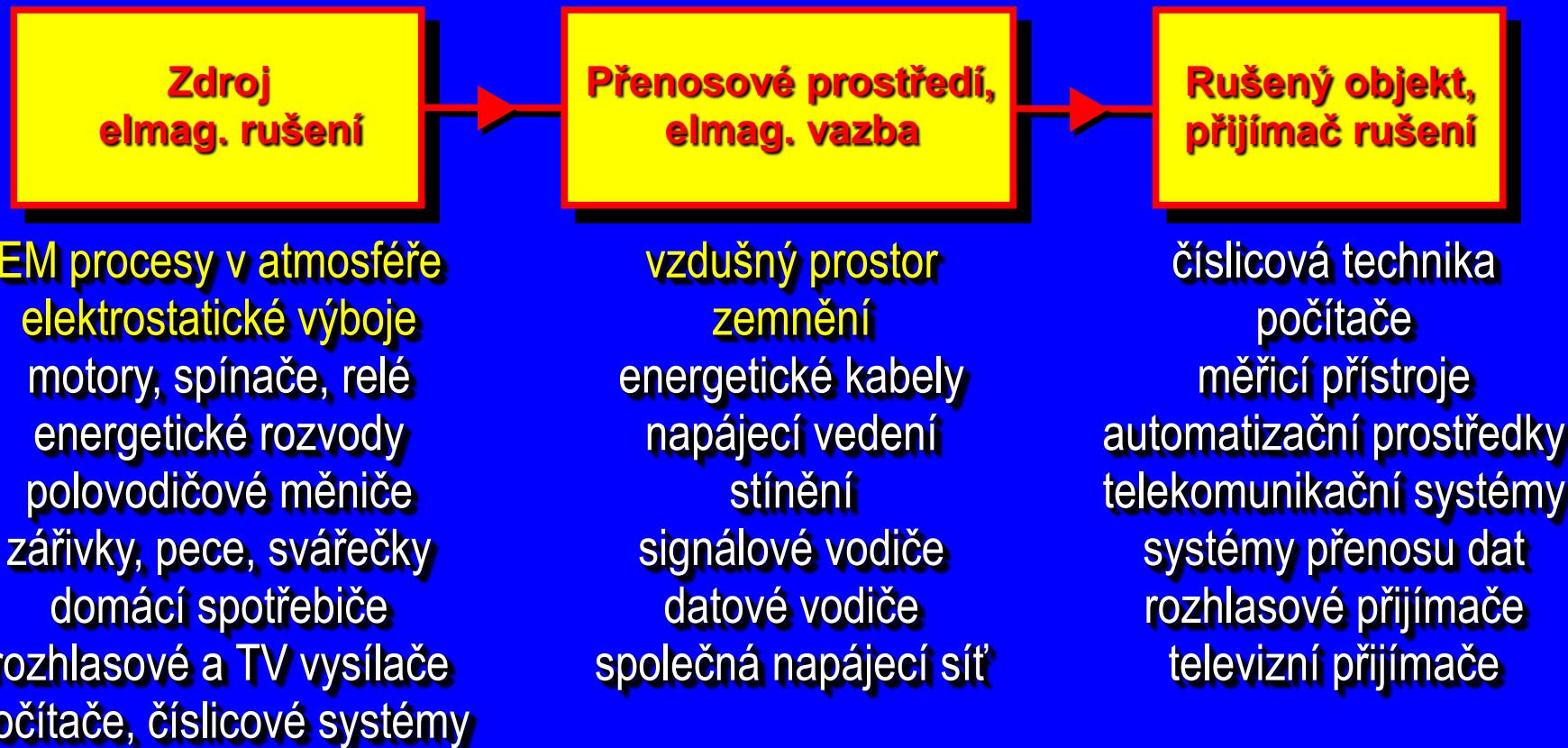
Typ	SAR [W/kg]
Nokia 6210	1,19
Siemens M35i	1,14
Siemens S35i	0,99
Nokia 3210	0,81
Nokia 8210	0,72
Ericsson T18s	0,61
Nokia 8850	0,22



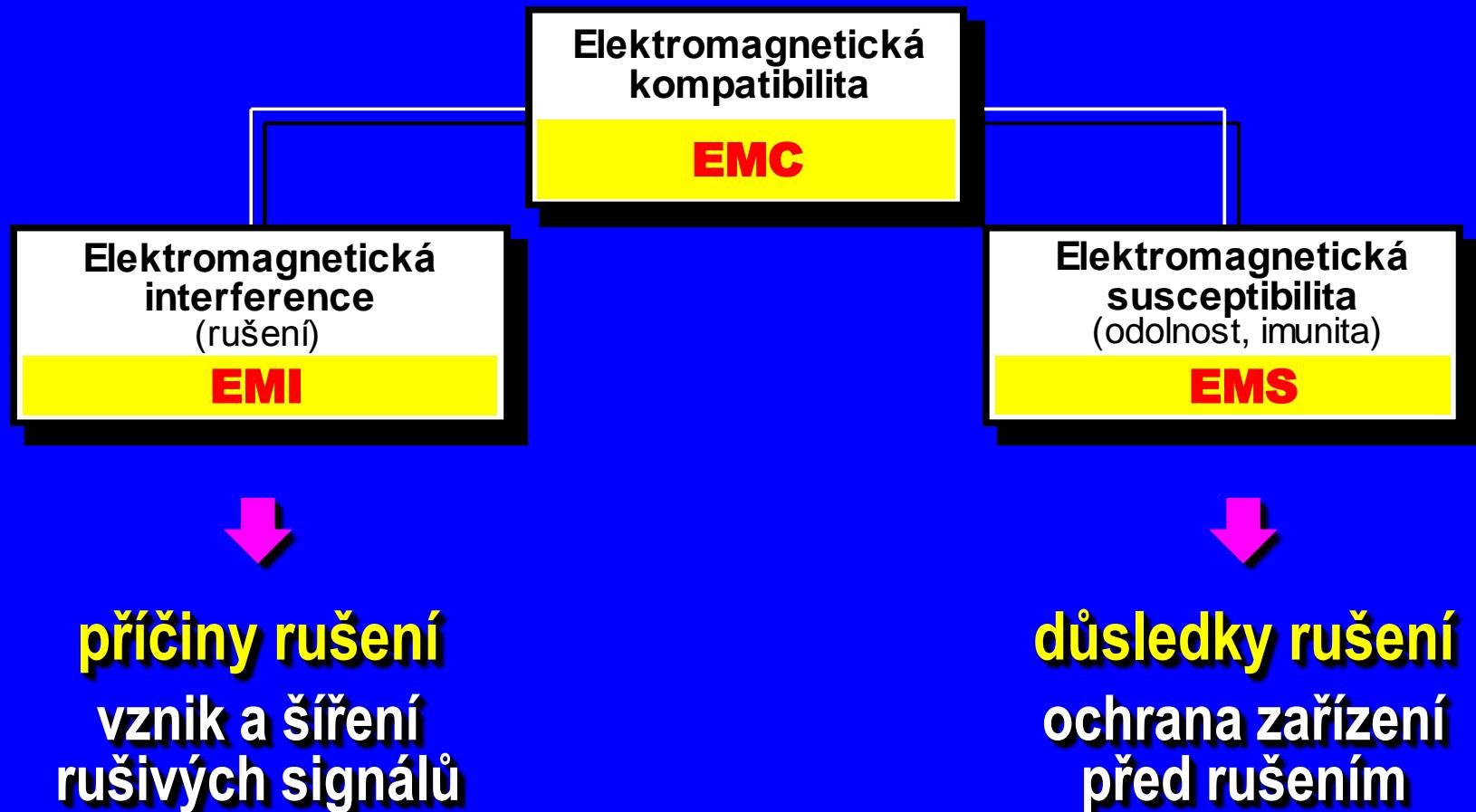
Prakticky žádný (dnešní ??) telefon normu nepřekračuje. Hodnotu SAR lze snížit pomocí planárních integrovaných antén, které jsou na zadní straně krytu telefonu a vyzařují pouze směrem od hlavy (na rozdíl od vnějších antén, kde se v hlavě pohlcovalo až 50 % výkonu).

EMC technických systémů

Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí



Základní členění problematiky EMC



Různé aspekty problematiky EMC

EMC je oborem výrazně systémovým a aplikačním.

Problematika EMC v sobě slučuje vědní, technické a aplikační poznatky prakticky ze všech oblastí elektrotechniky a elektroniky:

- silnoproudou a výkonovou elektrotechniku a elektroenergetiku,
- rádiovou komunikaci a telekomunikaci,
- informační techniku včetně softwarového inženýrství,
- měřicí a automatizační techniku,
- analogovou, číslicovou a mikroprocesorovou techniku včetně návrhu desek plošných spojů z hlediska EMC,
- techniku antén, šíření a příjmu elektromagnetických vln,
- vysokofrekvenční a mikrovlnnou techniku,
- lékařskou elektroniku, automobilovou a spotřební elektroniku,
- mikroelektroniku a další.

Problematika měření a praktického posouzení EMC

je pro konečné posouzení EMC daného zařízení rozhodující.

- **Měření elektromagnetické interference (EM rušení)**
 - měření EM rušení na vedení (napájecím, datovém aj.),
 - měření EM rušení vyzařovaného zařízením do okolí,
 - kontrola vyzařování prototypů a osazených desek plošných spojů.
- **Testování elektromagnetické odolnosti (imunity)**
 - odolnost vůči poklesům a přerušení napájecího napětí,
 - odolnost vůči rychlým elektrickým přechodným jevům (burst),
 - odolnost vůči elektrostatickým výbojům (ESD),
 - odolnost vůči rázovým vysokoenergetickým impulzům (blesk),
 - odolnost vůči magnetickým polím (spojitým, pulzním),
 - odolnost vůči silným elektromagnetickým polím.

Měřicí a testovací pracoviště EMC – zkušebny EMC

Od testování EMC na čipu mikroelektronických obvodů a elektronických součástek

přes testování přístrojů a elektrických zařízení,





měření EM vyzařování a
testování EM odolnosti
automobilů



a dalších dopravních
prostředků, strojů a
vozidel,

až po testy EMC vojenské techniky,
letadel a kosmických sond.

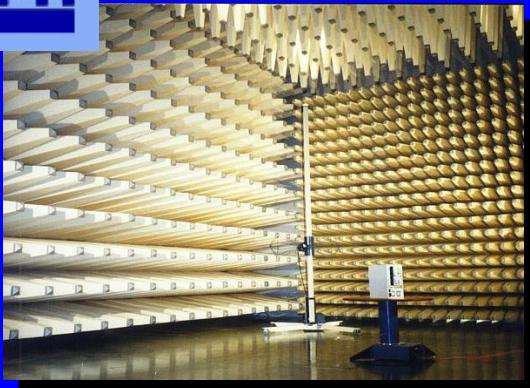


Tři největší zkušebny EMC v České republice

EZÚ – Elektrotechnický zkušební ústav
Praha



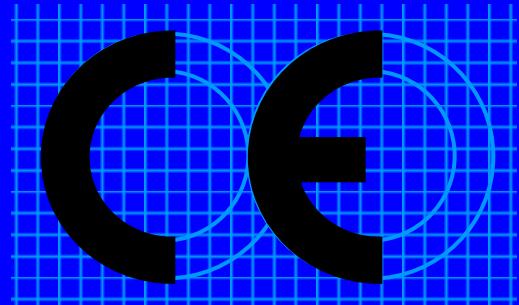
Český metrologický institut Praha
laboratoř 0221 TESTCOM



VTÚPV – Vojenský technický ústav
pozemního vojska Vyškov

Legislativa EMC – tvorba norem a předpisů EMC se s postupující globalizací, volným pohybem zboží a tvorbou celosvětového trhu stává stále důležitější. Je nutno stanovit jednotné normy a meze přípustných hodnot rušivých signálů pro určitý typ zařízení, přesné a reprodukovatelné podmínky pro jejich měření a ověřování odolnosti.

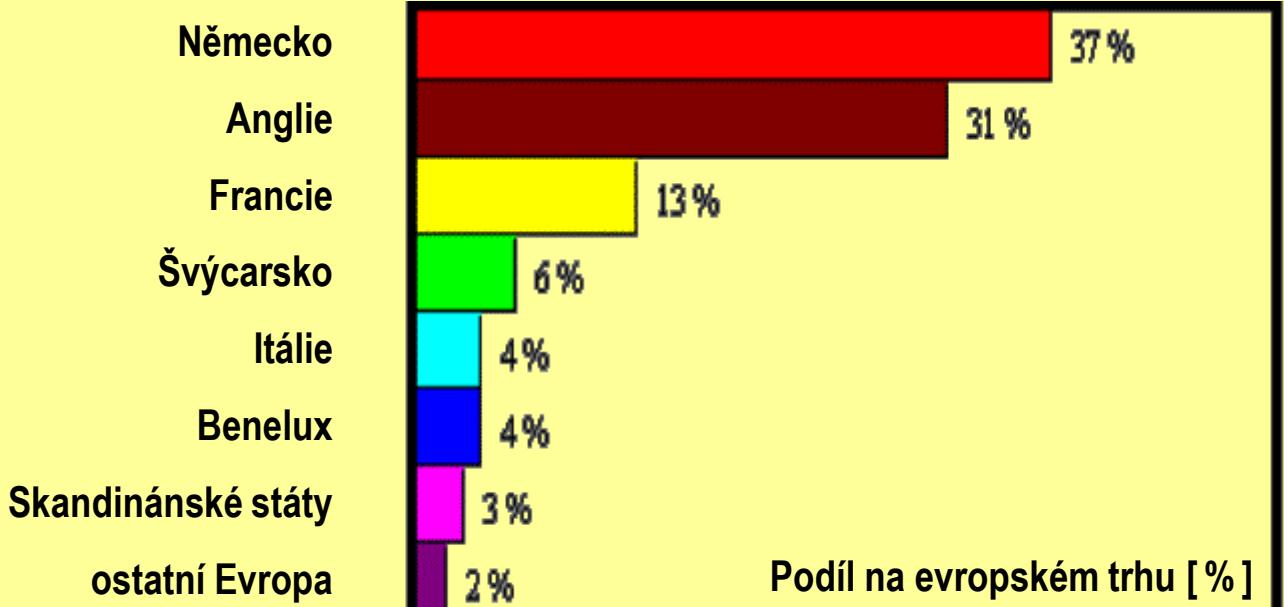
- Postupné vytváření závazných právních a technicko-normativních dokumentů – **norem EMC s celosvětovou, příp. evropskou platností**. Jen tak budou vytvořeny předpoklady k zamezení nežádoucích EM emisí a zvyšování odolnosti zařízení a systémů proti „EM agresivitě“ prostředí.
- Např. v Evropě je splnění příslušných tzv. **harmonizovaných evropských norem** (a to nejen norem EMC) deklarováno značkou **Conformité Européenne CE**.



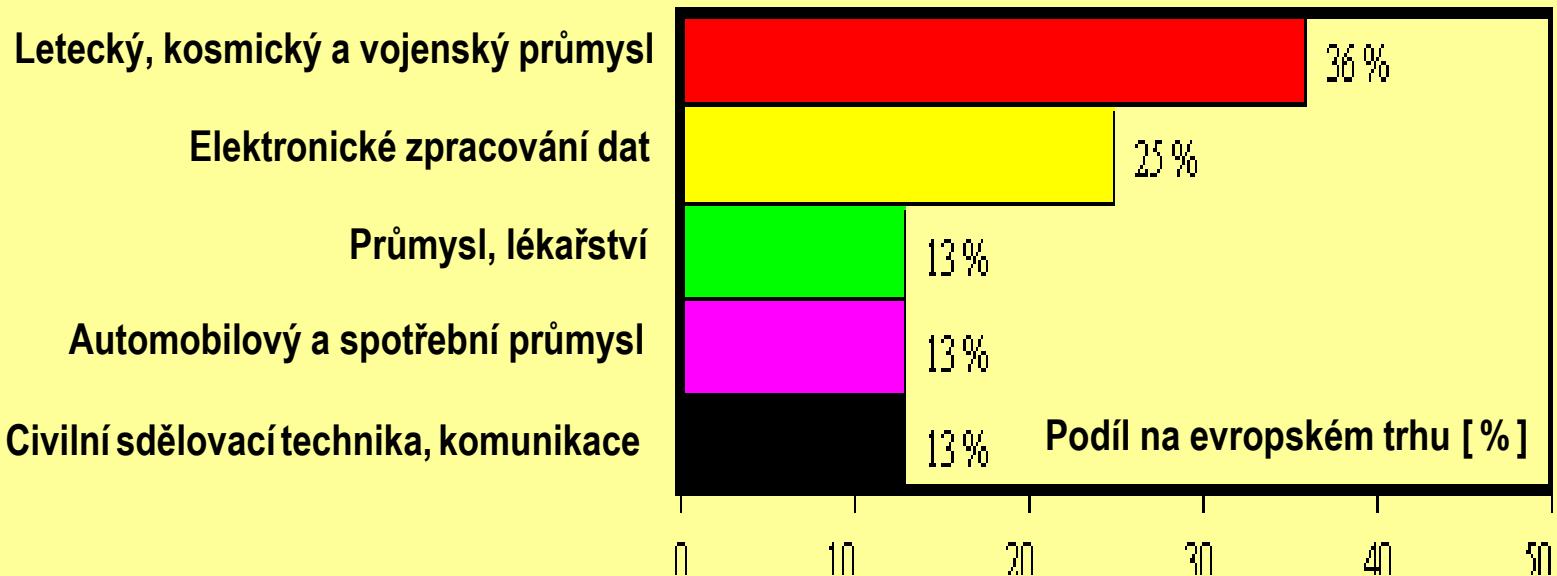
Mezinárodní normalizace a standardizace v oblasti EMC má i své dalekosáhlé **ekonomické aspekty a důsledky**. Bez prokazatelného splnění příslušných norem EMC nelze elektrotechnické výrobky exportovat do daných zemí.

- **Směrnice Rady EU č. 2004/108/EC** stanoví obecné požadavky EMC pro uvedení přístroje či zařízení na evropský trh. Bez jejich splnění a jeho závazného prokázání je prodej zařízení (ale i jeho **vystavení či reklama**) zakázán a finančně sankcionován.
- Zkušenosti ukazují, že otázkám EMC je nutno věnovat pozornost již při vývoji nového zařízení. Jen cca **10 % výrobků**, při jejichž vývoji nebyly zásady EMC respektovány, vyhoví zkouškám EMC. **Dodatečné úpravy jsou pak vždy značně nákladné.**
- Optimální náklady na zajištění EMC obvykle činí asi **2 až 10 %** celkových vývojových a výrobních nákladů (podle velikosti a rozsahu zařízení). Je-li EMC sledována od samého počátku vývoje zařízení, lze náklady na ni snížit dokonce **pod 1 %**.

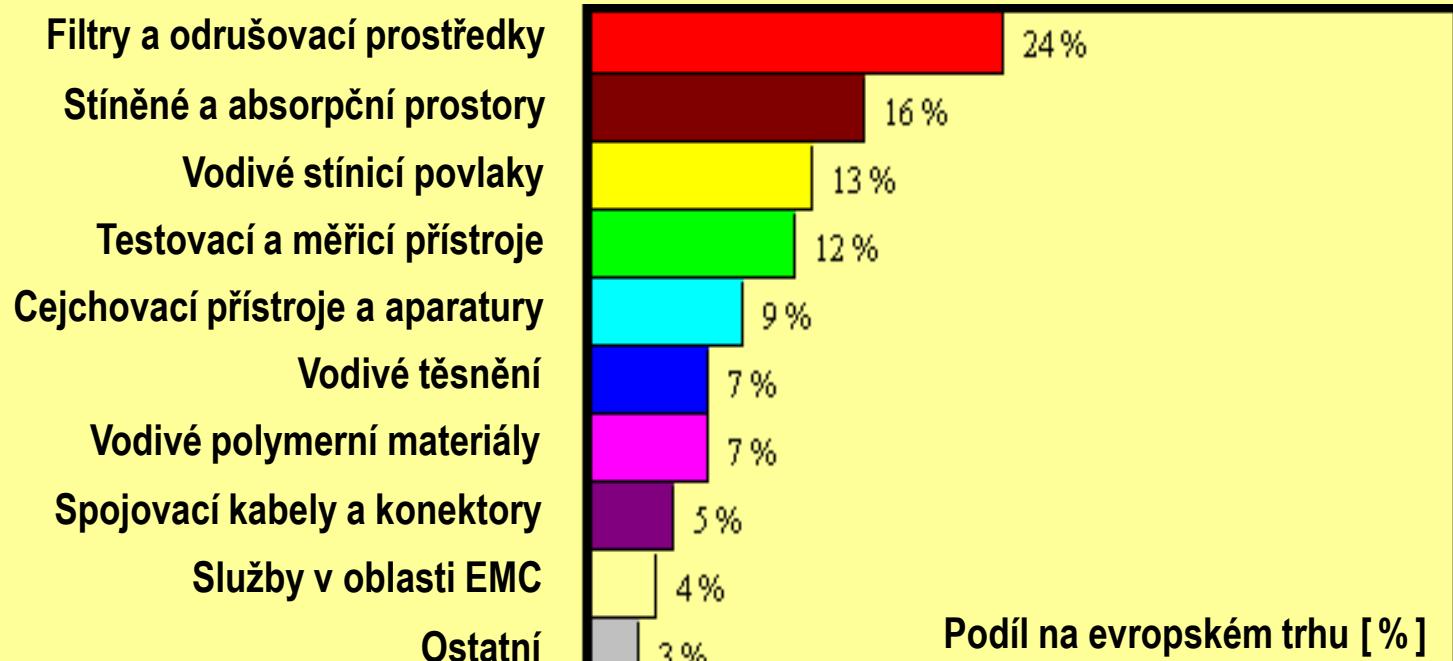
Teritoriální rozdělení evropského trhu EMC



Zastoupení hlavních uživatelských oblastí na evropském trhu EMC



Podíly hlavních produktů na evropském trhu EMC



■ Speciální aspekty a oblasti nasazení EMC se vzhledem k univerzálnímu významu EMC stále rozrůstají.

- **Vojenská a obranná oblast** – jde o bojeschopnost složitých elektronických vojenských zařízení i v náročných bojových podmínkách a současně o vliv jejich elektromagnetické činnosti na okolní „civilní“ zařízení a systémy.

Celá jedna oblast obrany státu, tzv. **elektronický boj** (včetně nově vyvíjených tzv. **EM zbraní**) není z tohoto pohledu ničím jiným, než narušováním EMC protivníkových komunikačních a vojenských elektronických systémů.

Vojenská pracoviště věnují problematice EMC velkou pozornost od samého jejího vzniku a mají obvykle „náskok“ před civilním sektorem.

Vojenské normy EMC (MIL-STD) jsou přesnější než odpovídající civilní předpisy.

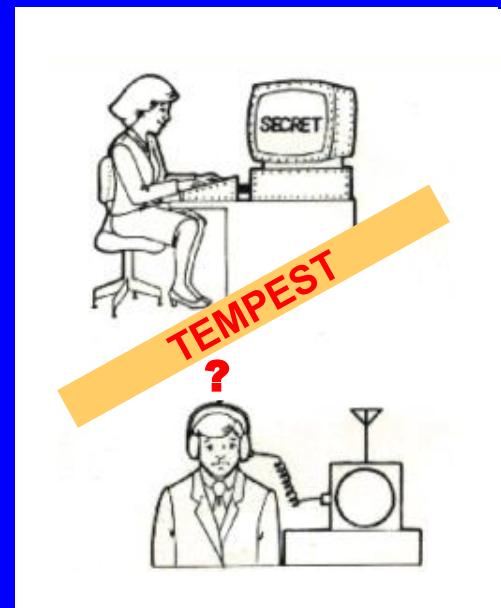


- **Elektronická bezpečnost, zachování a ochrana**, příp. **utajení** (citlivých) **dat** před elektromagnetickým únikem a zcizením.

Aktuálnost ochrany dat vyvstala zejména s masovým rozvojem a nasazením výpočetní techniky.

Problematika ochrany dat je klíčovou otázkou např. ve **finančnictví, bankovnictví, průmyslovém výzkumu a vývoji, jaderné energetice**, ale i **diplomatických službách** a jinde.

Z technického pohledu EMC jde o tvorbu **elektromagneticky „zabezpečených“ prostorů**, tj. elektromagneticky stíněných místností, zajištění dokonalého odrušení a **filtrace** všech kabelových vstupů a výstupů (energetických i datových) a zvýšení elektromagnetické **odolnosti** použitych informačních a komunikačních technologií ➔ program **TEMPEST**



- **Automobilová EMC** – aplikace zásad EMC v automobilovém, příp. dopravním průmyslu.

Obrovský nárůst počtu elektrických a elektronických subsystémů a bloků v každém automobilu, vlaku, lodi a dalších dopravních prostředcích. Jde přitom nejen o elektrotechniku a elektroniku ve vlastním pohonného, ovládacím a řídicím systému dopravního prostředku, ale též o elektronické **komunikační**, **navigační**, **informační**, **bezpečnostní** a **zábavní** prostředky v něm vestavěné.

Očekává se, že v roce 2016 bude cena tohoto elektronického vybavení středního automobilu tvořit více než 30 % celkové ceny vozidla.

Zajištění EMC vozidel je dnes velmi významným faktorem i z hlediska **bezpečnosti dopravy** a všech jeho účastníků. Problematika automobilové EMC byla do legislativy EU a dalších evropských (nečlenských) zemí plně zahrnuta od roku 1995.



EMC vozidel

EMC vozidla jako celku

včetně nutných pevně zabudovaných elektrických pohonných, ovládacích, příp. řídicích komponent



ESA
Electronic Sub-Assembly



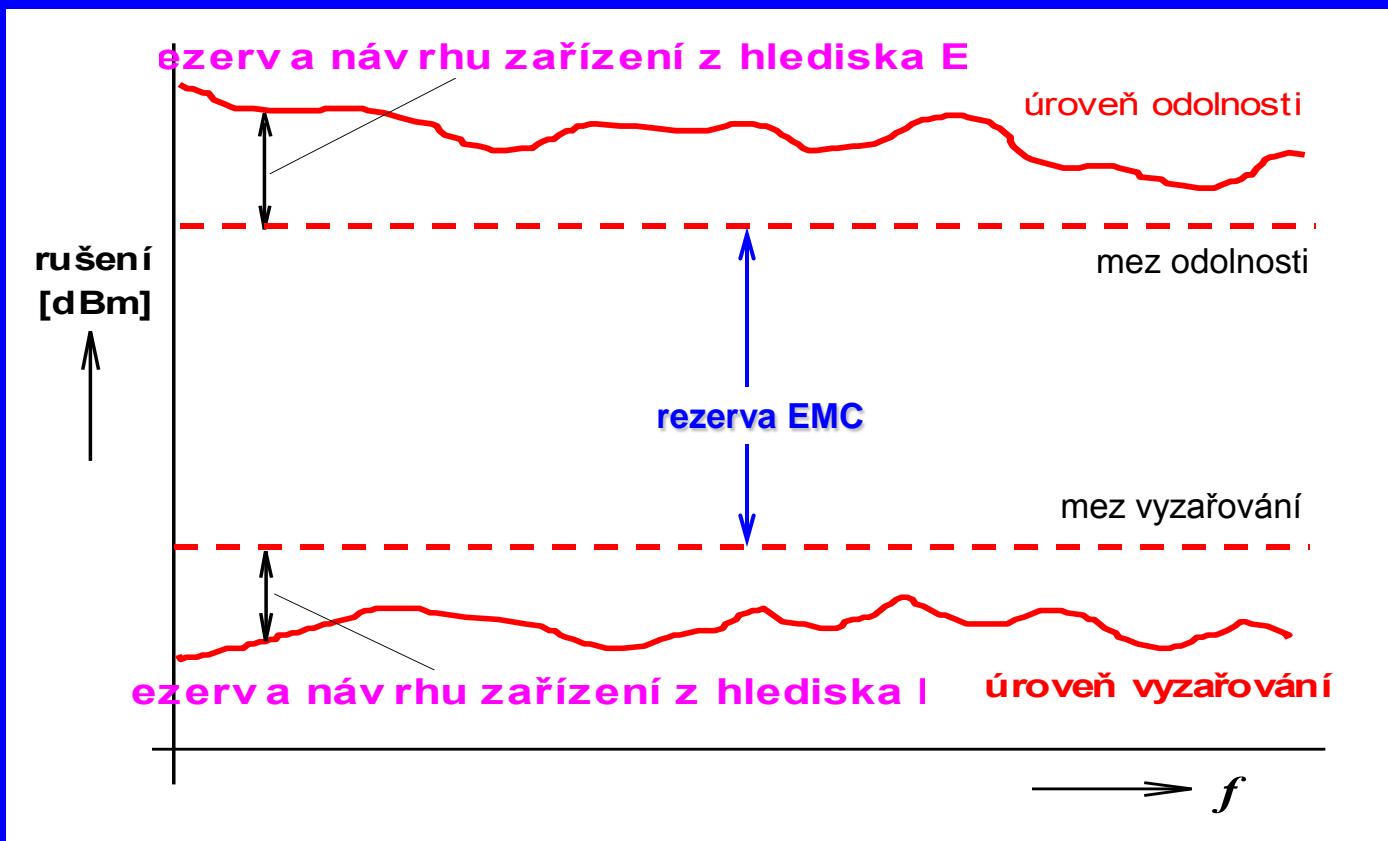
Testování ESD odolnosti airbagu

- **Medicínská EMC** – elektromagnetická kompatibilita lékařských diagnostických a terapeutických přístrojů a implantovaných zařízení.
- **Ochrana, řízení a management elektromagnetického spektra** – regulace využití kmitočtového spektra jakožto formy přírodního bohatství, přidělování a regulace obsazenosti kmitočtových pásem a jednotlivých služeb v nich.
- **EMC ve fotonice a nanotechnologiích** – rozšiřování působnosti EMC do oblasti optických a fotonických systémů a do oblastí submikronových technologií.
- **... a další, nově vznikající speciální oblasti EMC**



Základní pojmy EMC

Mezinárodní elektrotechnický slovník ČSN IEC 50
kapitola 161 „Elektromagnetická kompatibilita“



Skutečně EMC potřebujeme ?

Zkusme ji určitou dobu ignorovat a

**brzy nám přestane správně fungovat většina
elektrotechnických a elektronických přístrojů,
zařízení a systémů**

**nemluvě o nekontrolovaném vlivu
elektromagnetických signálů na živé organizmy.**