

# Konference Energetické Rušení 2024



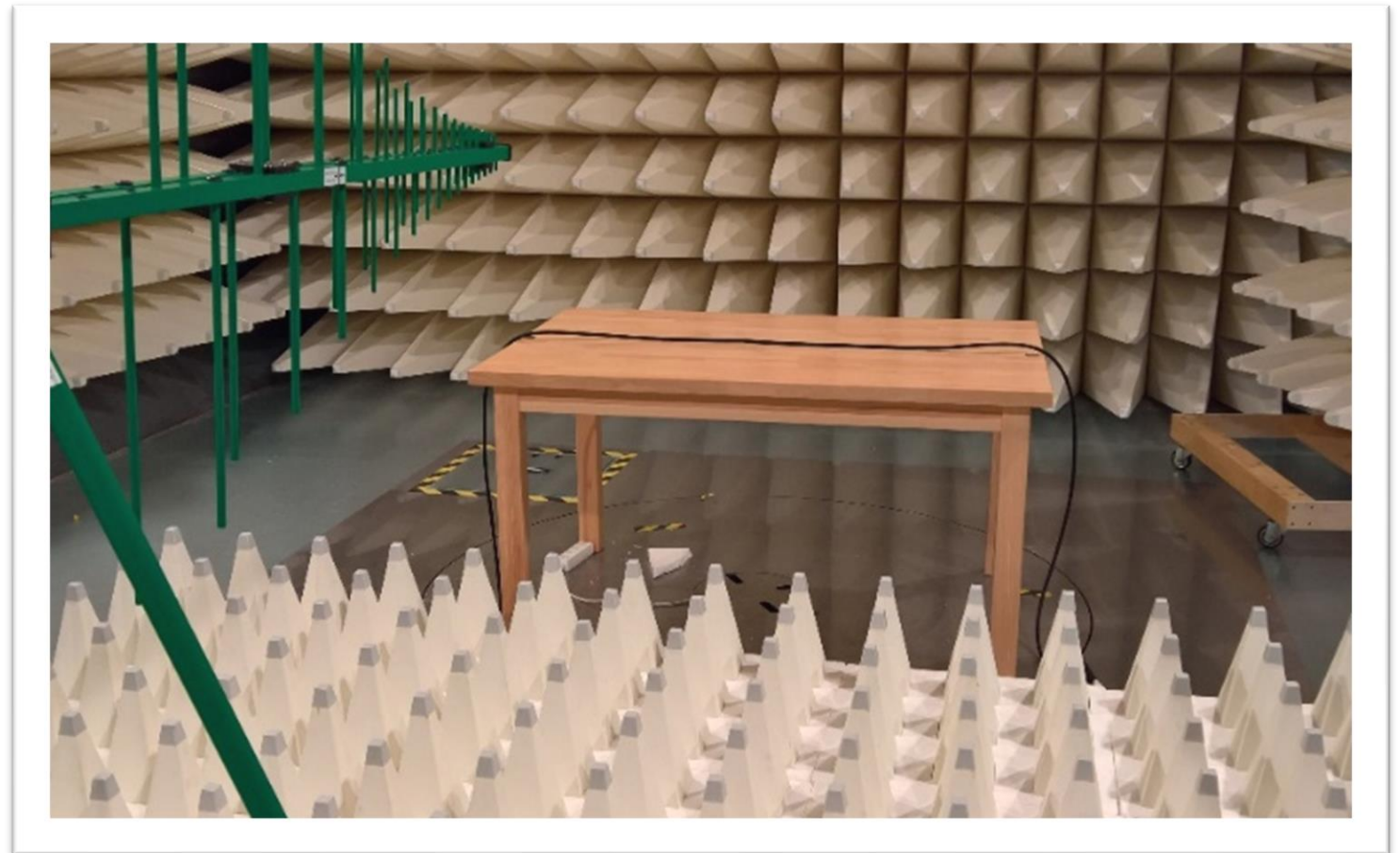
## Vyzařování silových kabelů na vysokých frekvencích

Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D.  
Fakulta aplikované informatiky  
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

# Agenda



- Elektromagnetická kompatibilita
- Měření vyzařovaných emisí
- Proces normalizace
- Vyzařování kabelů
- Elektromagneticky ztrátové materiály
- Simulace
- Naměřené výsledky
- Shrnutí



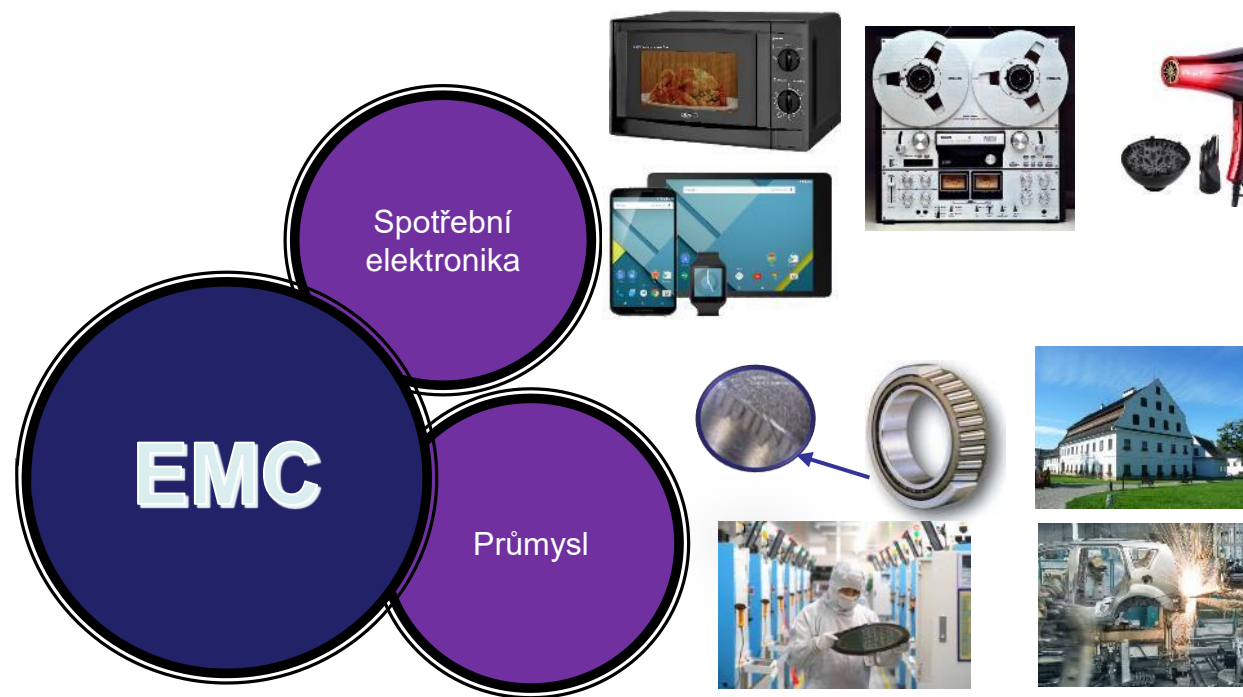
# EMC neunikneme



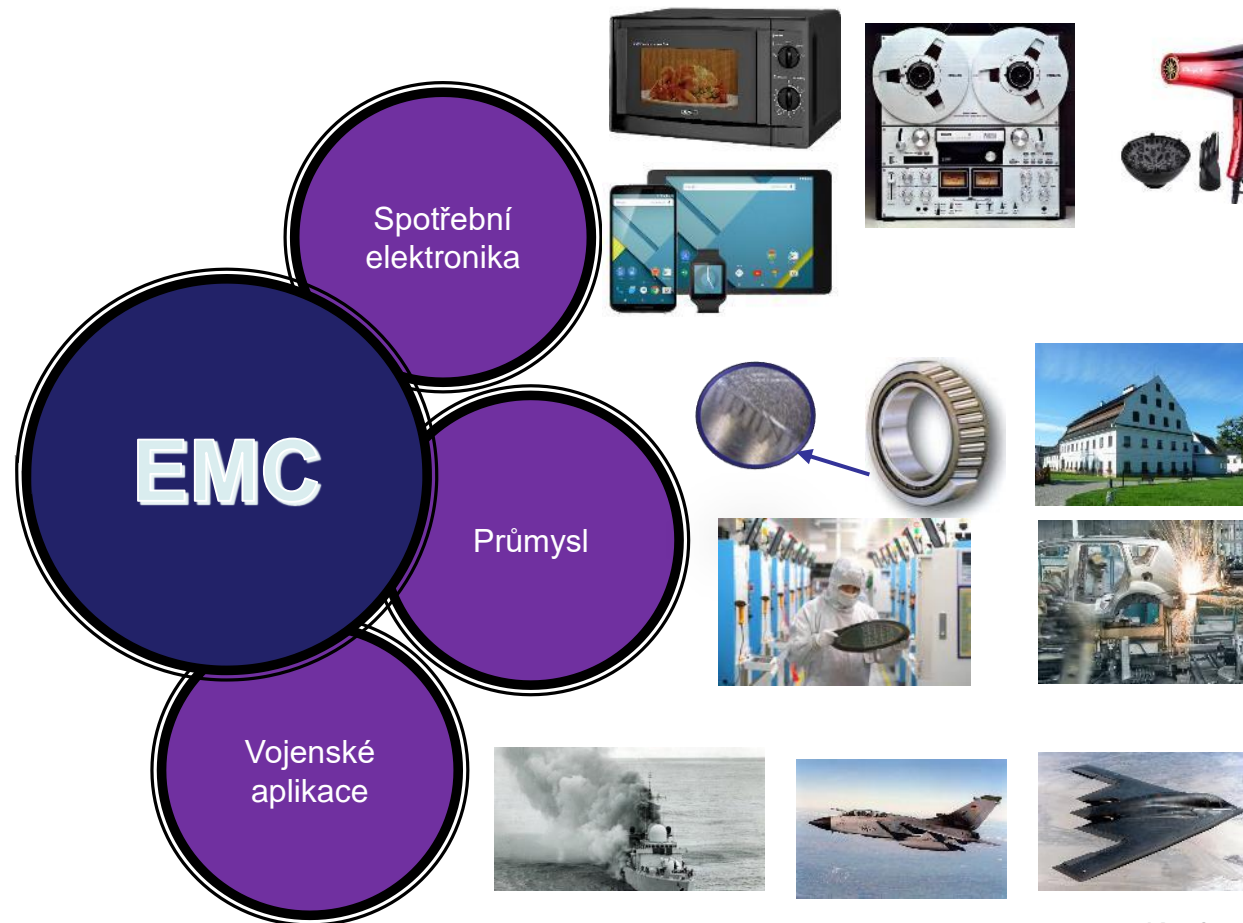
# EMC neunikneme



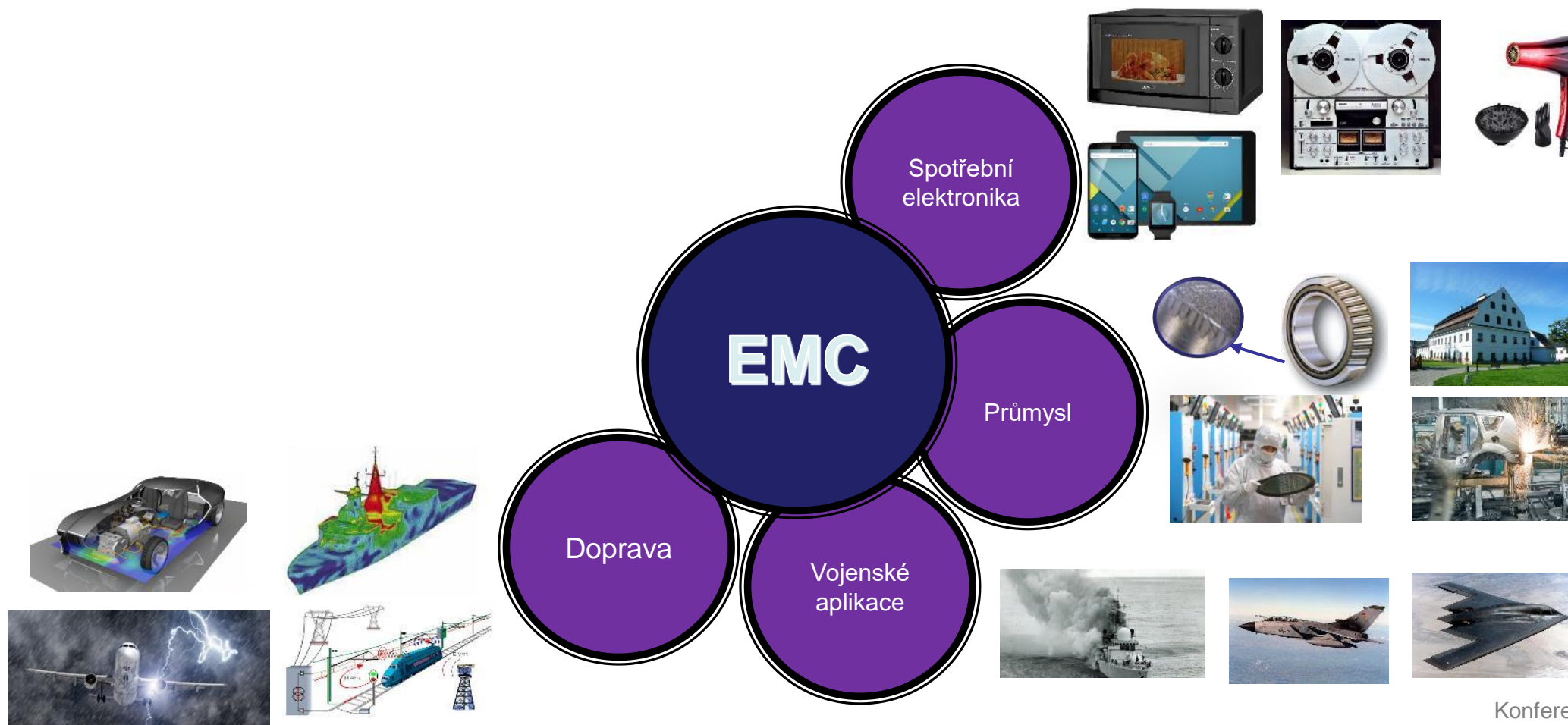
# EMC neunikneme



# EMC neunikneme



# EMC neunikneme



# EMC neunikneme



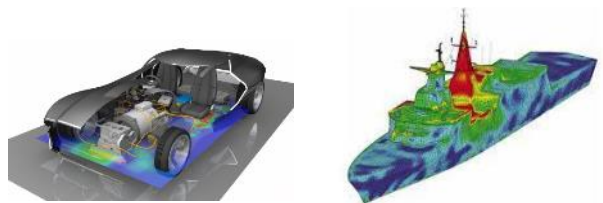
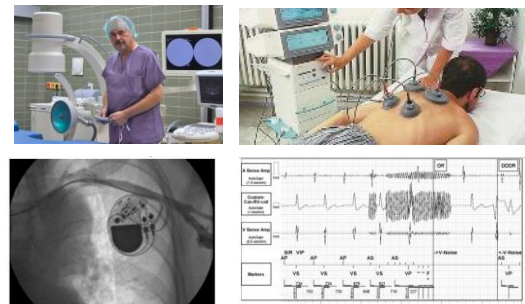
**EMC**

- Zdravotnictví
- Spotřební elektronika
- Průmysl
- Vojenské aplikace
- Doprava

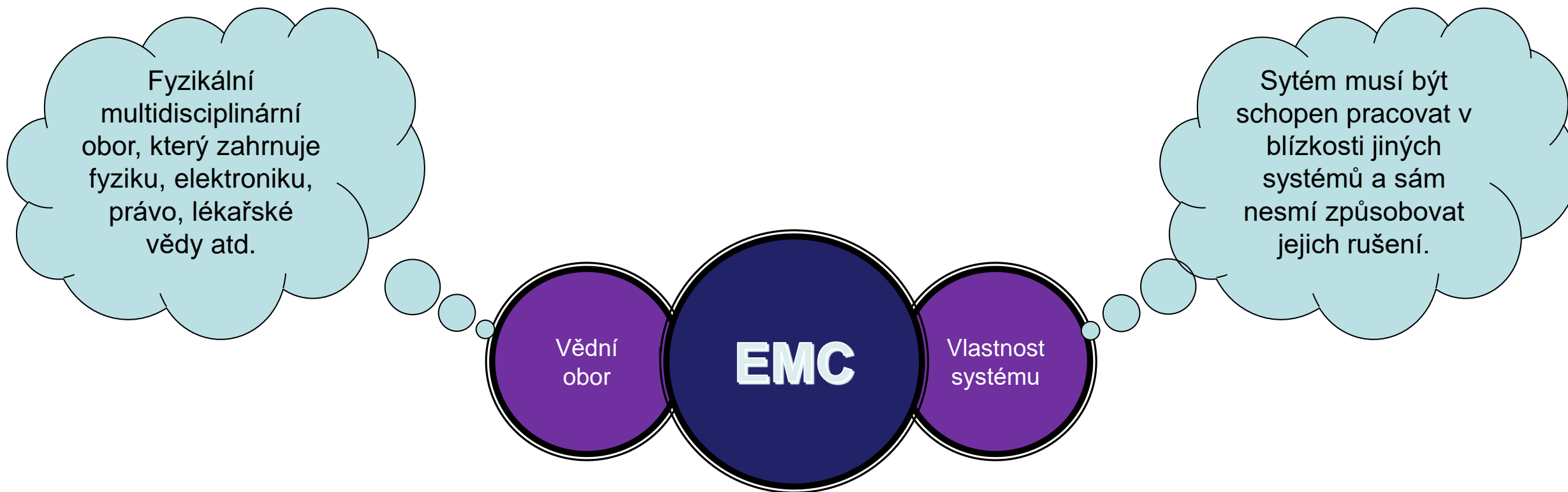
Images illustrating EMC applications: medical equipment, consumer electronics (microwave, CD player, hair dryer, smartphones), industrial settings (factory, car chassis, ship), and military applications (fighter jets, stealth bomber, submarine).



# EMC neunikneme



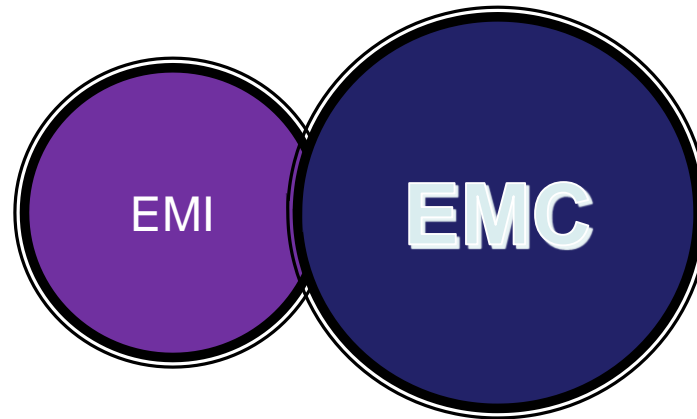
# EMC z hlediska přístupu



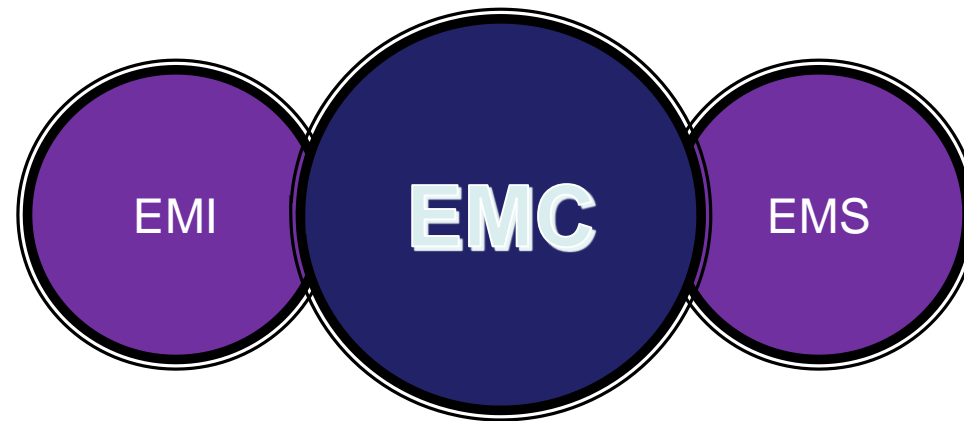
# EMC z hlediska techniky



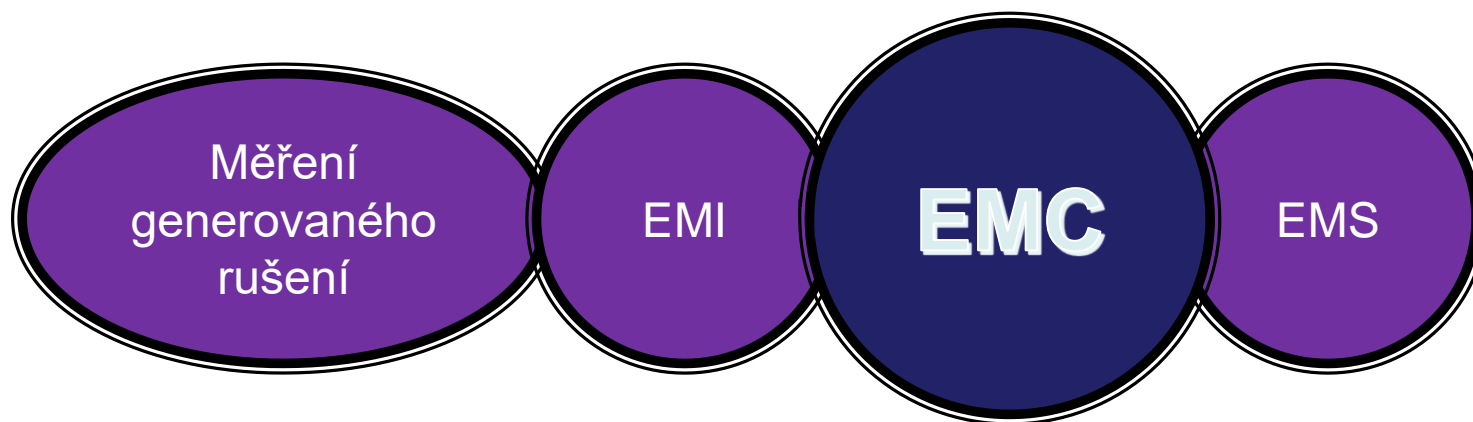
# EMC z hlediska techniky



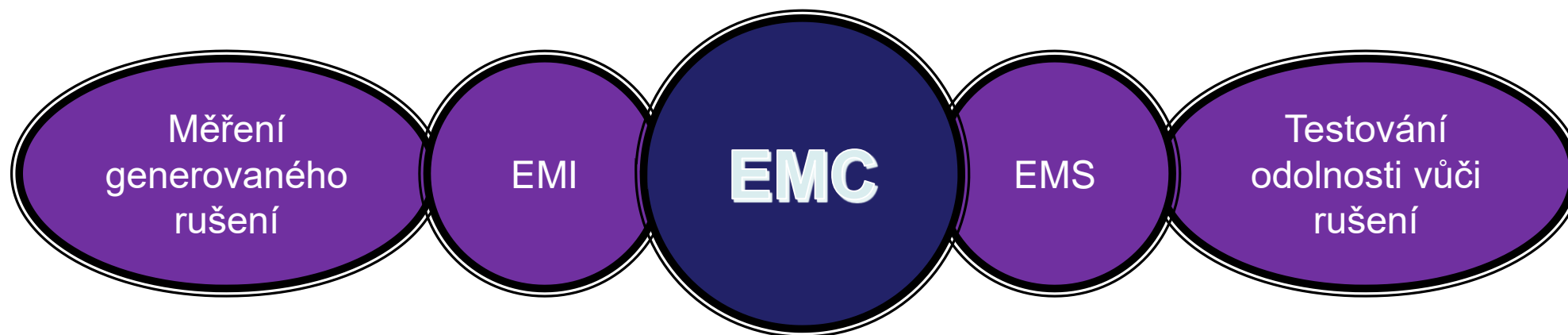
# EMC z hlediska techniky



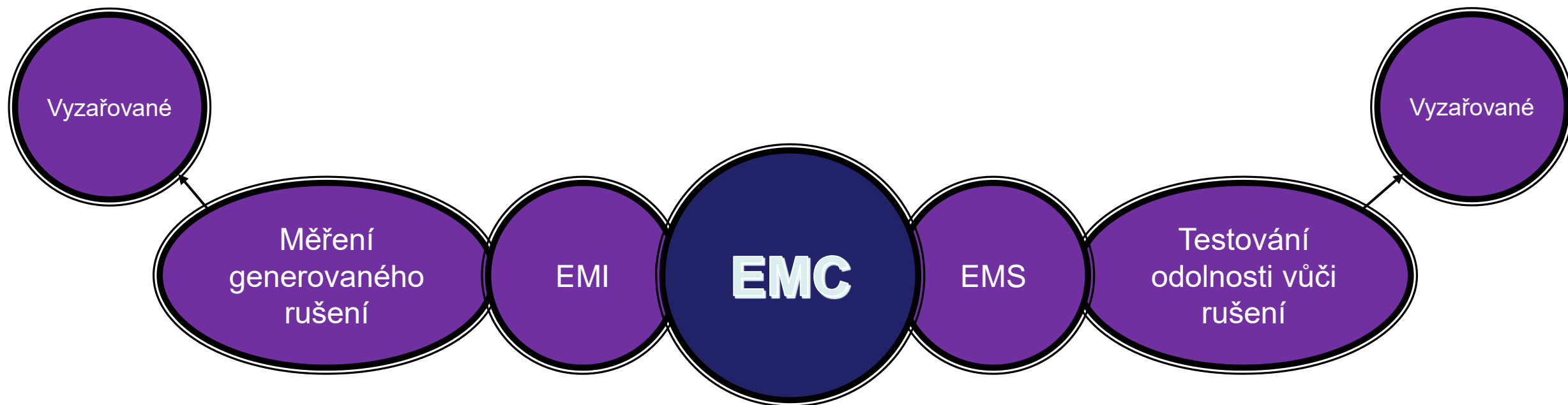
# EMC z hlediska techniky



# EMC z hlediska techniky

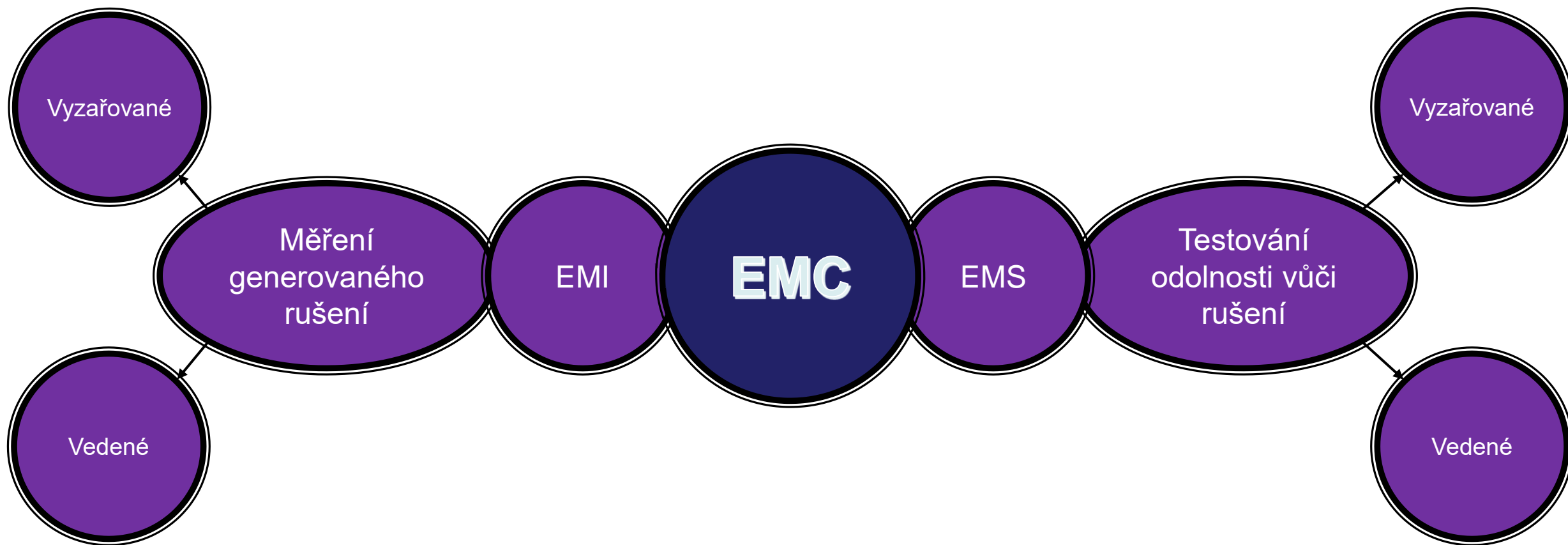


# EMC z hlediska techniky

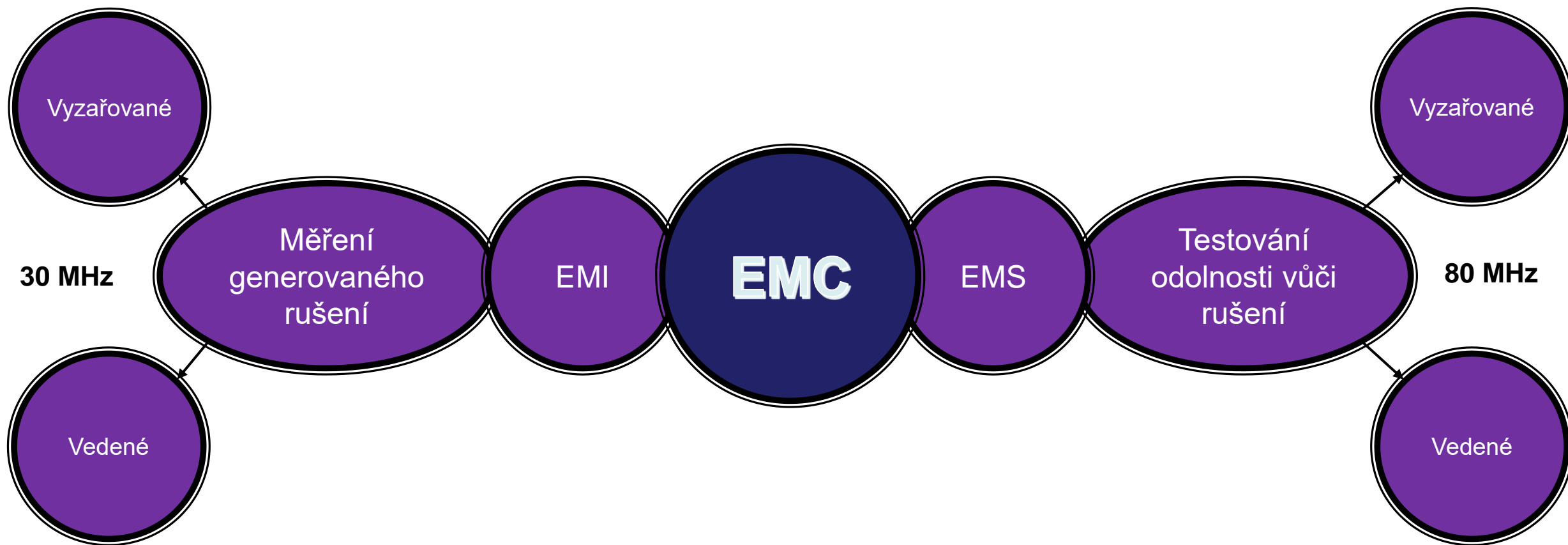




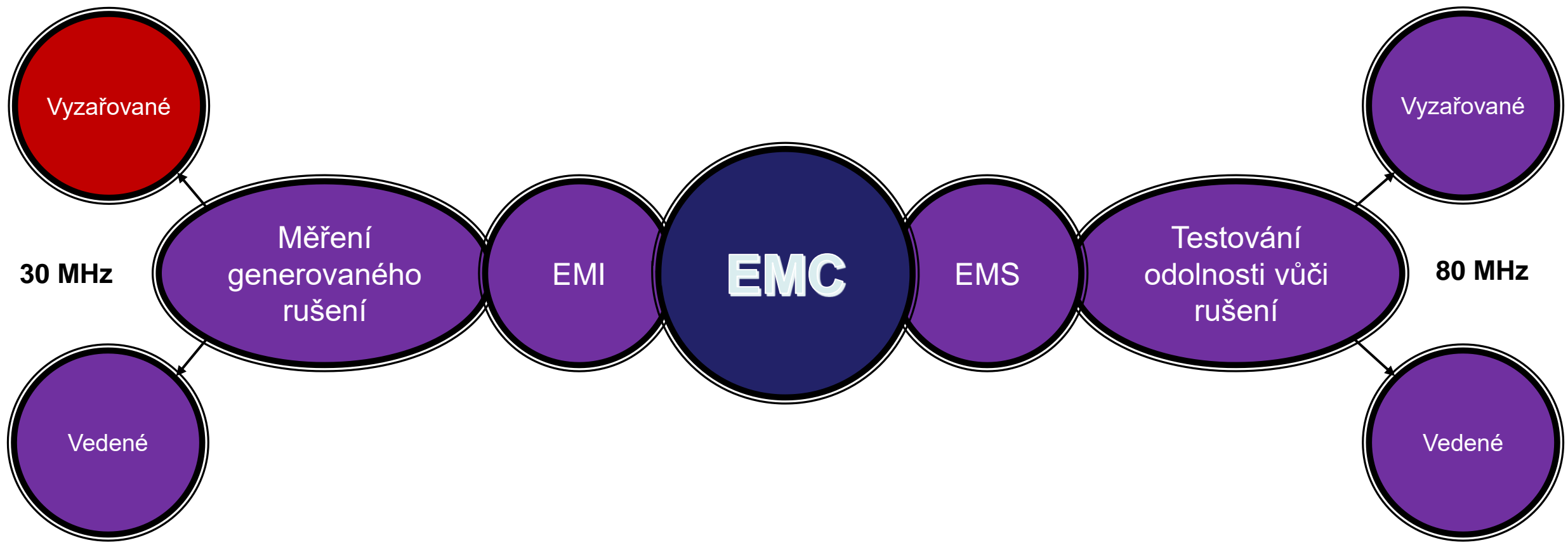
# EMC z hlediska techniky



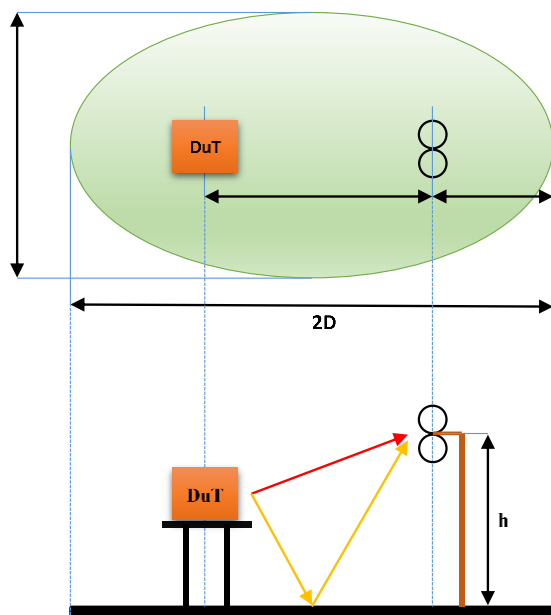
# EMC z hlediska techniky



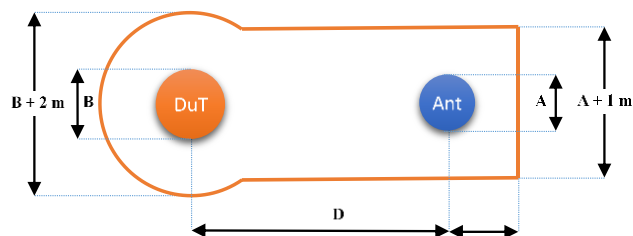
# EMC z hlediska techniky



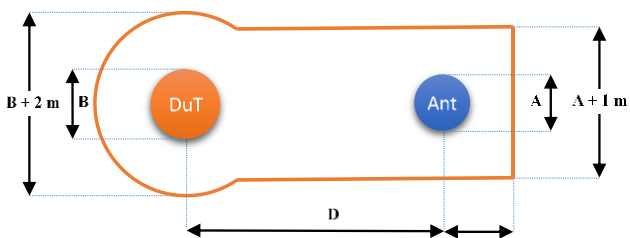
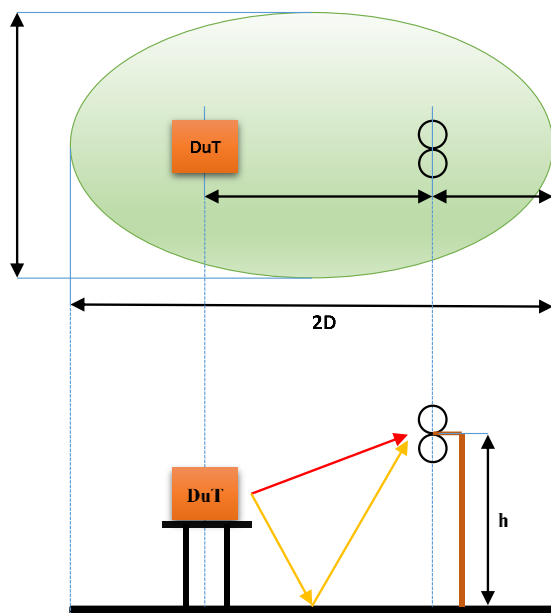
# Měření vyzařovaných emisí



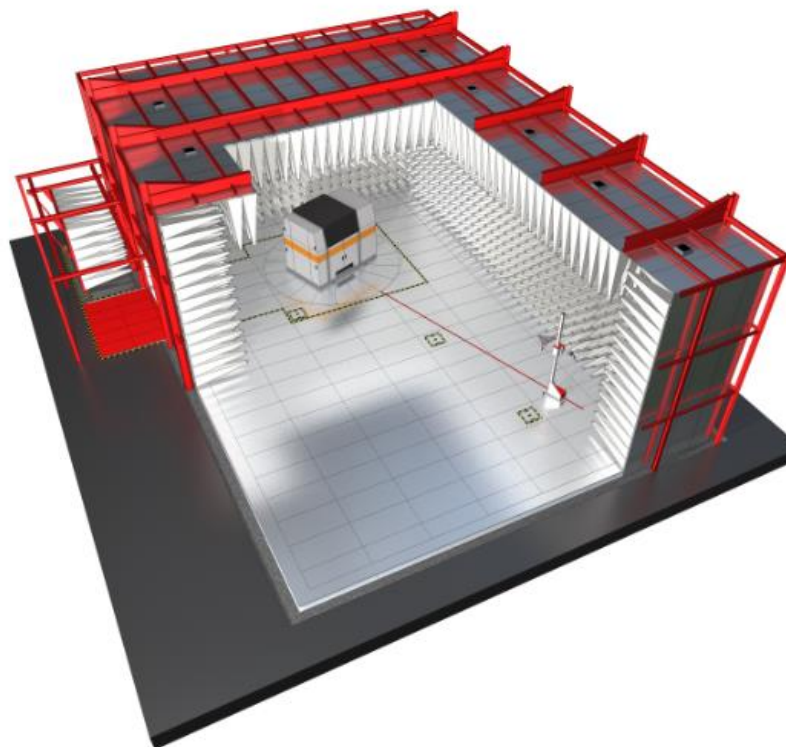
Výchozím etalonem je tzv. volné měřicí pracoviště (Open Area Test Site), které simulujeme prostřednictvím semianechoické komory.



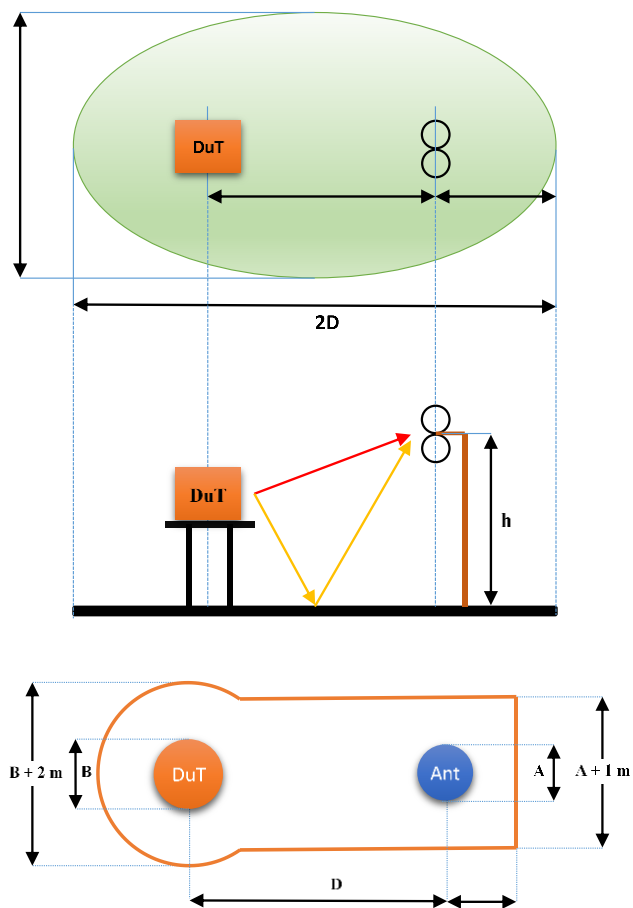
# Měření vyzařovaných emisí



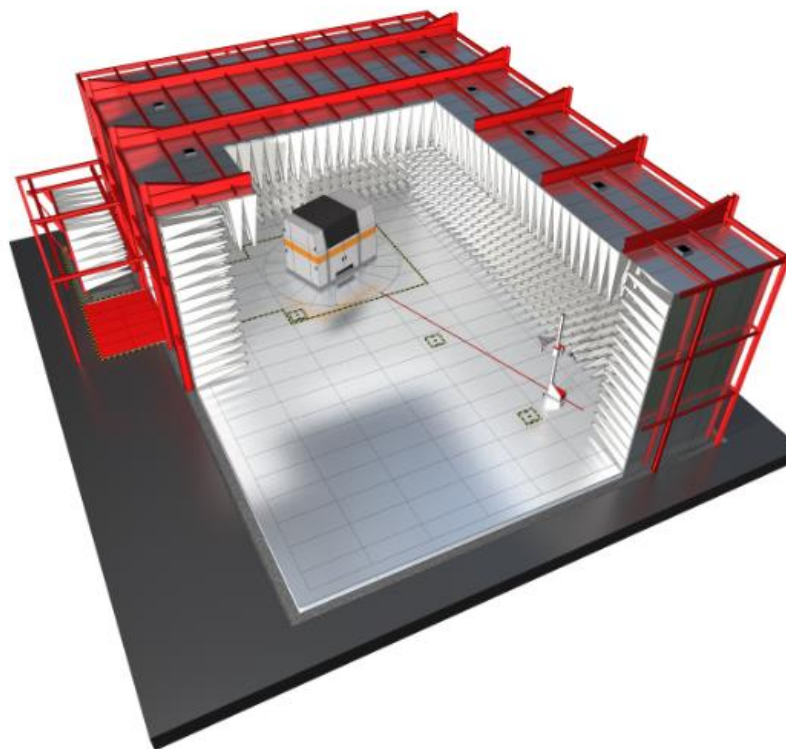
Výchozím etalonem je tzv. volné měřicí pracoviště (Open Area Test Site), které simulujeme prostřednictvím semianechoické komory.



# Měření vyzařovaných emisí



Výchozím etalonem je tzv. volné měřicí pracoviště (Open Area Test Site), které simulujeme prostřednictvím semianechoické komory.



# Měření vyzařovaných emisí



Současný trend = přibývá technických možností, které normy připouštějí použít

# Měření vyzařovaných emisí



Současný trend = přibývá technických možností, které normy připouštějí použít

OATS



# Měření vyzařovaných emisí



Současný trend = přibývá technických možností, které normy připouštějí použít

OATS

SAC

# Měření vyzařovaných emisí



Současný trend = přibývá technických možností, které normy připouštějí použít

OATS

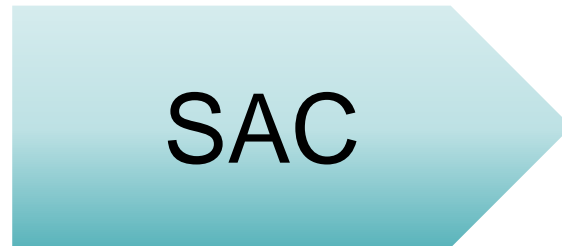
SAC

FAR

# Měření vyzařovaných emisí



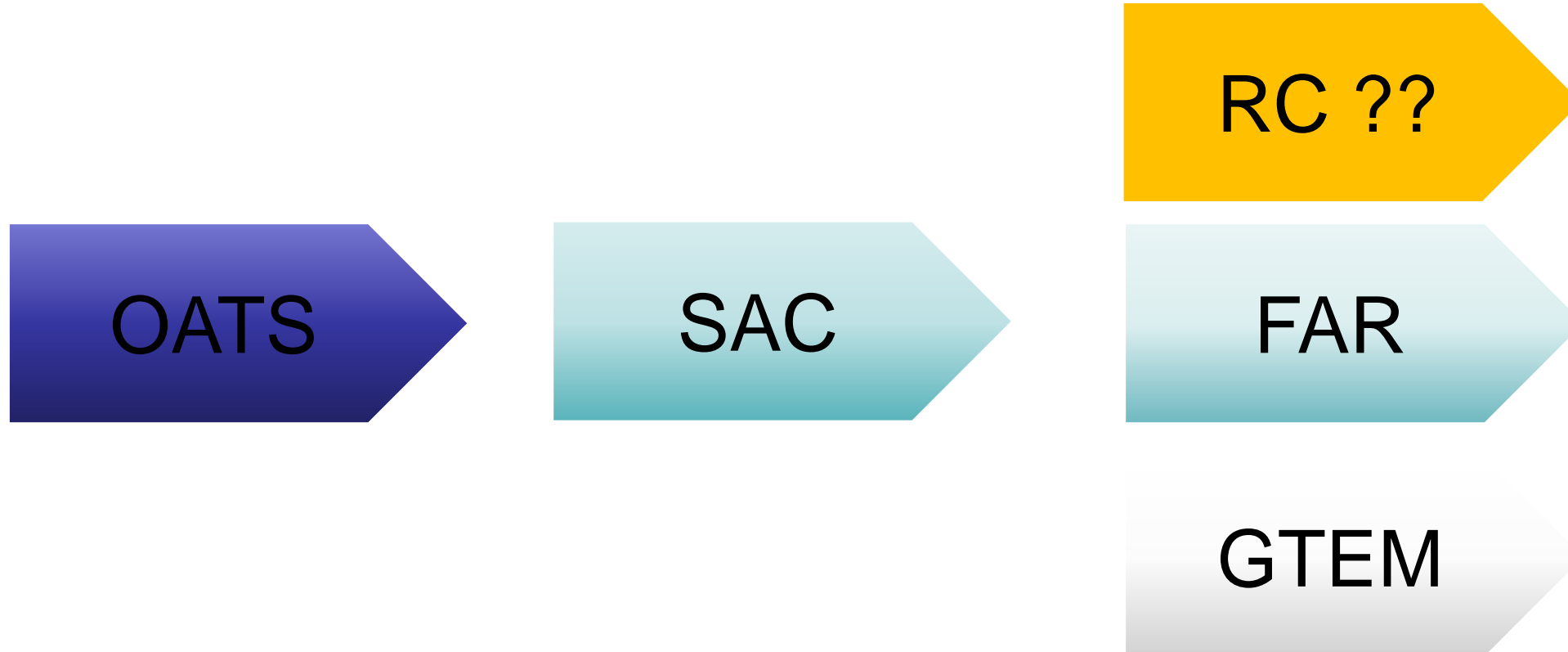
Současný trend = přibývá technických možností, které normy připouštějí použít



# Měření vyzařovaných emisí



Současný trend = přibývá technických možností, které normy připouštějí použít



# Měření vyzařovaných emisí

Tabulka 3 – Požadavky pro emise šířené zářením, vstup/výstup krytem

Tabulkový odkaz	Zkušební zařízení	Kmitočtový rozsah MHz	Meze dB( $\mu$ V/m)	Specifikace měření	Omezení
			Detektor / referenční vzdálenost		
3.1	OATS nebo SATS	30 až 230	30 kvazivrcholový / 10 m	Přístrojové vybavení, CISPR 16-1-1, kapitoly 4 a 5. Antény, CISPR 16-1-4, 4.5 Zkušební místo, CISPR 16-1-4, kapitola 6 Metoda, CISPR 16-2-3, 7.3	Dovolené měřicí vzdálenosti: 3 m, 5 m, 10 m nebo 30 m. Pro zařízení splňující kritérium velikosti definované v 3.1.15, měření mohou být provedena ve vzdálenosti 3 m. Pro měřicí vzdálenosti menší než 30 m se musí výška přijímací antény měnit mezi 1 m a 4 m, jinak se musí použít 2 m až 6 m. Dodatečné vodičko pro zkušební metodu může být nalezeno v CISPR 16-2-3 7.3 a kapitole 8.
		230 až 1 000	37 kvazivrcholový / 10 m		
3.2	TEM	30 až 230	30 kvazivrcholový / n/a	IEC 61000-4-20	Použitelné pouze pro zařízení napájené z baterie, které není určeno k připojení vnějších kabelů. Omezeno na zařízení splňující definici malého zařízení v 6.2 IEC 61000-4-20. Mez se vztahuje na OATS měřicí vzdálenost 10 m.
		230 až 1 000	37 kvazivrcholový / n/a		
3.3	FAR	30 až 230	42 až 35 kvazivrcholový / 3 m	Přístrojové vybavení, CISPR 16-1-1, kapitoly 4 a 5. Antény, CISPR 16-1-4, 4.5 Zkušební místo, CISPR 16-1-4, kapitola 6 Metoda, CISPR 16-2-3, 7.4	Omezeno na zařízení na stole zařízení stojící na podlaze, které může být umístěno na stole během zkoušky. Dovolené měřicí vzdálenosti: 3 m, 5 m nebo 10 m. Použijí se omezení velikosti EUT v CISPR 16-2-3.
		230 až 1 000	42 kvazivrcholový / 3 m		



ny přípouštějí použít

RC ??

FAR

GTEM

# Proces normalizace



IEC

# Proces normalizace

ISO

IEC



# Proces normalizace

ISO

IEC

CISPR





# Proces normalizace

ISO

IEC

CISPR



# Proces normalizace

ISO

IEC

CISPR

OSN



# Proces normalizace

ISO

IEC

CISPR

OSN

ITU



# Proces normalizace

ISO

IEC

CISPR

OSN

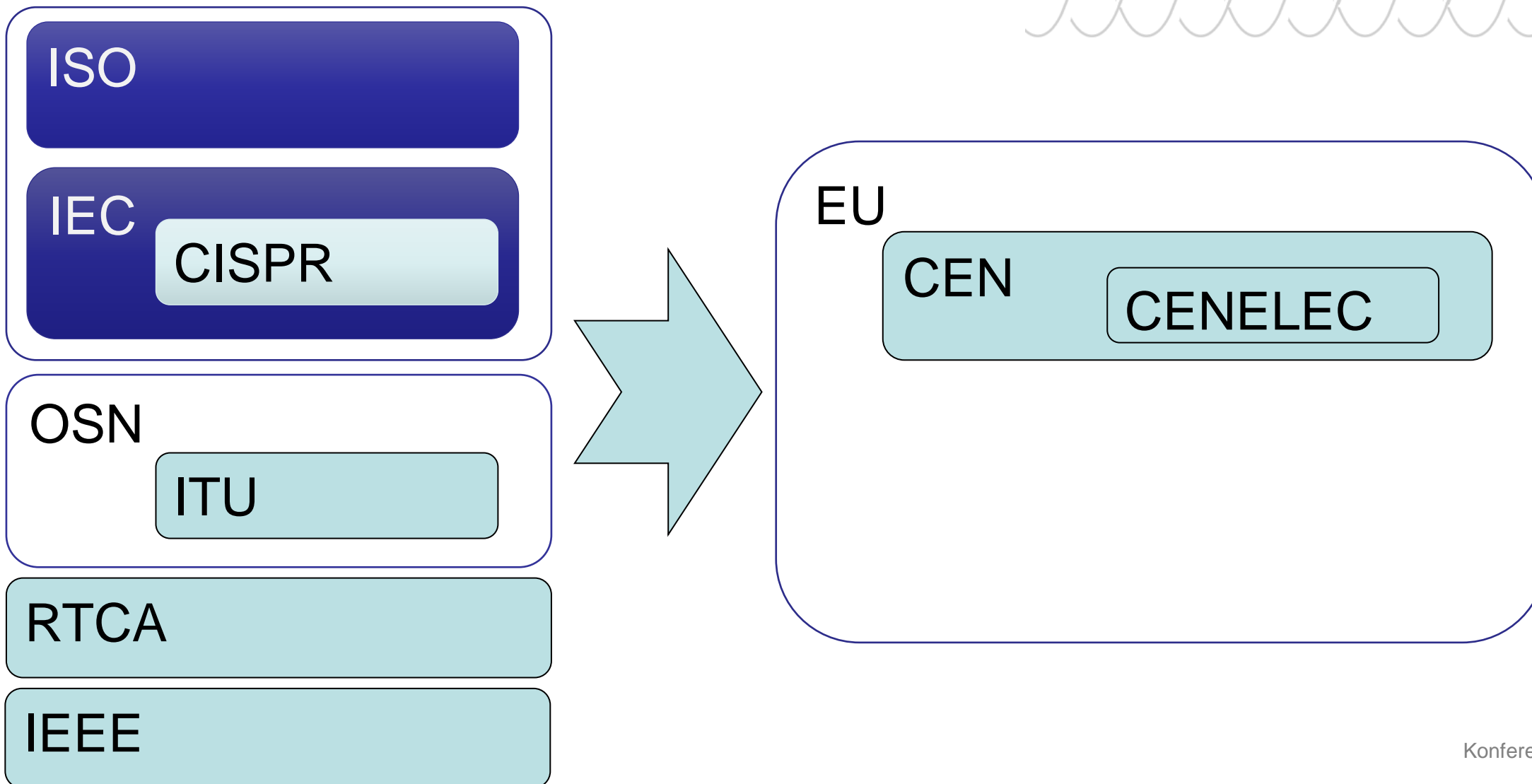
ITU

RTCA

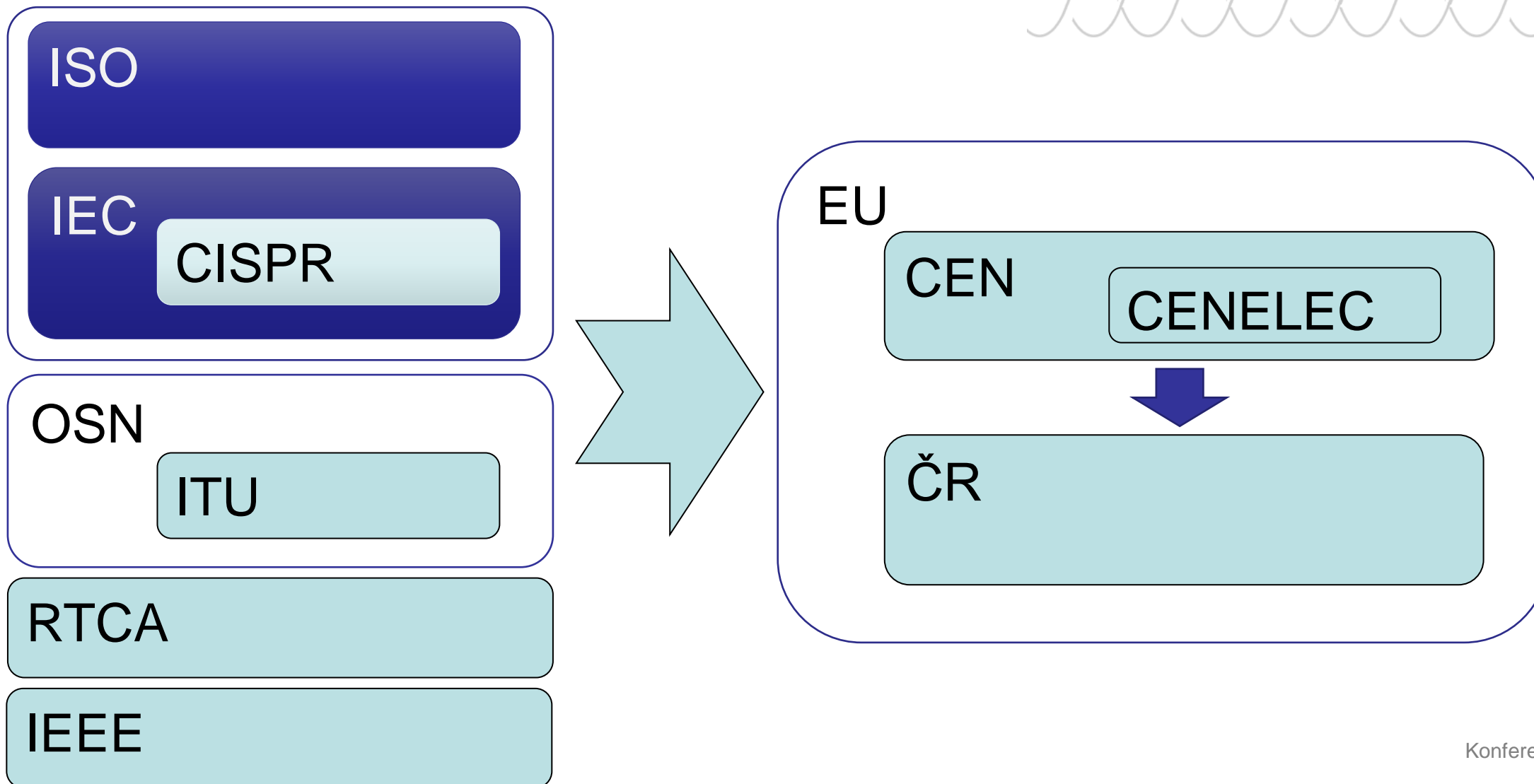
IEEE



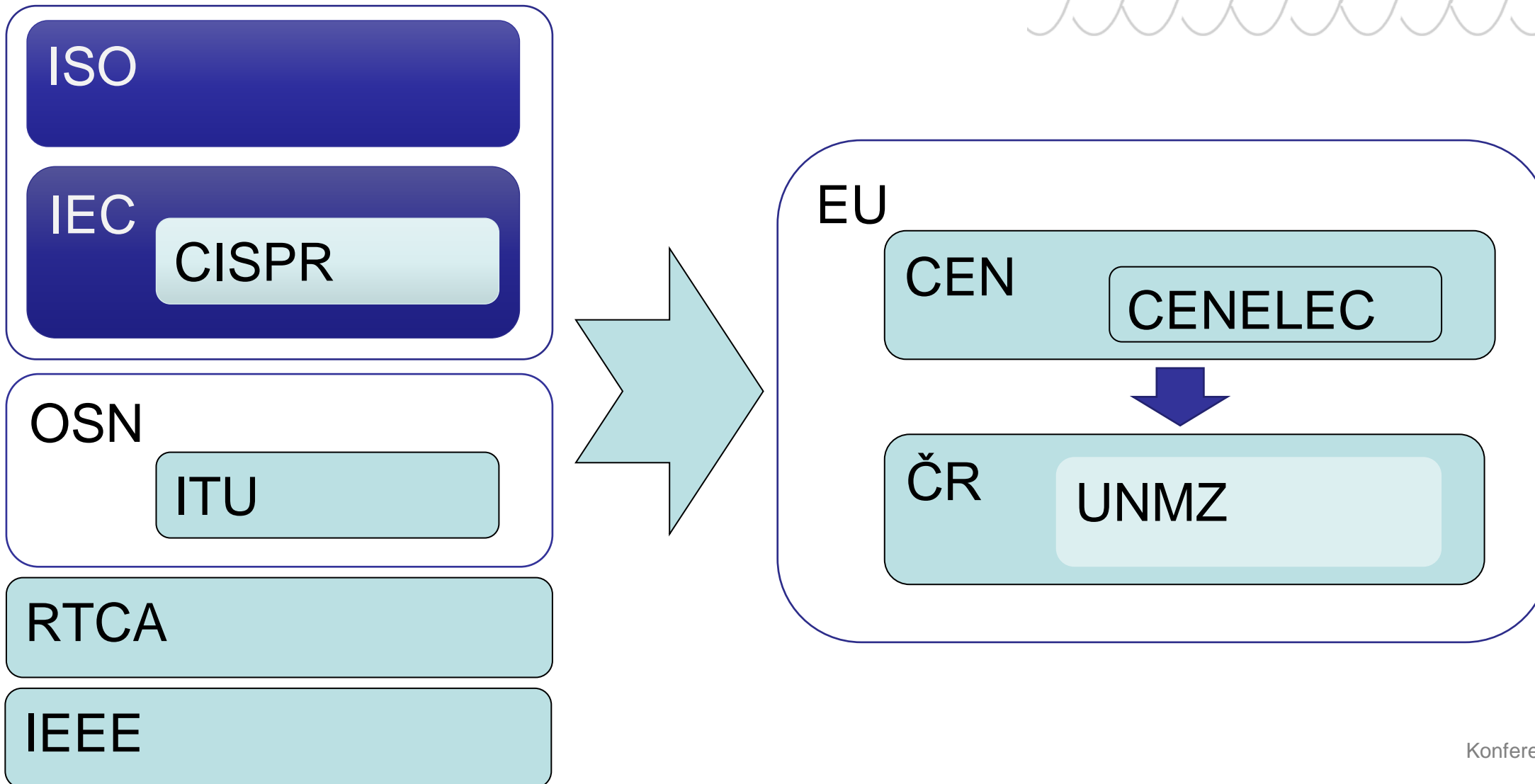
# Proces normalizace



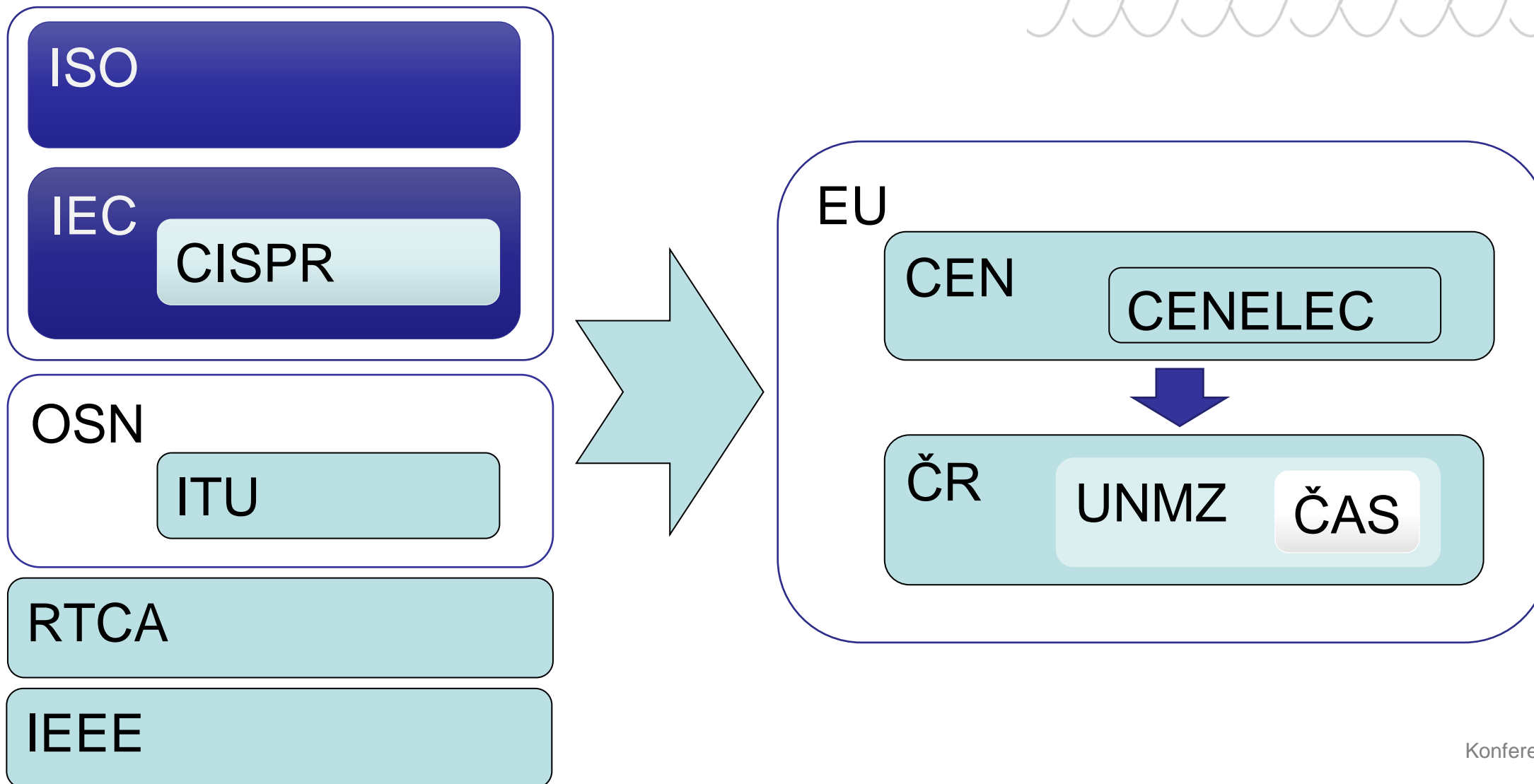
# Proces normalizace



# Proces normalizace

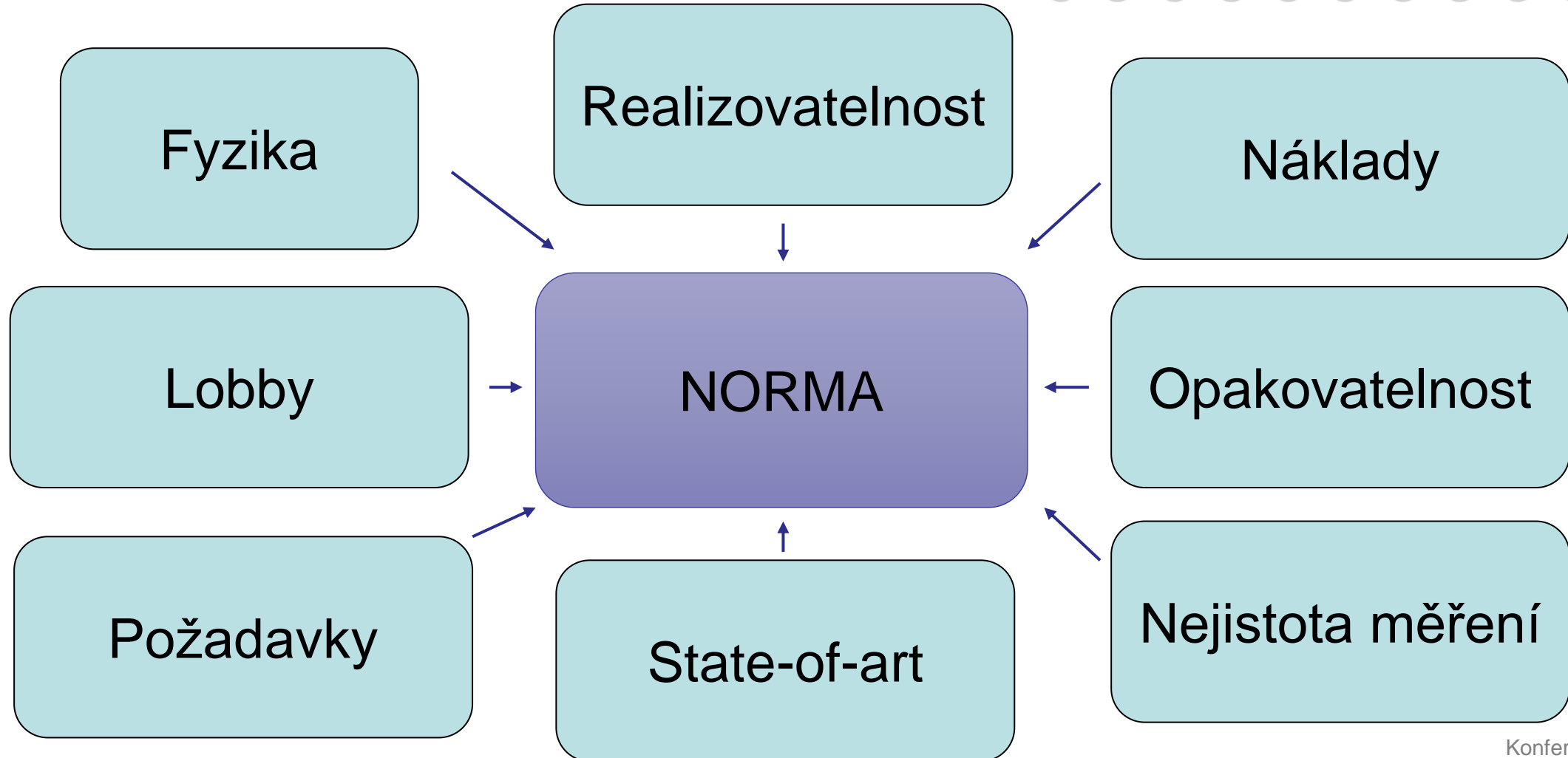


# Proces normalizace



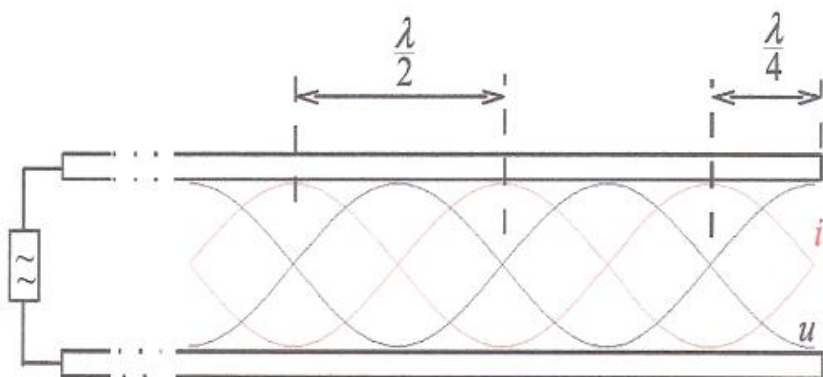


# Proces normalizace

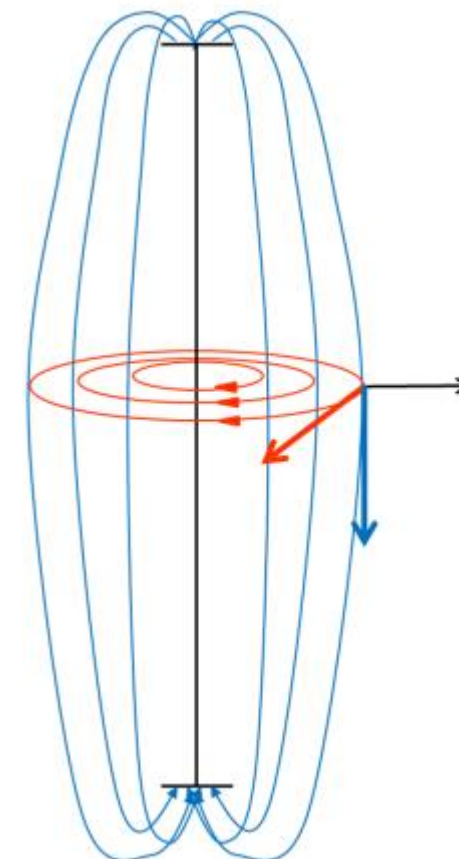
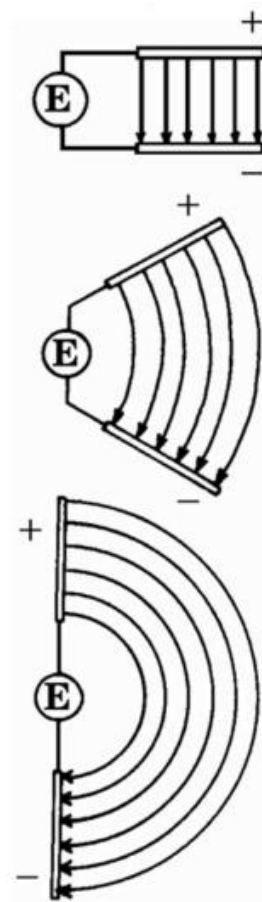


# Kabely jako zdroje rušení

Pokud je vodič dostatečně dlouhý nebo frekvence protékajícího proudu dostatečně vysoká, na vodiči lze pozorovat postupující vlnu.



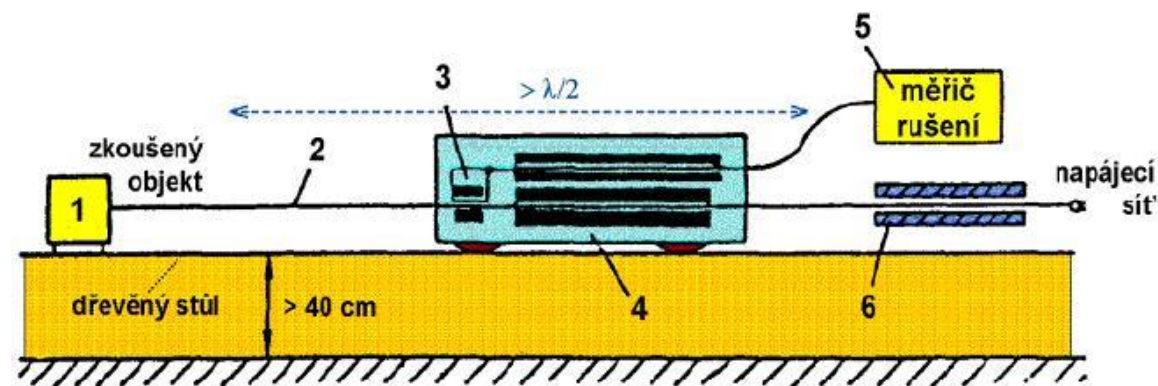
Elektrické i magnetické pole se šíří v okolí vodiče a jeho intenzita klesá směrem se vzdáleností. Rozdíl mezi vedením a anténou je jen v geometrickém uspořádání a rozměrech.



# Kabely jako zdroje rušení

Ve specifických případech (ruční náradí – vrtačky, mixéry, fény, topidla,...) lze aplikovat ČSN EN 55014, která připouští posuzovat generované rušení jen podle toho, co zařízení emituje z přívodního kabelu.

*„Zkušební ukázaly, že rušivá energie je nejvíce vyzařována částí síťového přívodu a ostatních přívodů v blízkosti zařízení. Proto se dohodlo, že rušivá schopnost zařízení je definována jako výkon, který může zařízení dodat do svých vedení. Tento výkon je téměř roven výkonu dodávaného zařízením do vhodného absorpčního prvku, umístěného kolem těchto vedení v místě, kde má absorbovaný výkon své maximum“*

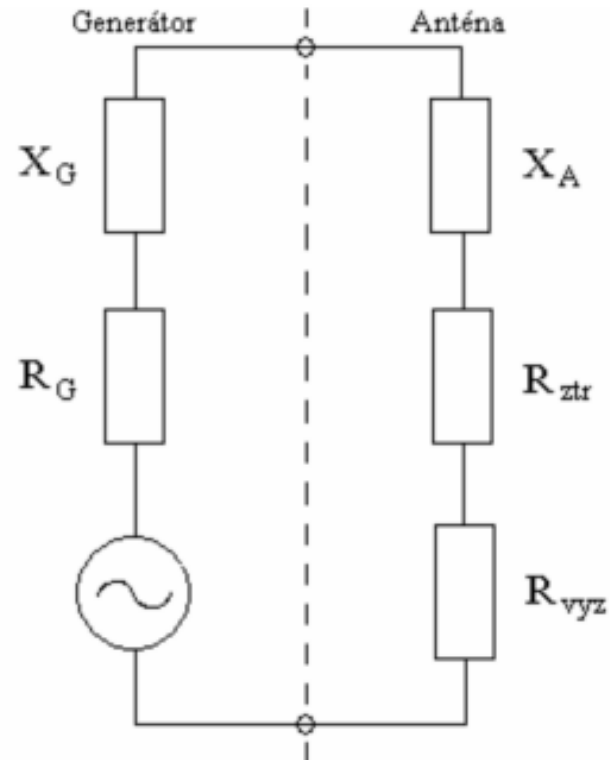


Uspořádání pracoviště pro měření s absorpčními kleštěmi

# Kabely jako zdroje rušení



Z elektrického hlediska lze zdroj rušení a jeho vyzařování modelovat pomocí klasických prvků známých z teorie obvodů.



$X_G$  - vnitřní reaktance zdroje,

$R_G$  - vnitřní odpor zdroje,

$X_A$  - reaktance antény (akumulace energie ve formě elektrického a magnetického pole v blízkosti antény),

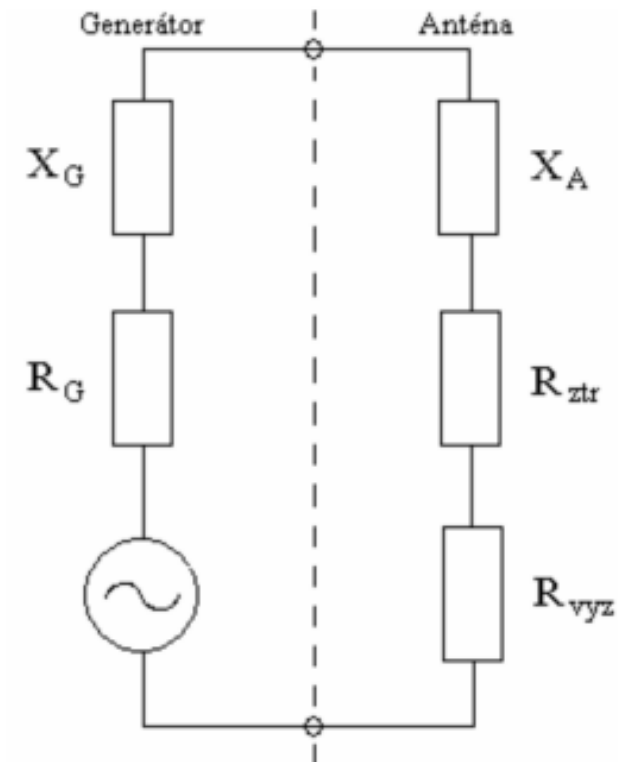
$R_{ztr}$  - ztrátový odpor antény (tepelné ztráty protékajícím proudem),

$R_{vyz}$  - vyzařovací odpor antény (energie zmařená na tomto odporu je rovna energii vyzážené anténou do prostoru)

# Kabely jako zdroje rušení



Z elektrického hlediska lze zdroj rušení a jeho vyzařování modelovat pomocí klasických prvků známých z teorie obvodů.



Nejvíce energie vyzáříme tehdy, když anténa a zdroj jsou impedančně přizpůsobeny:

$$X_G = j\omega L - \frac{1}{j\omega C} = X_A = j\omega L - \frac{1}{j\omega C}$$

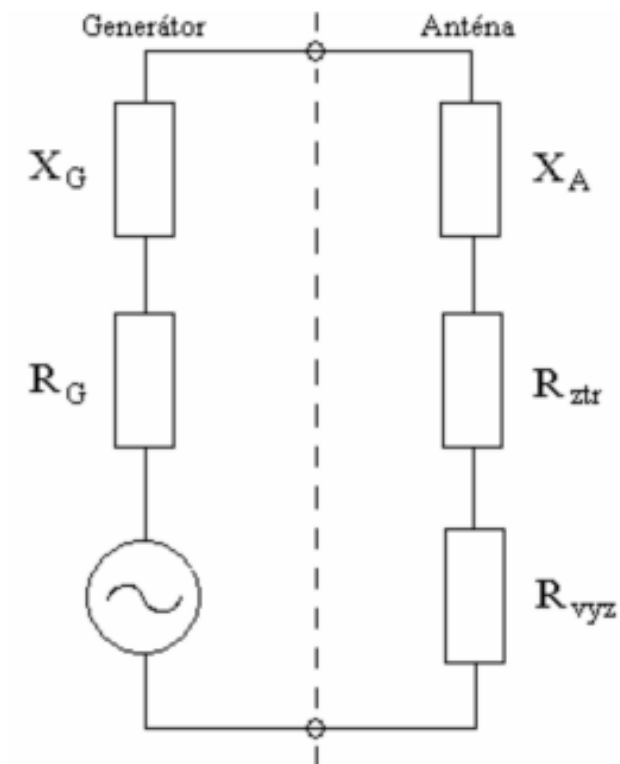
$$R_G = R_{ztr} + R_{vyz}$$

$$R_{ztr} \ll R_{vyz}$$

# Kabely jako zdroje rušení



Z elektrického hlediska lze zdroj rušení a jeho vyzařování modelovat pomocí klasických prvků známých z teorie obvodů.



Nejvíce energie vyzáříme tehdy, když anténa a zdroj jsou impedančně přizpůsobeny.

Protože  $X_A$  a  $R_{vyz}$  závisí na:

- Délce kabelu
- Materiálu v blízkosti kabelu
- Pracovní frekvenci
- Geometrii

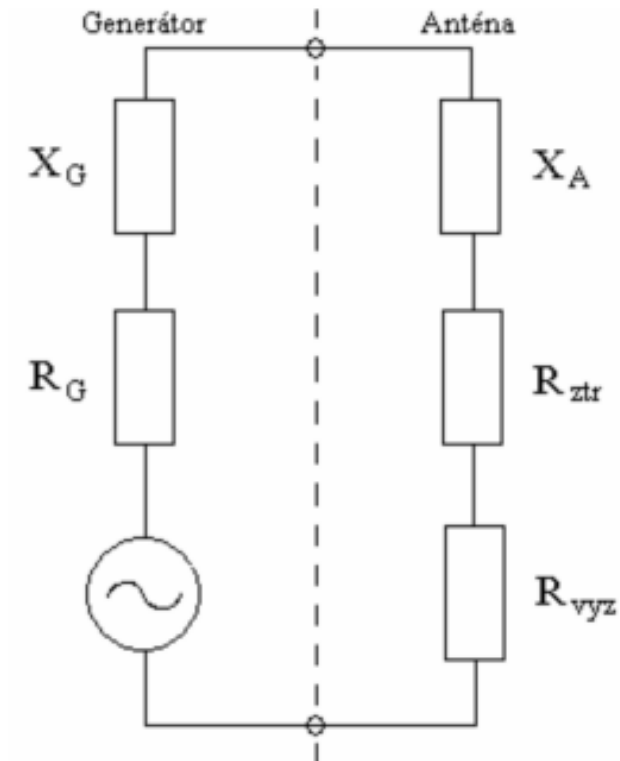
A  $X_G$  a  $R_G$  závisí minimálně na frekvenci,

zdá se, že zářící kabely jsou důsledkem nešťastné shody okolností, byť je poměrně časté.

# Kabely jako zdroje rušení



Z elektrického hlediska lze zdroj rušení a jeho vyzařování modelovat pomocí klasických prvků známých z teorie obvodů.



K eliminaci nechtěného vyzařování kabelů se jako nejvhodnější jeví dva fyzikální jevy:

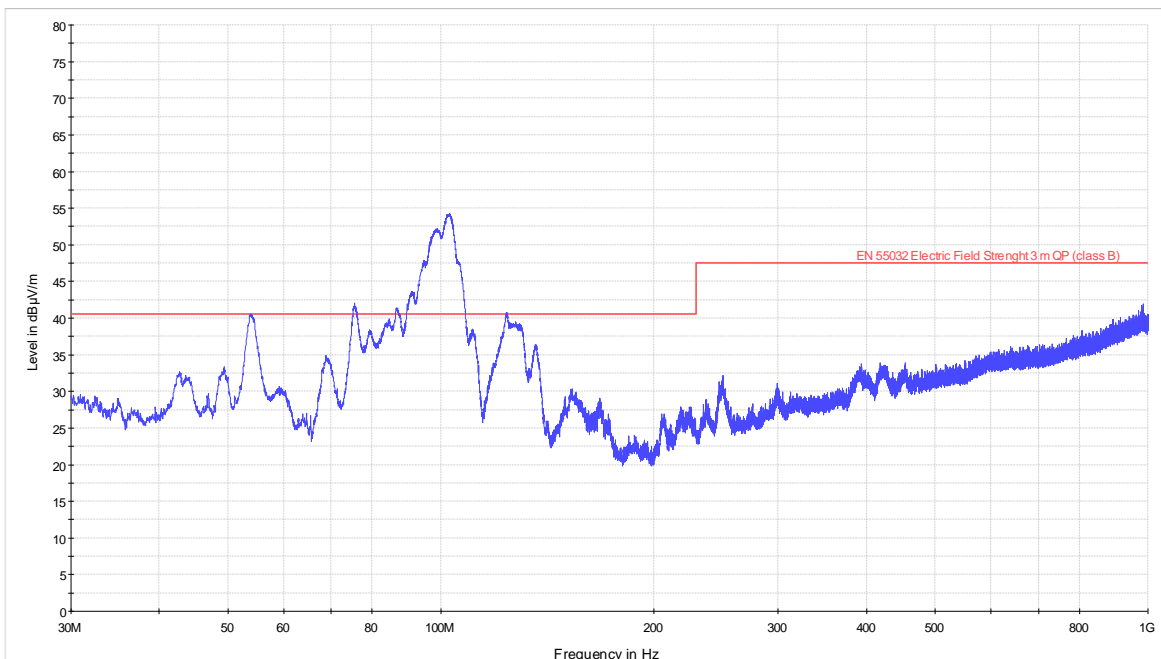
- Impedanční nepřizpůsobení zdroje rušení k vyzařujícímu kabelu nedovolí, aby se rušivá energie do kabelu vůbec dostala a byla vyzářena.
- Absorpce energie elektromagneticky ztrátovým materiálem způsobí, že rušivý proud do kabelu sice vtéká, ale část energie není vyzářena do prostoru, protože byla disipována do tepla.

# Kabely jako zdroje rušení

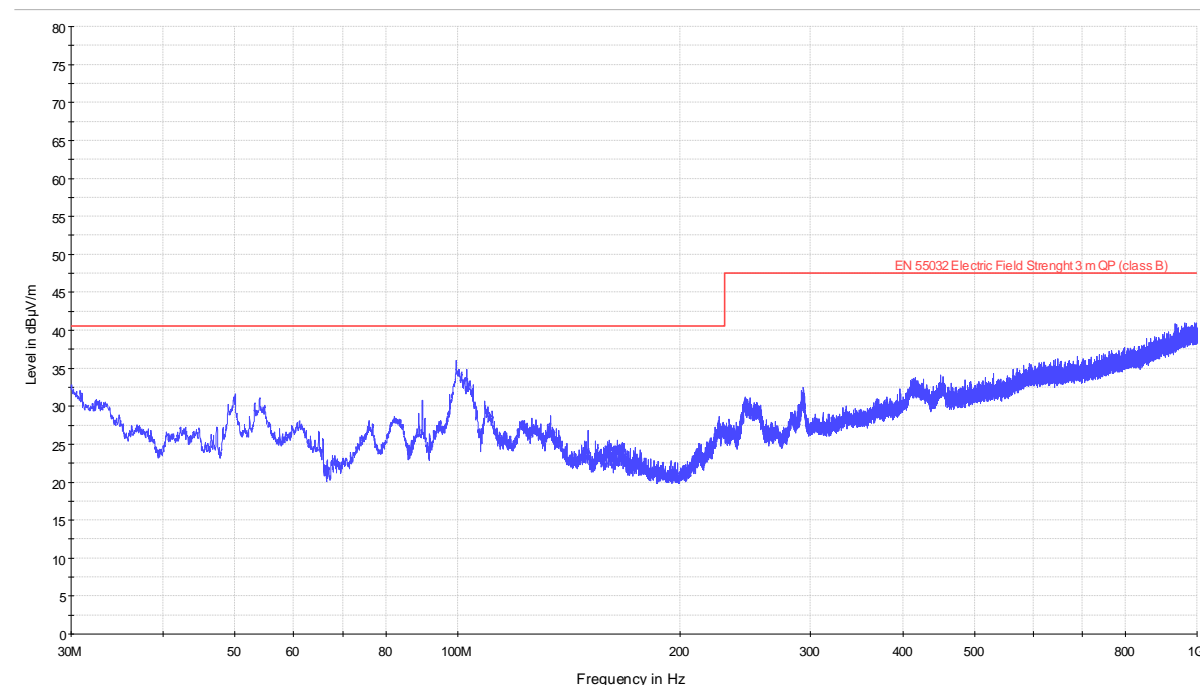


V praxi mohou nastat okolnosti, kdy se kabeláž uvnitř zařízení chová jako anténa.

↓ Zařízení před úpravou



↓ Zařízení po blokování vnitřní kabeláže ferity



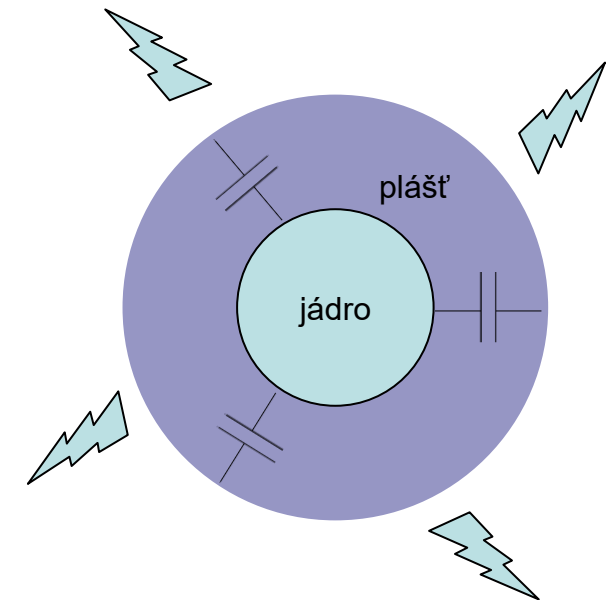


# Elektromagneticky ztrátové materiály



V případě opláštění vyzařujícího vodiče je ovšem situace složitější:

- Vzdálenost mezi vodičem a pláštěm je menší než délka vlny -> kapacitní vazba.
- Pokud je stínění vodivé, plášť kabelu se naváže na jádro přes kapacitní vazbu a sám se bude chovat jako anténa.
- Hledáme materiály kde elektrické a magnetické pole interaguje přímo s molekulami.
- V poslední době se objevují snahy oplástit kabel pryží s příměsí feritu.



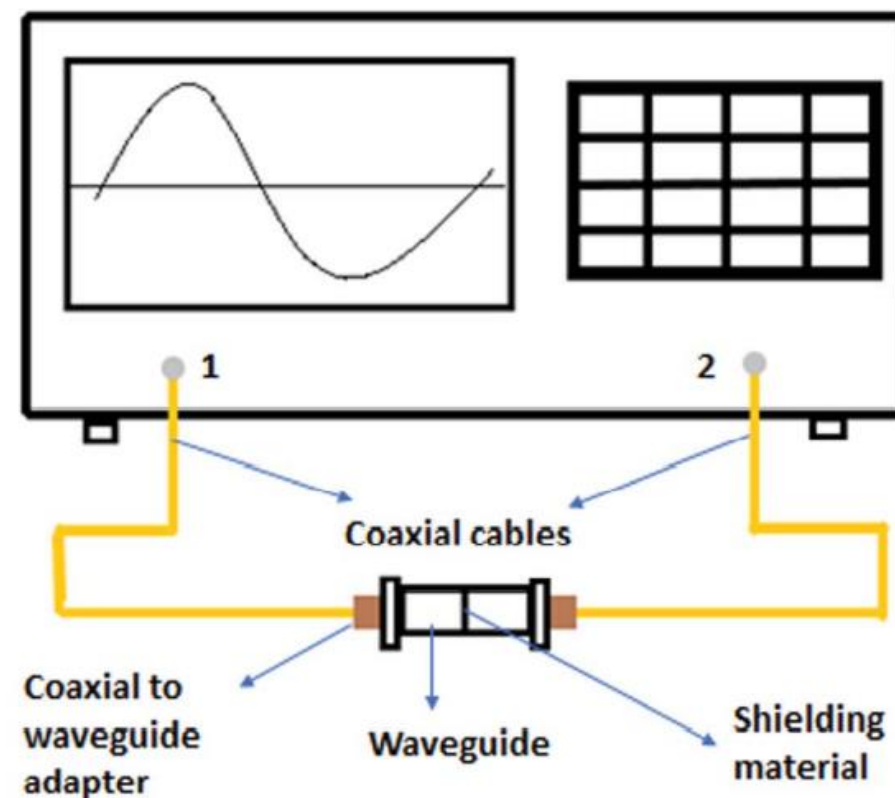
# Jak správně změřit stínicí účinnost pláště?

Naprostá většina publikací týkajících se měření stínicí účinnosti moderních kompozitních materiálů s elektromagneticky ztrátovými příměsemi používá pro posuzování jejich vlastností metodu ASTM.

Ta nám toho ovšem o tom, jak bude vyzařovat kabel obalený takovýmto materiálem, mnoho neřekne, protože se ztrátový materiál nachází v blízkém poli zářícího vodiče.



Vector Network Analyzer

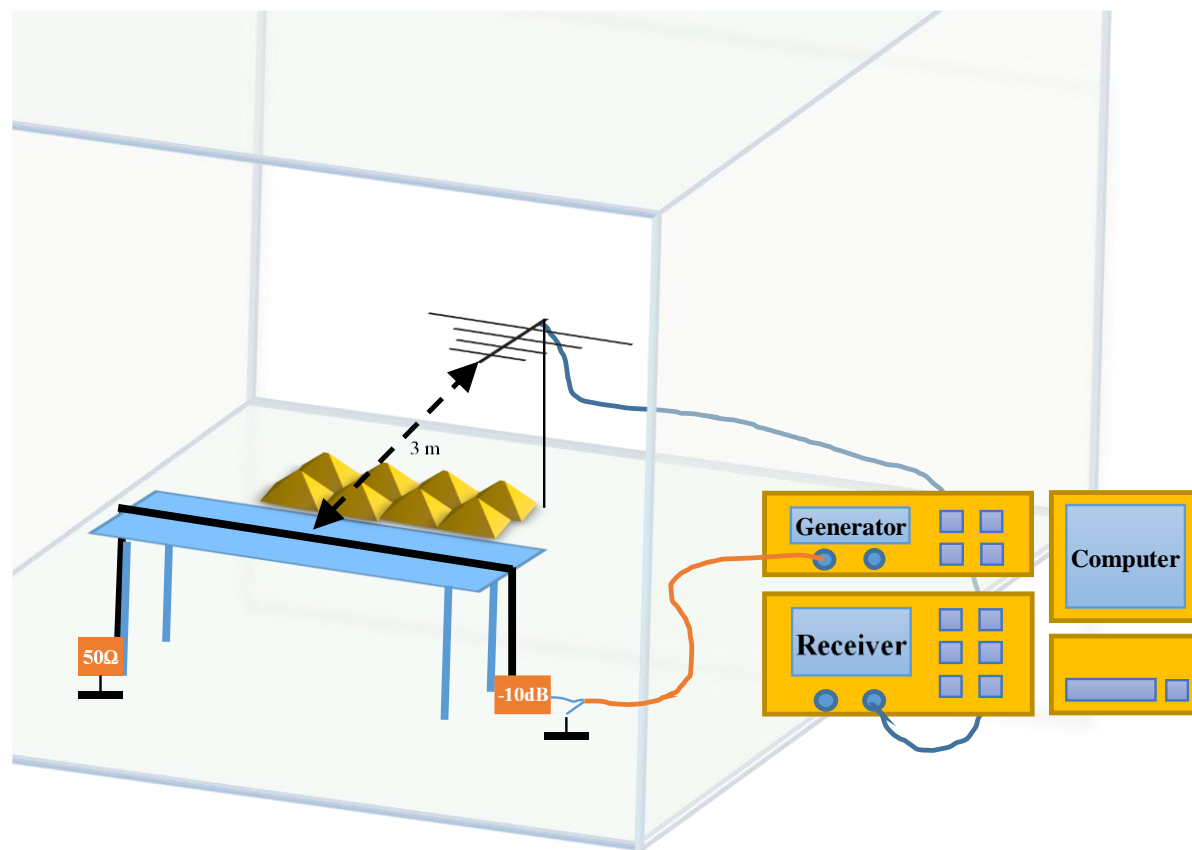


# Jak správně změřit stínicí účinnost pláště?

Nabízí se možnost simulovat „typické použití kabelu“ a provést rozdílové měření se stíněným a nestíněným kabelem.

My jsme použili vzorek kabelu dlouhý 3,5 metru, volně ložený přes měřicí stůl.

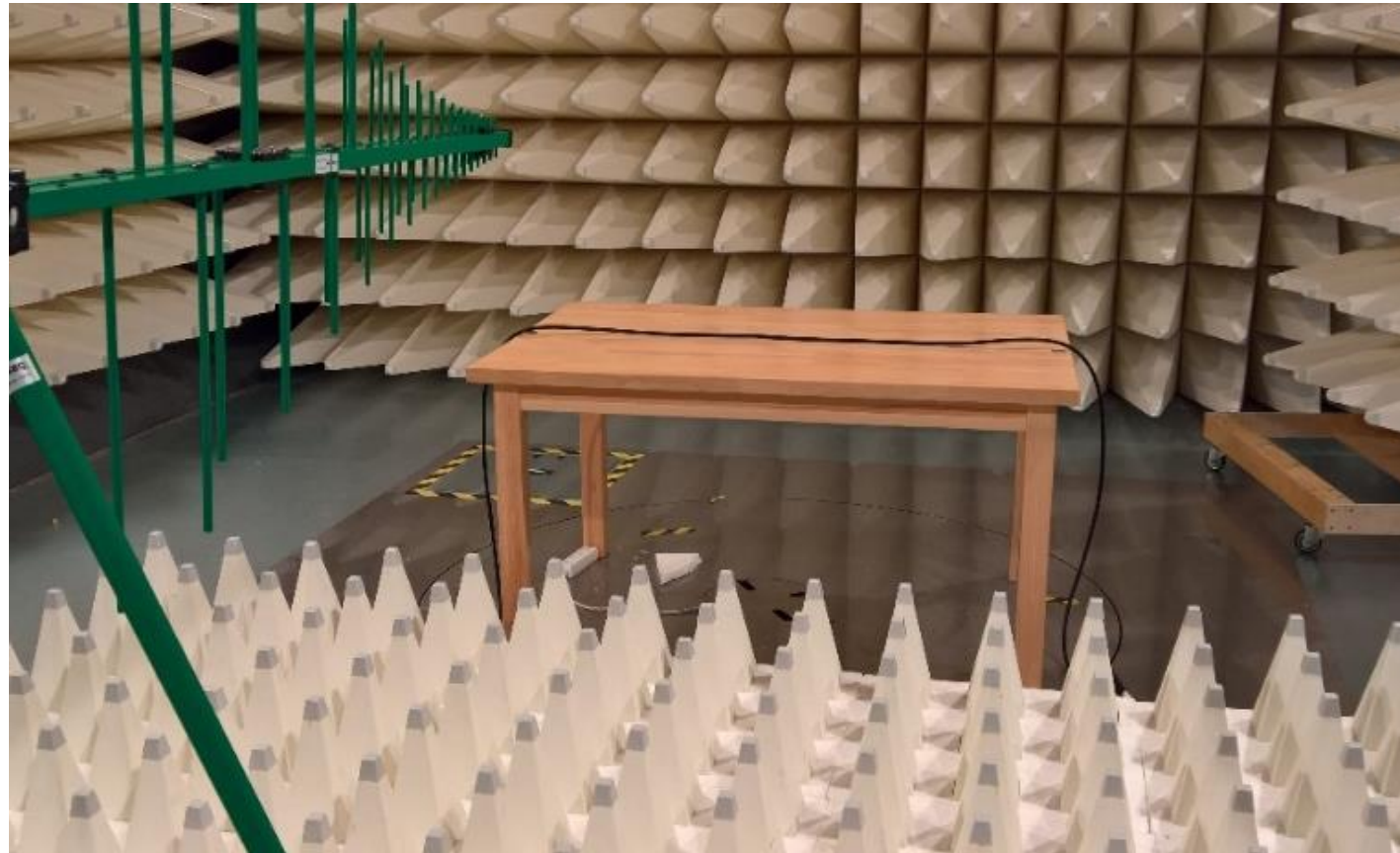
Všechny žíly jsou zapojeny paralelně, jeden konec kabelu je buzen z generátoru, druhý konec je uzemněn přes zakončovací člen  $50 \Omega$ .



# Jak správně změřit stínicí účinnost pláště?



Odrazy od podlahy alespoň částečně eliminujeme umístěním absorbérů na podlahu komory.

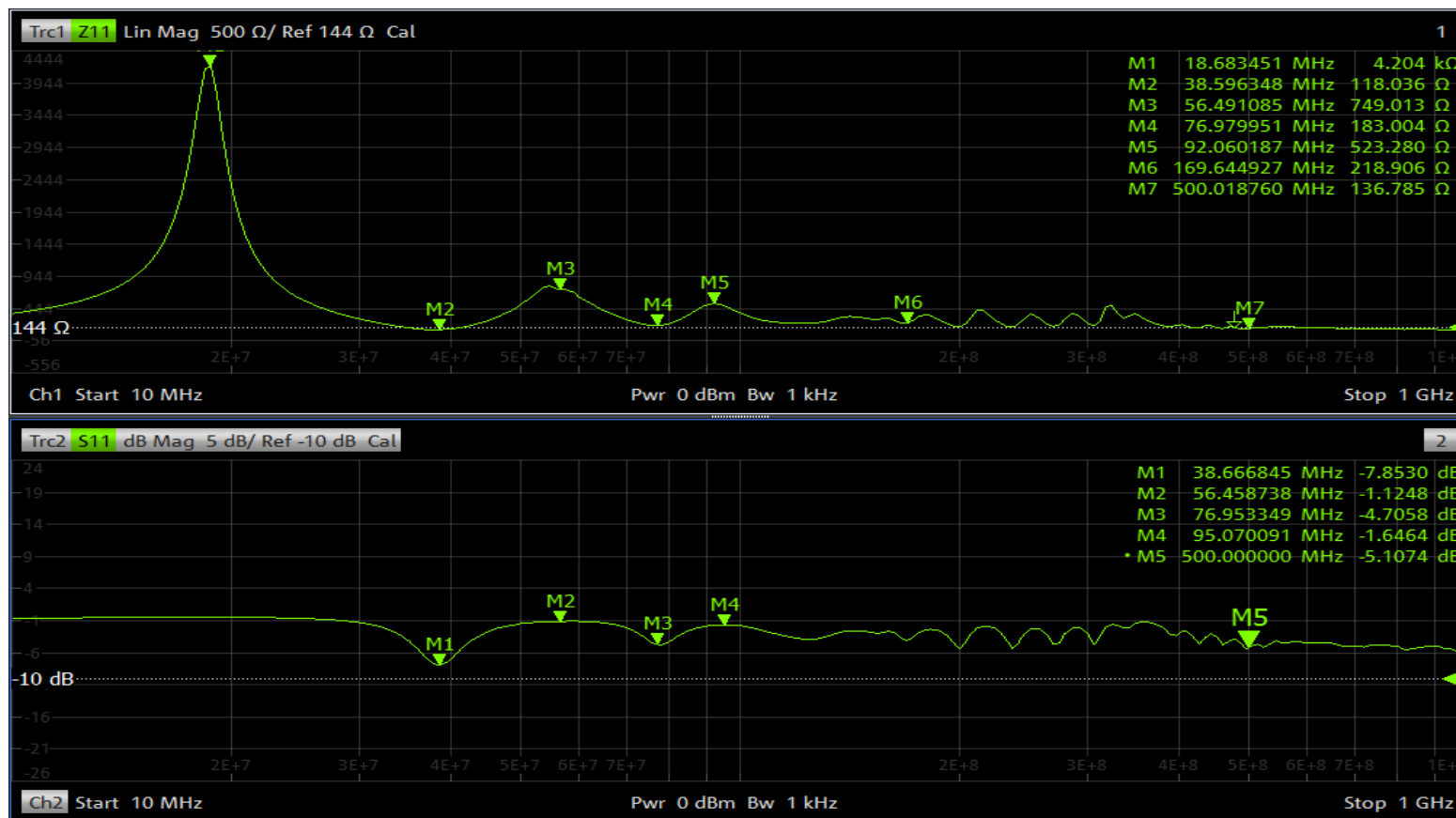


# Jak správně změřit stínící účinnost pláště?



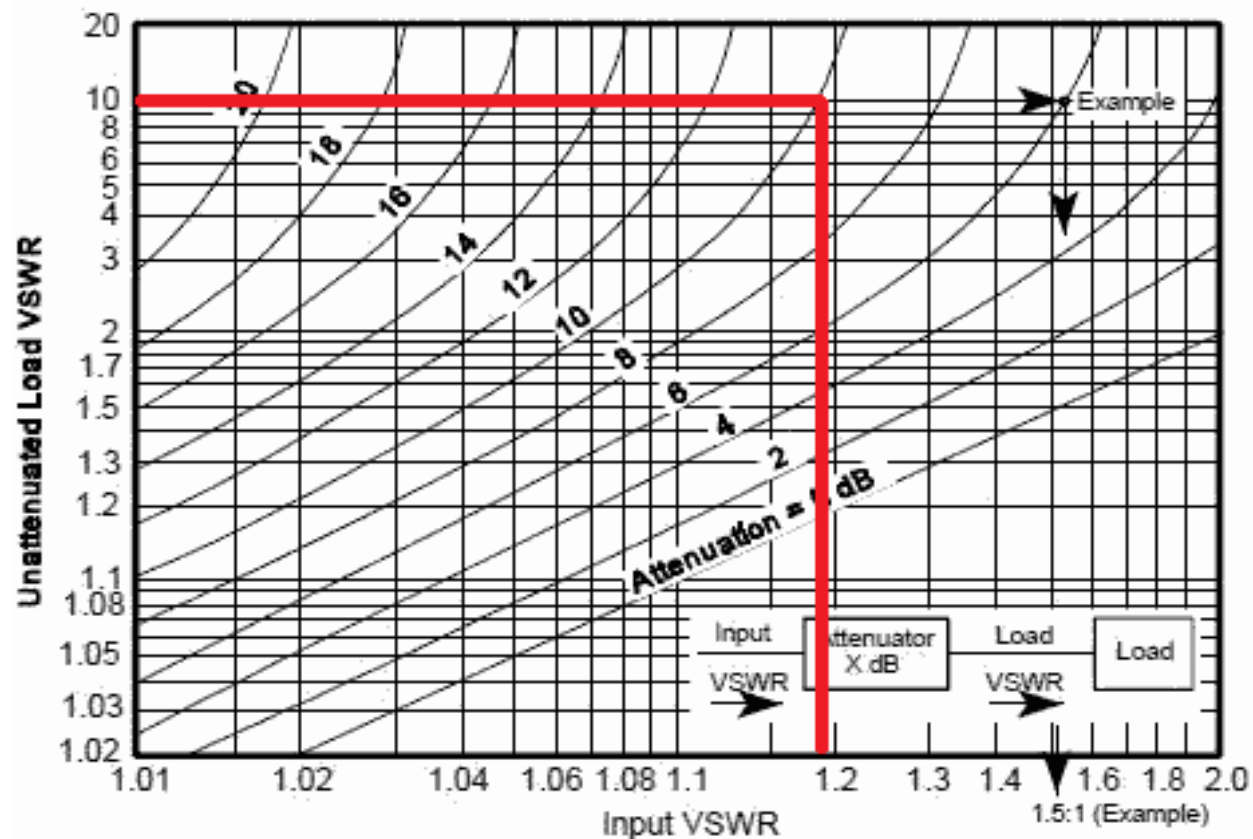
Dle předpokladů je kabel impedančně přizpůsobený zdroji (záleží na impedanci zdroje) jen pro určité frekvence (geometrie, délka,...).

Naše uspořádání svým tvarem odpovídá skládanému monopólu, jehož typická elektrická impedance je 144 Ω.



# Jak správně změřit stínicí účinnost pláště?

Vlivu impedančního nepřizpůsobení se zbavíme vložením attenuátoru s útlumem 10 dB.

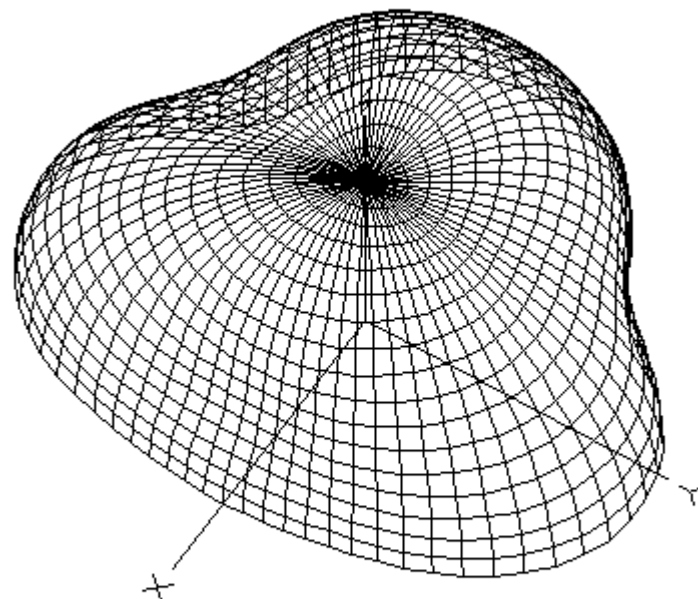


# Jak správně změřit stínící účinnost pláště?

Problém je vyzařovací  
diagram samotného kabelu –  
závisí na frekvenci, geometrii  
i na materiálu pláště



EZNEC Pro/2+



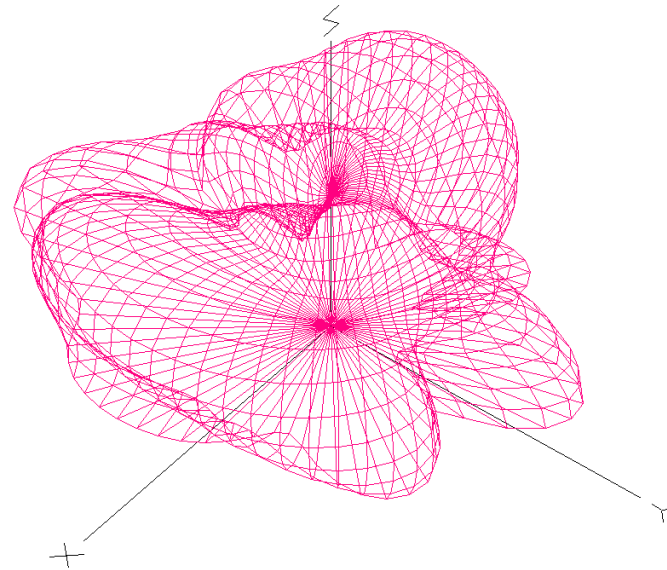
100 MHz

# Jak správně změřit stínící účinnost pláště?

Problém je vyzařovací  
diagram samotného kabelu –  
závisí na frekvenci, geometrii  
i na materiálu pláště



EZNEC Pro/2+



200 MHz

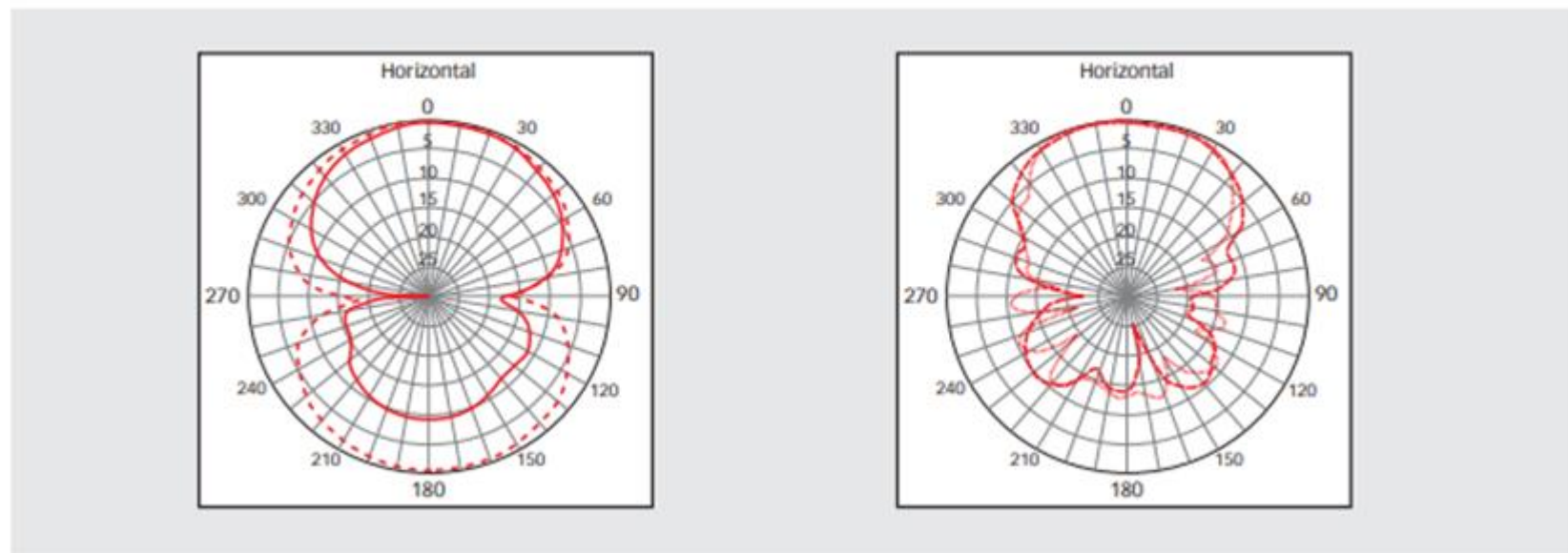


# Jak správně změřit stínící účinnost pláště?

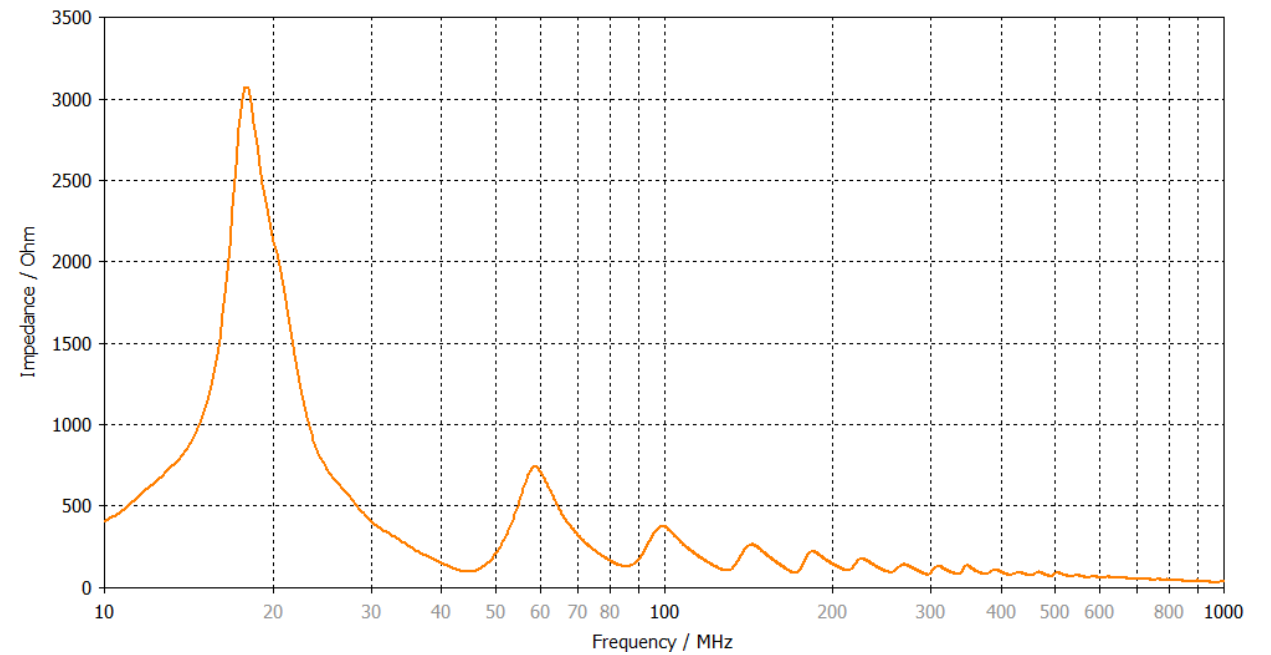
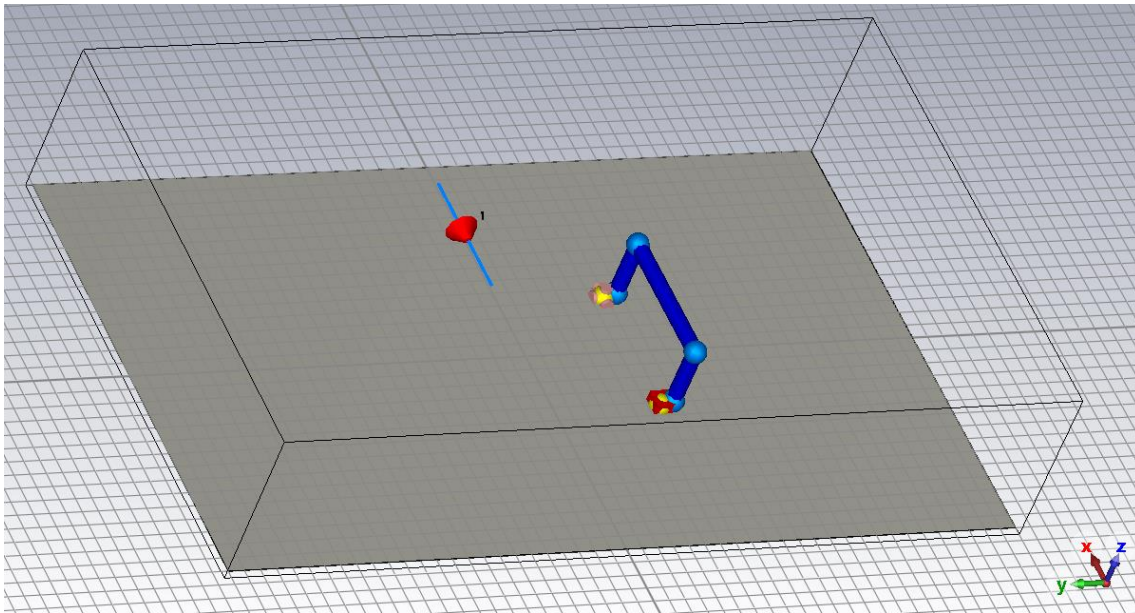


Další problém by teoreticky mohl spočívat v přijímací anténě; její směrovost je závislá na frekvenci.

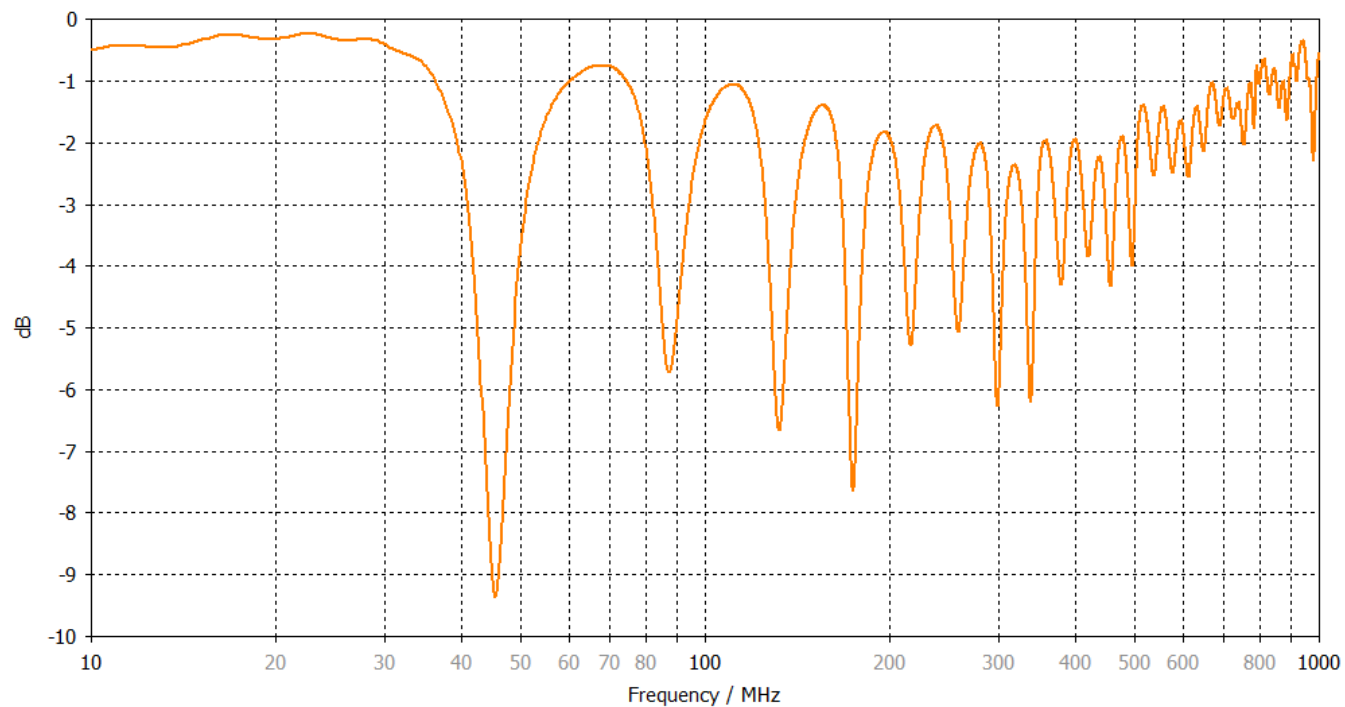
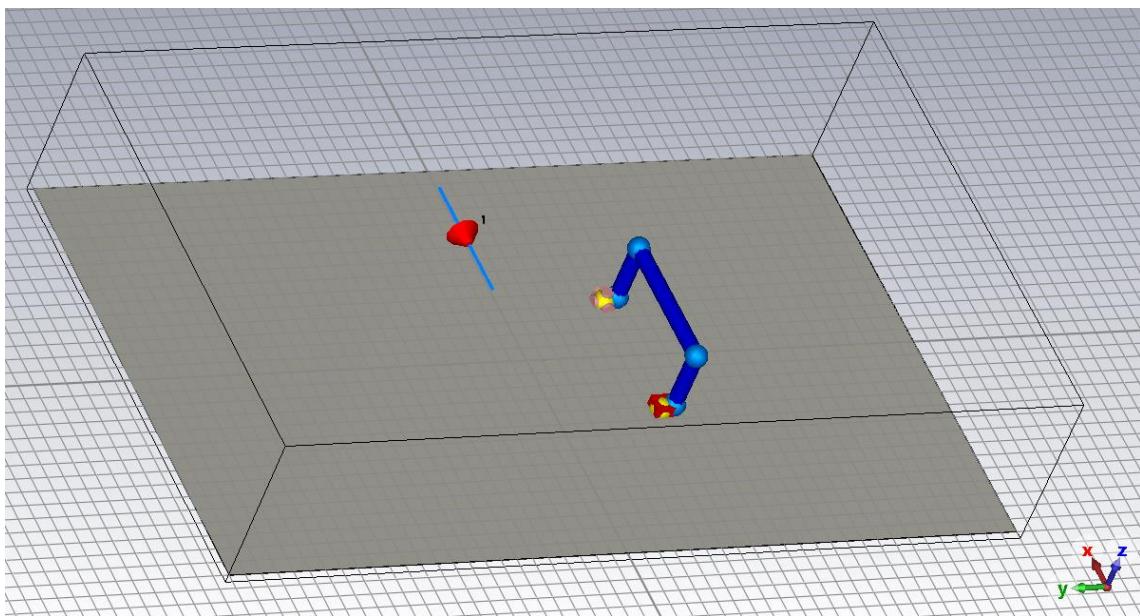
Typical E field polar patterns for - - 30, — 300, ···· 650 and - - 1000 MHz



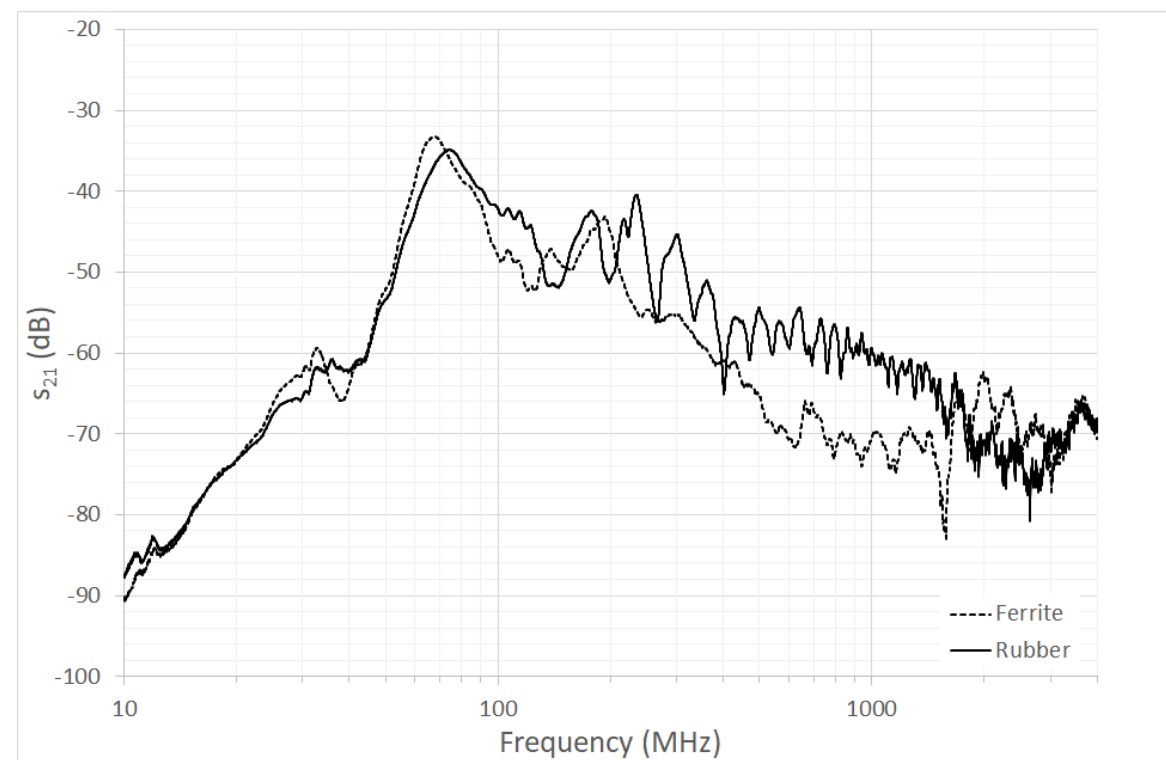
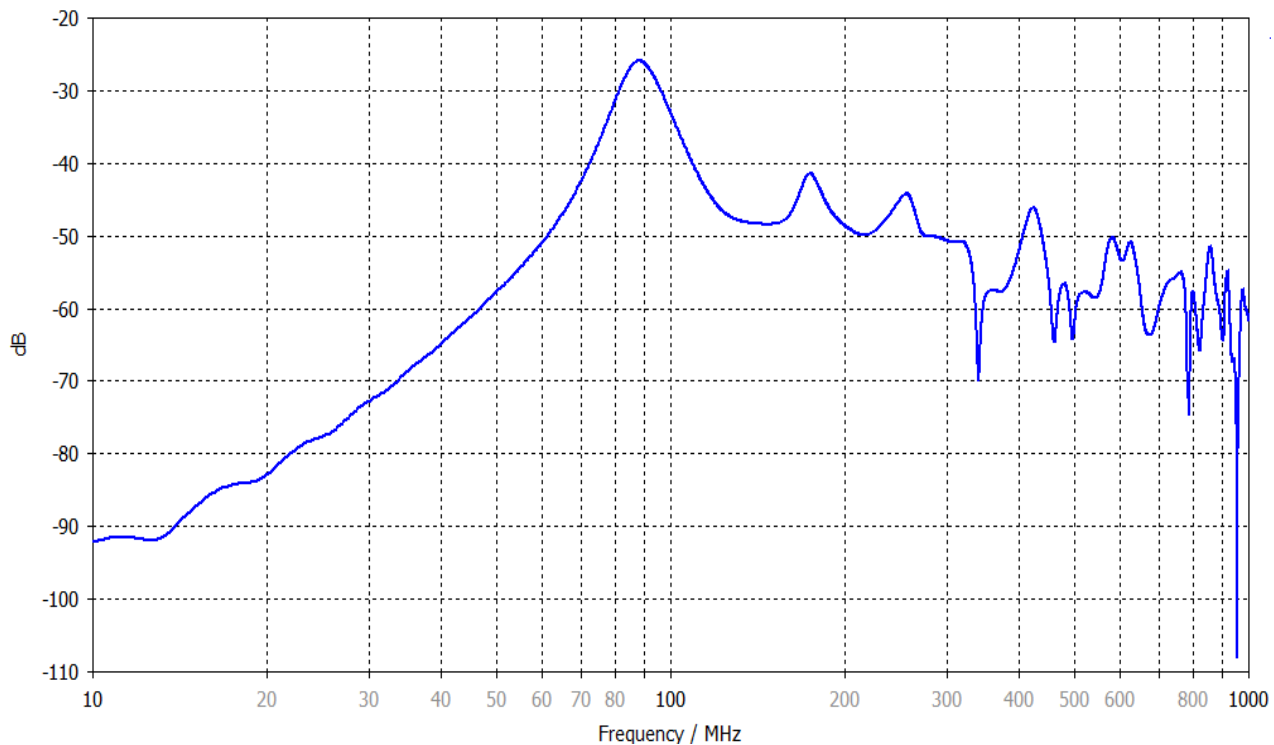
# Simulace v CST MW Studio



# Simulace v CST MW Studio

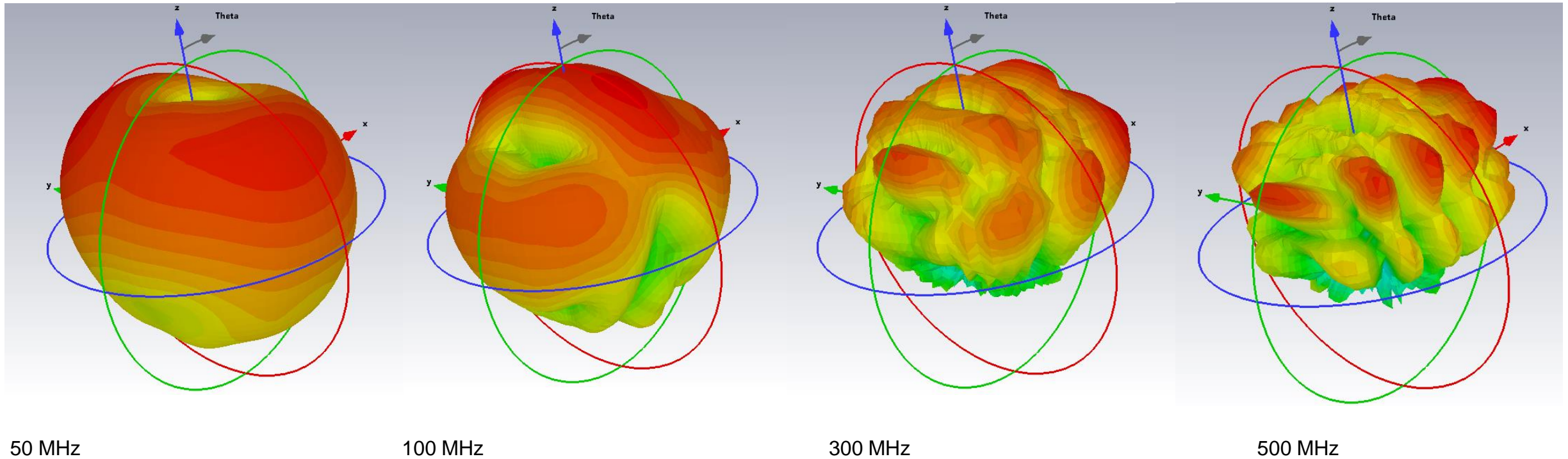


# Simulace v CST MW Studio

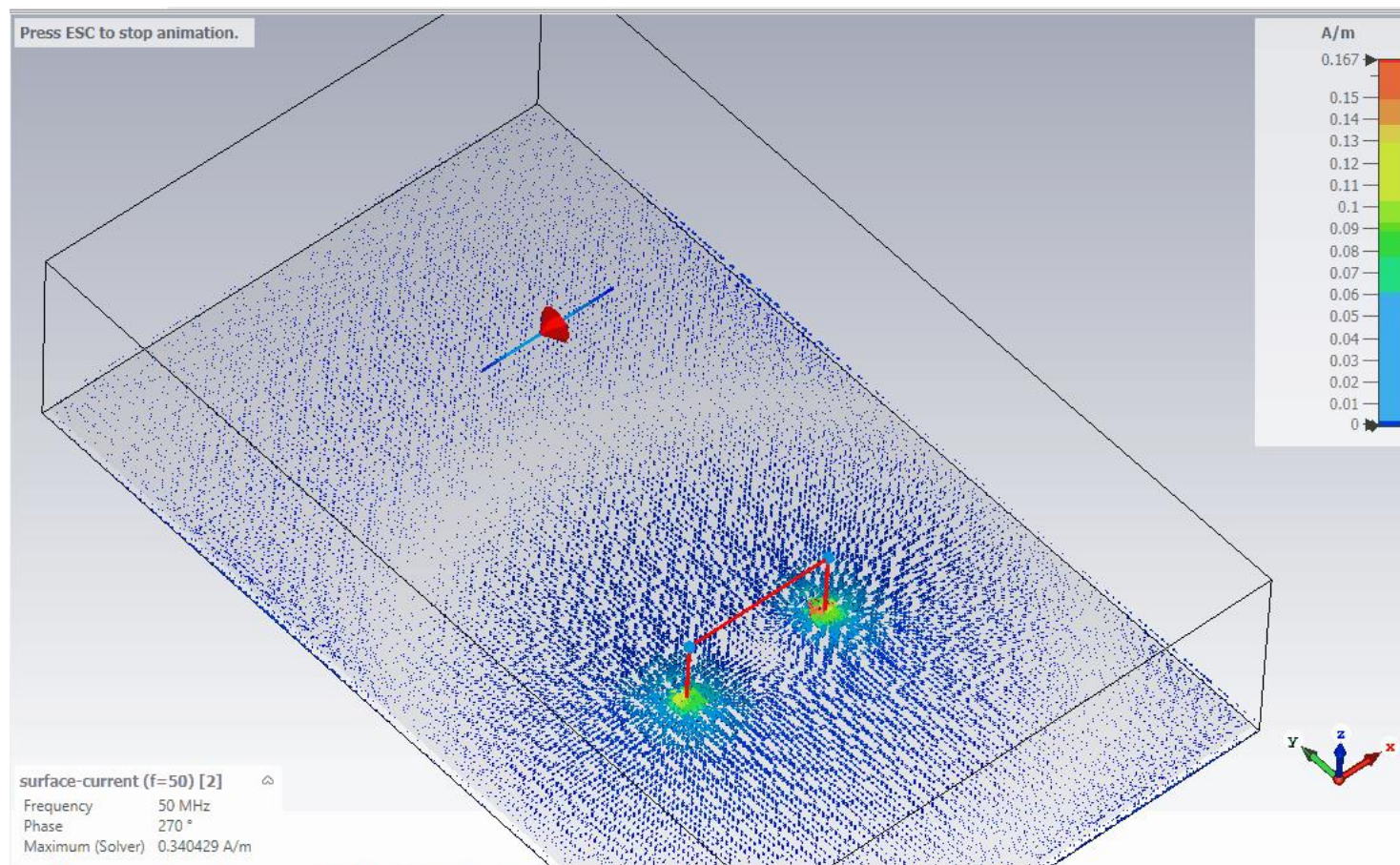


Přenos mezi rušícím kabelem a měřicí anténou: vlevo simulace, vpravo naměřené hodnoty na dvou různých vzorcích

# Simulace v CST MW Studio



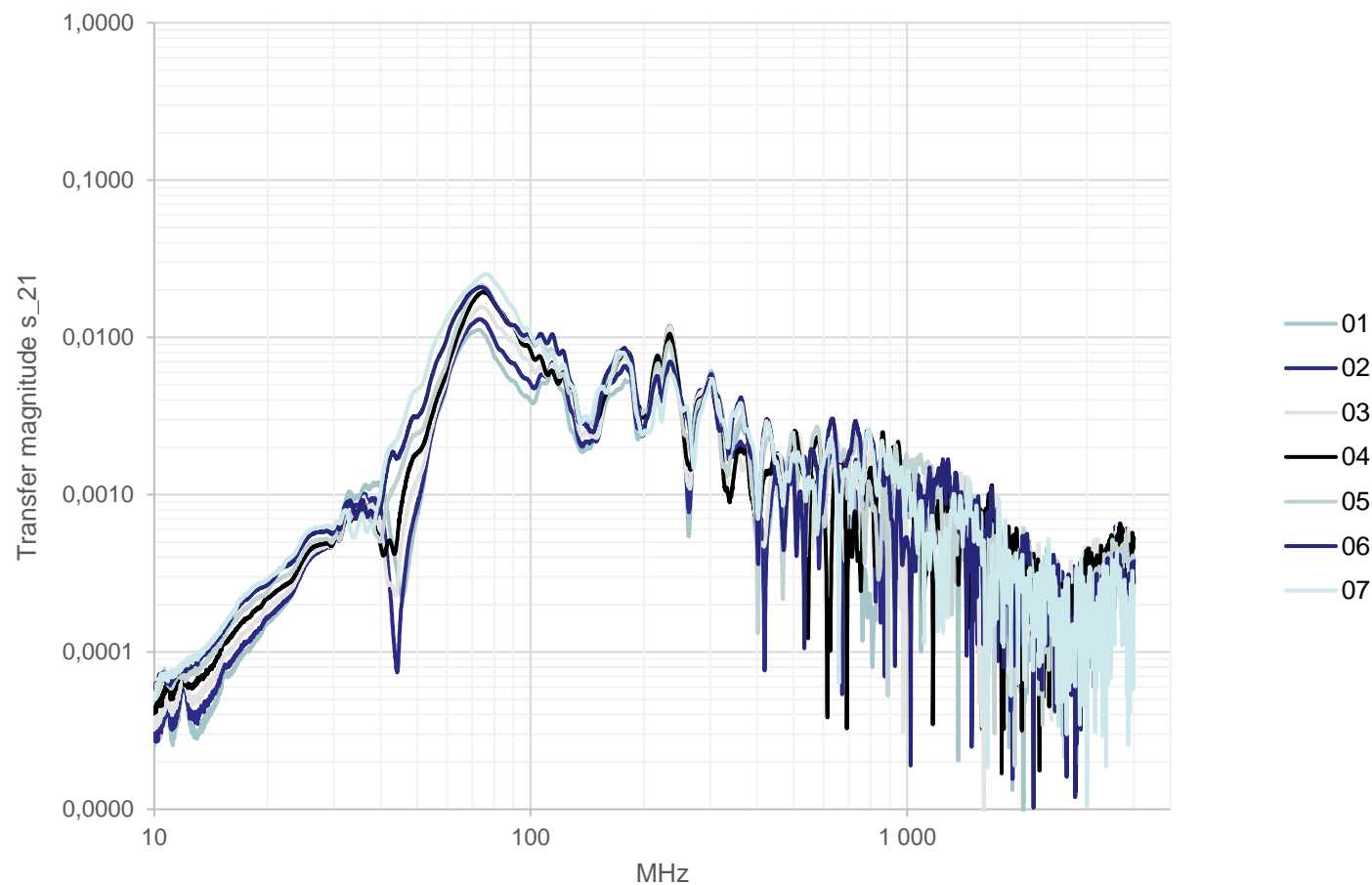
# Simulace v CST MW Studio



# Jak správně změřit stínicí účinnost pláště?

Přijali jsme následná opatření:

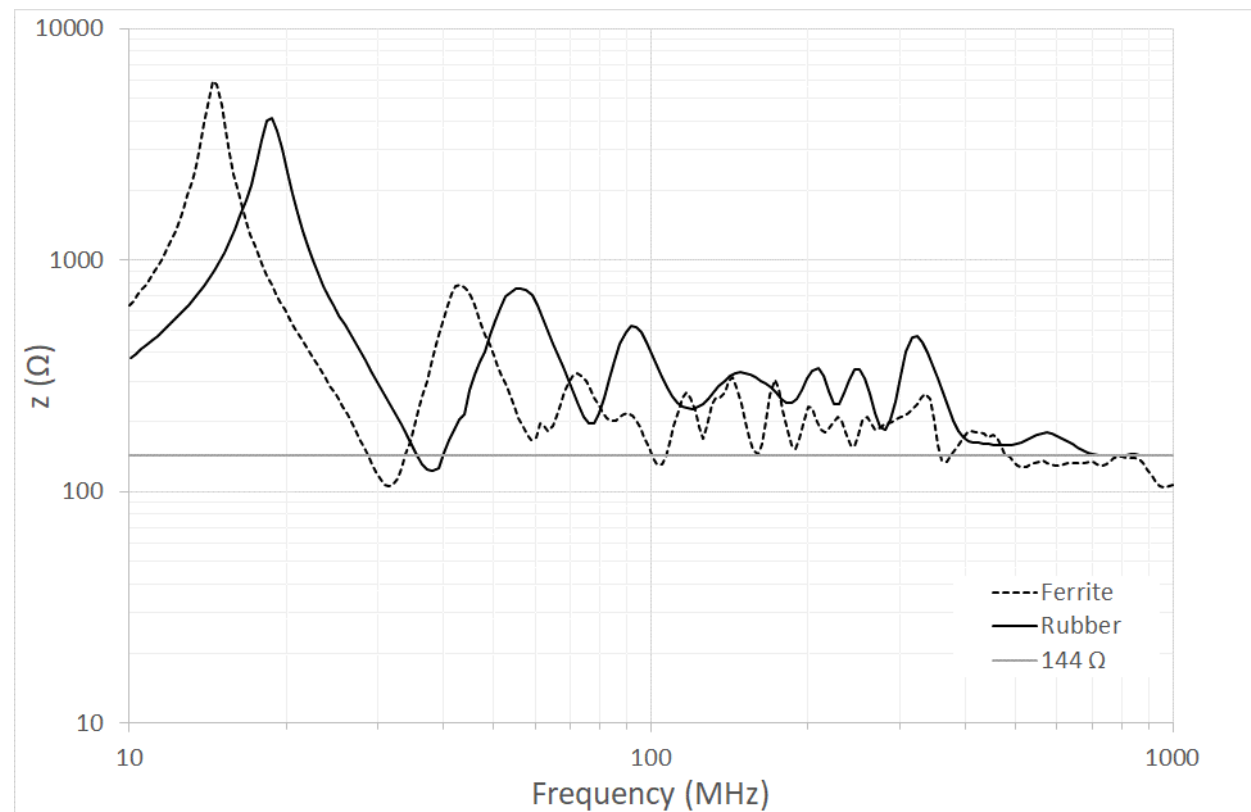
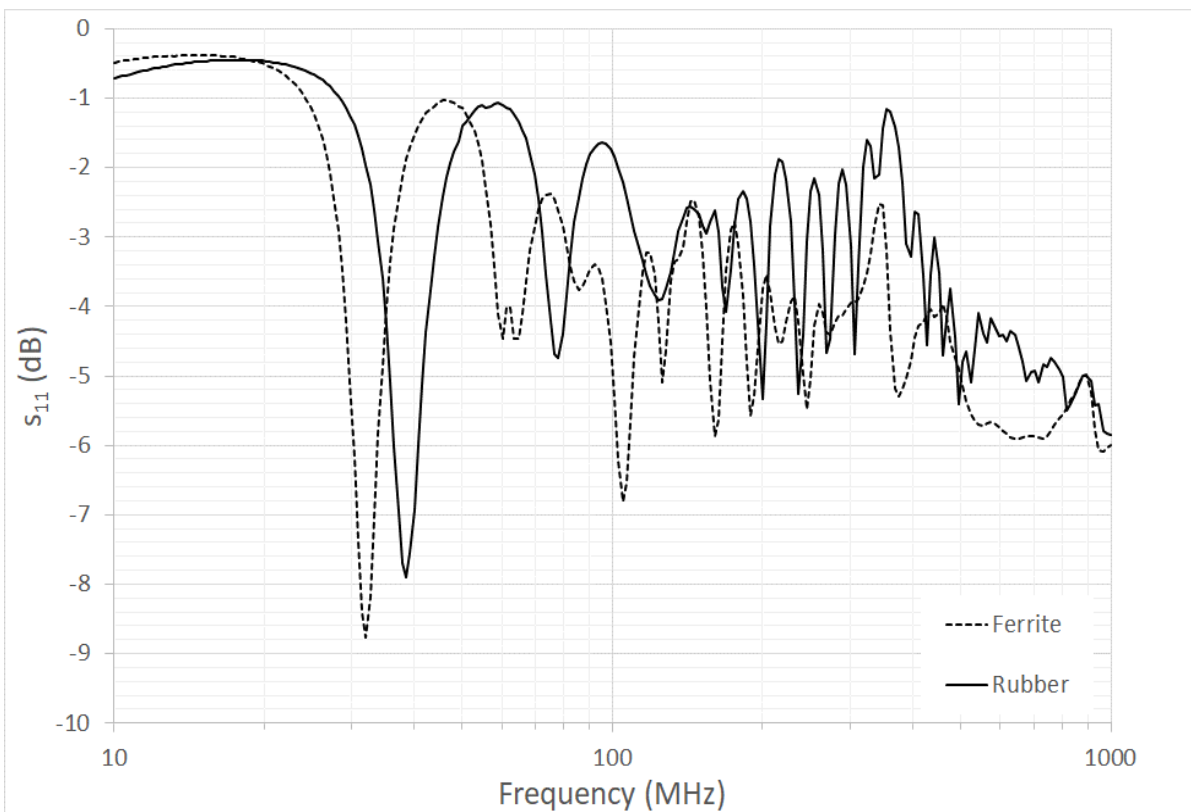
- Měří se s vertikální i horizontální polarizací antény
- Měří se v 7 různých výškách antény a naměřené hodnoty jsou normalizovány vzhledem ke vzdálenostem antény 3 metry od středu kabelu.
- Srovnáváme výsledky naměřené na feritovém plášti s etalonem bez elektromagneticky ztrátového pláště.



# Naměřené výsledky



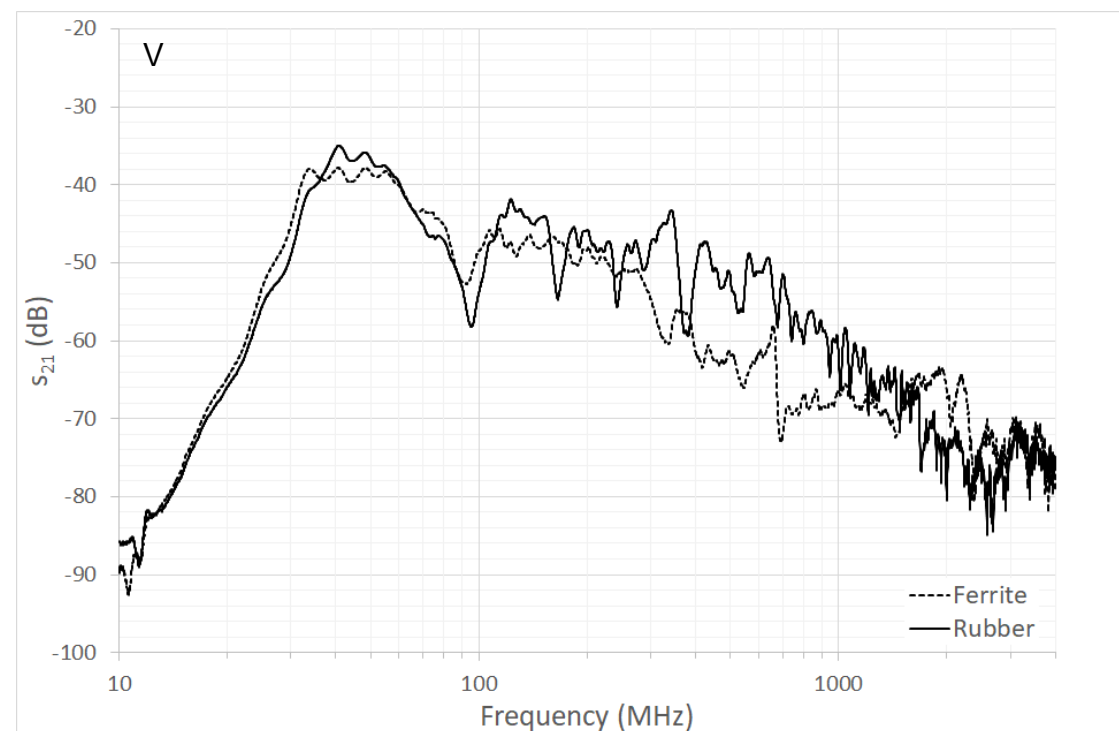
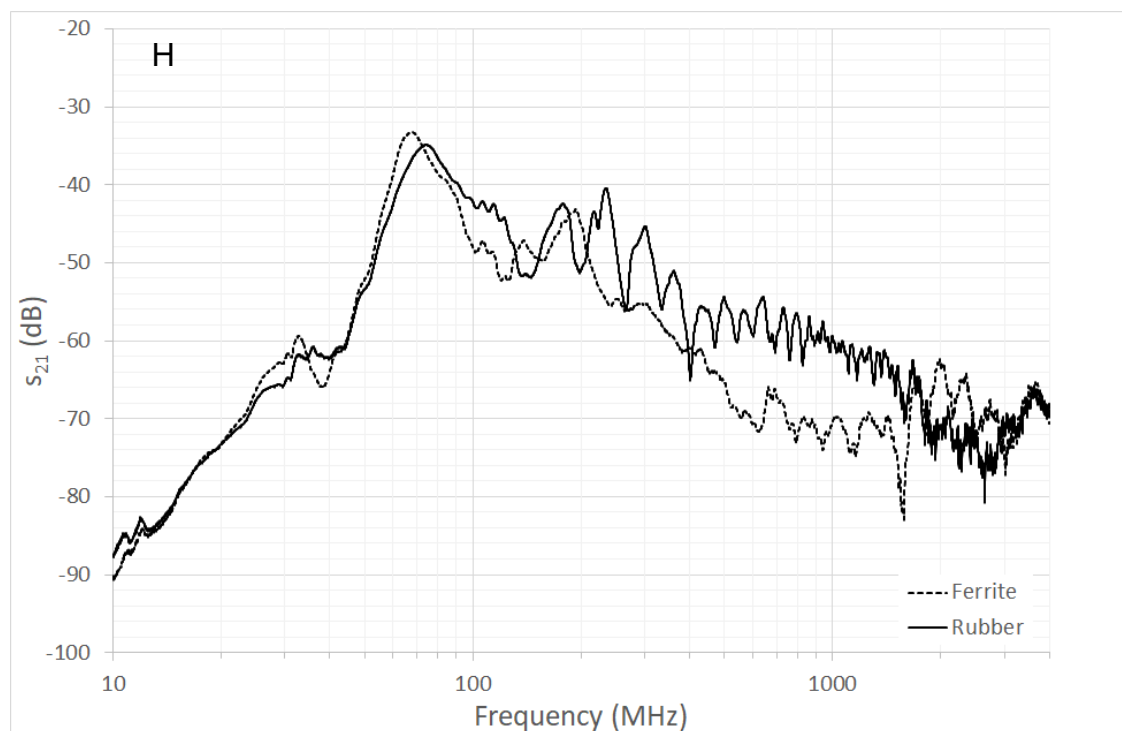
Měření na vstupním portu kabelu, souhlasné buzení





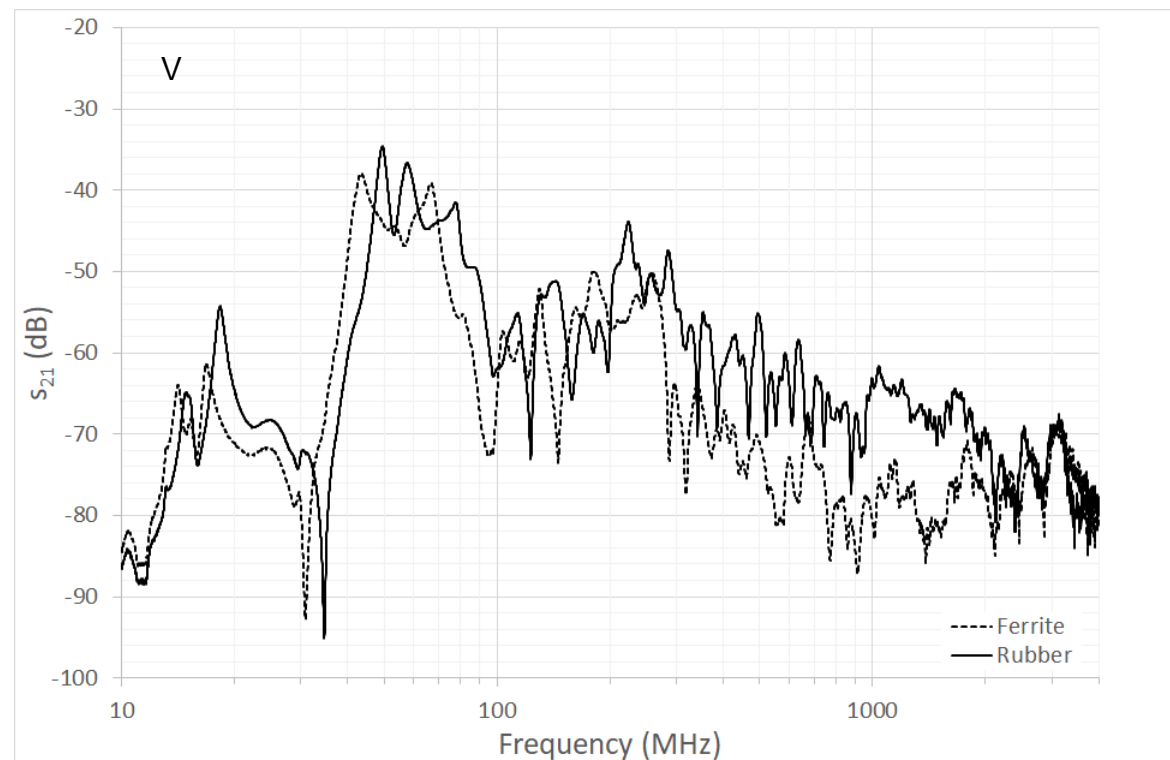
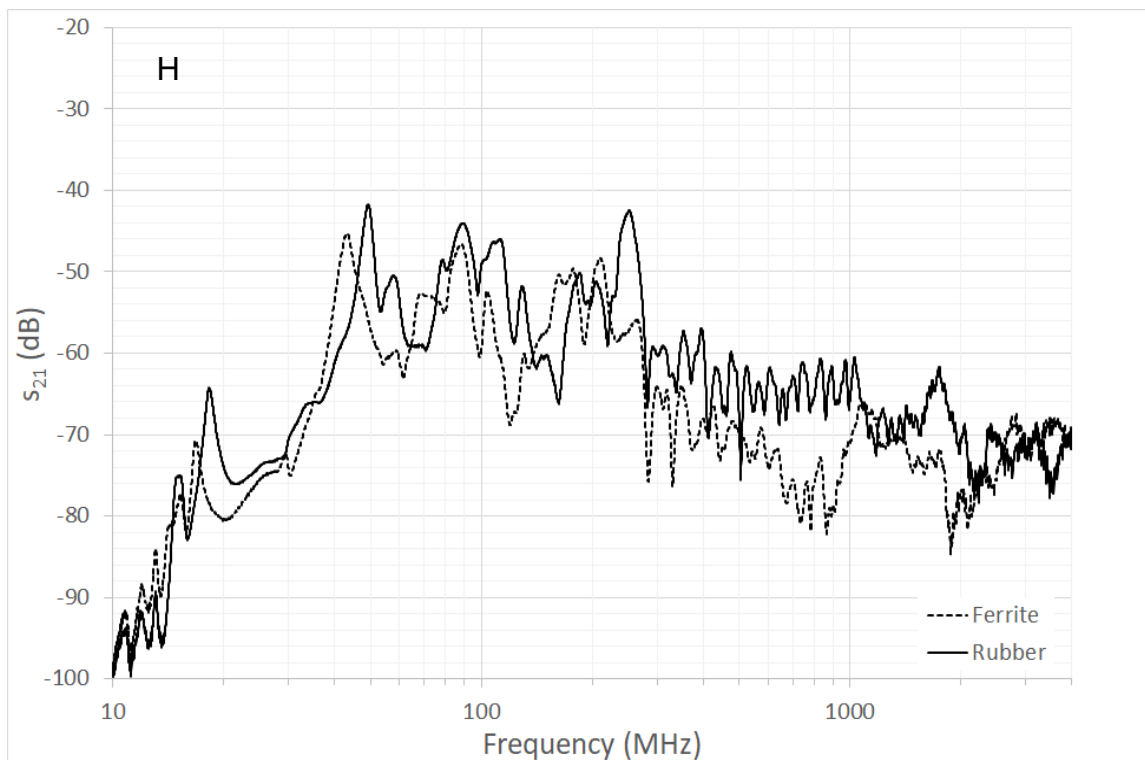
# Naměřené výsledky

Přenos mezi rušícím kabelem a měřicí anténou, souhlasné buzení



# Naměřené výsledky

Přenos mezi rušícím kabelem a měřicí anténou, rozdílové buzení



# Vyhodnocení



Kvůli deformaci frekvenční osy vlivem frekvenčně závislé permitivity a permeability pláště kabelu nelze hodnoty získané jednotlivými měřeními od sebe prostě odečíst.

Vyhodnocení vlivu pláště kabelu lze spočítat porovnáním průměrů získaných z určitého frekvenčního pásma, třeba 200 - 1 000 MHz.

$$\bar{E} = \frac{1}{\Delta f} \int_f^{f+\Delta f} E(f) df$$

Případ	Průměrné hodnoty $s_{21}$ (dB)		Stínící účinnost (dB)
	Plášť NBR	Ztrátový plášť	
Horizontální polarizace, common mode	-52,49	-59,82	7,37
Horizontální polarizace, differential mode	-57,58	-64,17	6,59
Vertikální polarizace, common mode	-50,94	-57,61	6,67
Vertikální polarizace differential mode	-56,93	-64,28	7,35

# Závěr



- V praxi se setkáváme s nechtěným vyzařováním na frekvencích, které překvapily i konstruktéry EuT.
- Vyzařování kabelů ovlivňují délka, geometrie, impedanční poměry v obvodu, ale i vlastnosti pláště.
- V současné době se teprve připravuje norma pro standardizované měření vzdáleného pole generovaného kabelem.
- Rušivé vyzařování lze omezit kroucením vodičů nebo použitím elektromagneticky ztrátových plášťů.
- Prezentovaný postup umožňuje srovnávací měření mezi různými typy kabelů z hlediska vyzářeného vzdáleného pole.
- V současné době probíhají simulace v CST Microwave studio s cílem validace výsledků měření.
- Do budoucna:
  - Vytvořit přesný model přijímací antény (Teseq Bilog CBL 6112).
  - Upravit zemnění tak, aby zpětný proud netekl podlahou komory.
  - Zobecnit úlohu na vícežilové kroucené kabely.

# Literatura



1. J. Kruzalak, A. Kvasnicakova, K. Hlozekova and I. Hudec, "Progress in polymers and polymer composites used as efficient materials for EMI shielding", *Nanoscale Advances*, 2021, 3, pp. 123-172, DOI: 10.1039/d0na00760a.
2. B. Deutschmann, G. Winkler and P. Kastner, "Impact of electromagnetic interference on the functional safety of smart power devices for automotive applications", *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 2018, 135 (4-5), pp. 352-359.
3. M. Pospisilik, *Introduction to Electromagnetic Compatibility for Electronic Engineers ... and not only for them*. Zlín: Tomas Bata University in Zlín, 2019. ISBN 978-80-7454-876-5.
4. P. Marthir, S. Raman, "Electromagnetic Interference (EMI): Measurement and Reduction Techniques", *Journal of Electronic Materials*, 2020, 49, pp. 2975–2998.
5. M. S. Sarto and A. Tamburrano, "Innovative test method for the shielding effectiveness measurement of conductive thin films in a wide frequency range," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 48, no. 2, pp. 331-341, May 2006, doi: 10.1109/TEMC.2006.874664.
6. *Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials*, ASTM International, Book of Standards 10.02, 2018, DOI: 10.1520/D4935-18.
7. J. Kruzalak, A. Kvasnicakova, K. Hlozekova, R. Dosoudil, M. Goralik and I. Hudec, "Electromagnetic Interference Shielding and Physical-Mechanical Characteristics of Rubber Composites Filled with Manganese-Zinc Ferrite and Carbon Black". *Polymers* 2021, 13.
8. M. A. do Amaral Junior, J. S. Marcuzzo, B. da Silva Pinheiro, B. H. K. Lopes, A. P. S. de Oliveira, J. T. Matsushima and M. R. Baldan, "Study of reflection process for nickel coated fiber felt applied with electromagnetic interference shielding", *Journal of Material Research nad Technology*, Vol. 8, Issue 5, 2019, pp. 4040-4047.
9. V. Udmale, D. Mishra, R. Gadhave, D. Pinjare and R. Yamgar, "Development trends in conductive nanocomposites for radiation shielding", *Oriental Journal of Chemistry*, 2013, 29(3), pp. 927–936.
10. Y. J. Yim, Y. M. Baek and S. J. Park, "Influence of nickel layer on electromagnetic interference shielding effectiveness of CuS-polyacrylonitrile fibers", *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 2018, 39, pp. 1406–1411.
11. C. H. Cui, D. X. Yan, H. Pang, X. Xu, L. C. Jia and Z. M. Li, "Formation of a segregated electrically conductive network structure in a low-melt-viscosity polymer for highly efficient electromagnetic interference shielding", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2016, 4, pp. 4137–4145.
12. W. C. Yu, J. Z. Xu, Z. G. Wang, Y. F. Huang, H. M. Yin, L. Xu, Y. W. Chen, D. X. Yan and Z. M. Li, "Constructing highly oriented segregated structure towards high-strength carbon nanotube/ultrahigh-molecular-weight polyethylene composites for electromagnetic interference shielding", *Composites, Part A*, 2018, 110, 237–245.
13. Li M, Wang S, Guo J, "Suppression Approaches of Far-Field Radiated Emission Using Common-Mode Inductor", *Journal of Electronics and Advanced Electrical Engineering*, 1(2), 2020, pp. 1-5. <https://dx.doi.org/10.47890/JEAEE/2020/MengziLi/11120006>.
14. S. Shinde, K. Masuda, G. Shen, A. Patnaik, T. Makharashvili, D. Pommerenke and V. Khilkevich, "Radiated EMI estimation from DC–DC converters with attached cables based on terminal equivalent circuit modeling." *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 60(6), 2018, pp. 1769-1776.
15. J. Ji, D. Zhang, J. Lu and P. Luo, "Far-Field Radiated EMI Modeling of Frequency Converter Considering Coupling Effect between Cables," 2021 IEEE 1st International Power Electronics and Application Symposium (PEAS), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/PEAS53589.2021.9628638.
16. H. W. Ott, *Electromagnetic compatibility engineering*. Hoboken: Wiley, c2009. ISBN 978-0470189306.

# Literatura



17. S. M. Sandler, Power integrity: measuring, optimizing and troubleshooting power related parameters in electronics systems. New York: McGraw-Hill Education, 2014, ISBN 978-0-07-183099-7.
18. J. F. Dawson, A. C. Marvin, M. P. Robinson and I. D. Flintoft, "On the Meaning of Enclosure Shielding Effectiveness," 2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), 2018, pp. 746-751, doi: 10.1109/EMCEurope.2018.8485121.
19. M. Pospisilik, S. Kovar and V. Kresalek. "Dataset of response of a semi anechoic room Frankonia SAC 3 plus driven by the electric field". Data in Brief. 2018, 21, 234-239. ISSN 2352-3409.
20. M. Pospisilik, M. Adamek and P. Neumann, "Influence of the antenna's height to the standing waves ratio when performing the electromagnetic susceptibility tests in anechoic chambers". In: Lecture Notes in Electrical Engineering. Dubrovnik: Springer Verlag, 2018, pp. 161-167. ISSN 1876-1100.
21. M. Pospisilik, J. Soldan and M. Adamek, "Influence of the Properties of a Real Semi Anechoic Chamber on an Internal Electromagnetic Field Distribution". In WSEAS Transactions on Systems, vol. 14. 2015, ISSN 1109-2777.
22. M. Pospisilik, R. Silva and M. Adamek, "Maple Algorithm for Damping Quality of Anechoic Chambers Evaluation", In International Journal of Mathematics and Computers in Simulation, vol. 10. ISSN 1998-0159.
23. M. P. Robinson et al., "Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures," in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 40, no. 3, pp. 240-248, Aug. 1998, doi: 10.1109/15.709422.
24. S. Kovar, J. Valouch, M. Adamek and P. Zacek, "Shielding Protection Comparison for Security Cameras Lenses," 2018 22nd International Conference Electronics, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ELECTRONICS.2018.8443631.
25. P. Skocik, M. Pospisilik, V. Kresalek, M. Adamek, Indirect measurement of shielding effectiveness of an enclosure for a security camera. In Measurement Science Review, 20, 2020, ISSN 1335-8871.
26. M. Jaroszewski, S. Thomas and A. V. Rane, Advanced Materials for Electromagnetic Shielding. Fundamentals, Properties and Applications, John Wiley & Sons, Inc., 1st edn, 2019.
27. Y. Tao, P. Li and S. Q. Shi, Effects of carbonization temperature and component ratio on electromagnetic interference shielding effectiveness of woodceramics, Materials, 2016, 9, 540.
28. C. Dong, X. Wang, P. Zhou, T. Liu, J. Xie and L. Deng, Microwave magnetic and absorption properties of M-type ferrite BaCo<sub>x</sub>Ti<sub>x</sub>Fe<sub>12-2x</sub>O<sub>19</sub> in the Ka band, In Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2014, 354, 340–344.
29. Radio Club OK2KOJ. Antennas and their feeder lines [Antény a napaječe]. 2016. Brno University of Technology. Online presentation available at: [https://www.radio.feec.vutbr.cz/ok2koj/kurz/06\\_anteny\\_a\\_napajece.pdf](https://www.radio.feec.vutbr.cz/ok2koj/kurz/06_anteny_a_napajece.pdf).
30. S. O'Neil.. Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook. Naval Air Warfare Center Weapons Division. USA. ISBN: 9781782665243
31. CISPR 16: 2019. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. International standard. International Electrotechnical Commission.
32. L. B. Cebik. What is a Folded Monopole? Skirting the Issue. Online tutorial available at: <http://on5au.be/content/a10/wire/fomo.html>.



**Děkuji za pozornost**