

# Historie, současnost a budoucnost anténní techniky

Miloš Mazánek  
ČVUT Praha, katedra elektromagnetického pole  
[mazanekm@fel.cvut.cz](mailto:mazanekm@fel.cvut.cz)

## Úvod

- Fyzikální limity platí.
- Rozdílná je pouze jejich (fyzikálních limitů) možná interpretace.
- Perspektiva existence antén jako analogového prvku soustavy.
- Až kam je anténa analogová – a co řízení (digitální) antén (velké řady, soustavy).
- Co to je to nová anténa? Viz historický přehled na konci
- Často se snažíme o složitou aplikaci v radiovém spektru ve srovnáním s možnostmi optické části spektra

## Trochu teorie

- Vstupní impedance, vyzařovací odpor/impedance, impedance záření, účinnost, vlivy konstrukce a okolí antény

Impedance na vstupu antény resp. impedance kterou antény vidí jako zátěž prostoru do kterého vyzařuje

- Směrová/vyzařovací charakteristika, polarizace

Komplexní vektor určující amplitudu, fázi a orientaci pole

- Směrovost, zisk

Jednou hodnotou vyjádřená směrová charakteristika ke vstupu/výstupu antény

- Šumová teplota antény a další speciální parametry

Specifický parametr přijímací antény zahrnující vliv prostředí okolo

## Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

### Obecně

Co lze očekávat - nové technologie, nové materiály, nové výpočetní algoritmy, nové aplikace

Co je méně pravděpodobné - pokročilejší syntéza antén

Rozvoj návrhových prostředků typu MAGUS  
<http://www.antennamagus.com>

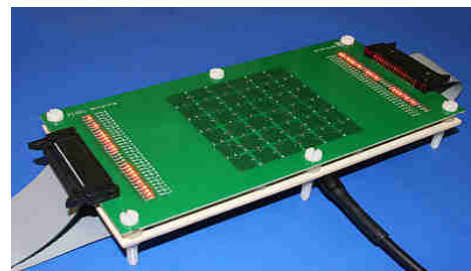
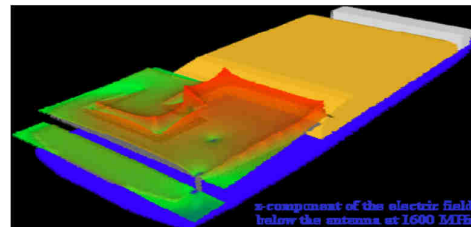
Co asi nelze hned očekávat - nové konstrukce antén

# UWB aplikace rychlost přenosu

- zasahují v tomto pojetí do všech aplikací dále – i když ne výlučně
- V radiové komunikaci
- Internet věcí
- Lékařských aplikacích – senzory v těle
- V širokopásmových anténních řadách Frequency Diverse Array Antennas
- Kompozitní antény – slučují pro pásmo FCC 3.1 až 10,7 GHz mikropásková struktura x štěrbinina x dielektrický rezonátor

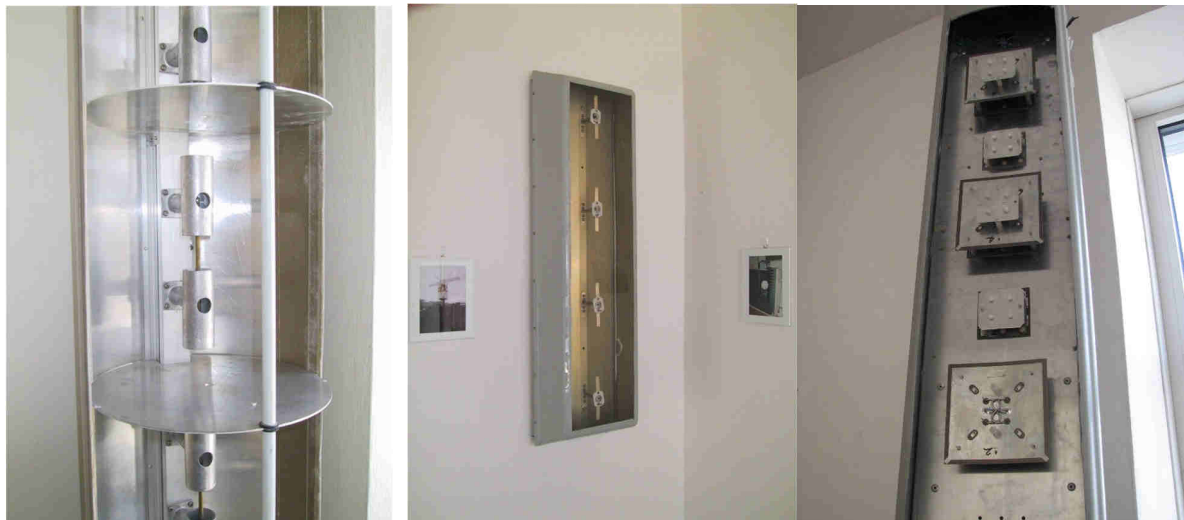
## Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

### Personální mobilní komunikace



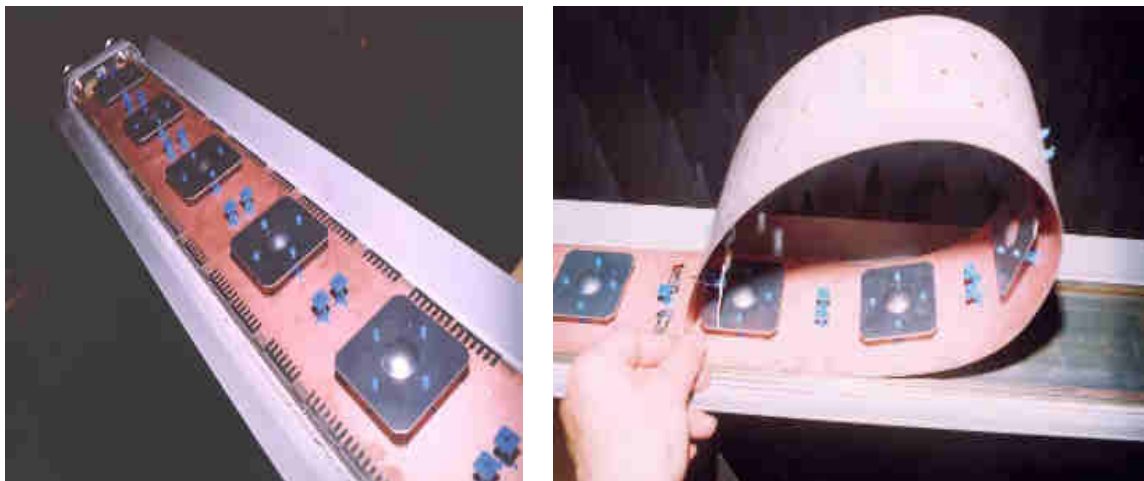
# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

## Personální mobilní komunikace - historie



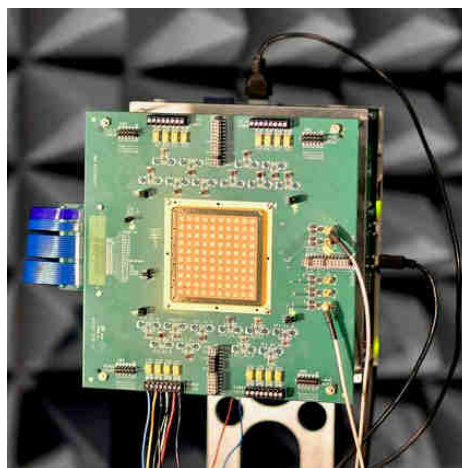
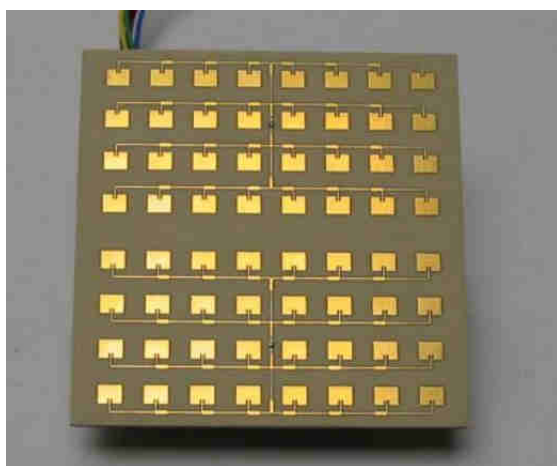
# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

## Personální mobilní komunikace – nedávná minulost a současnost ?



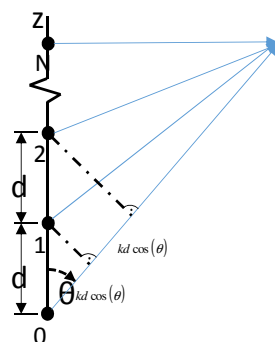
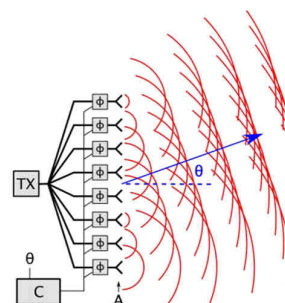
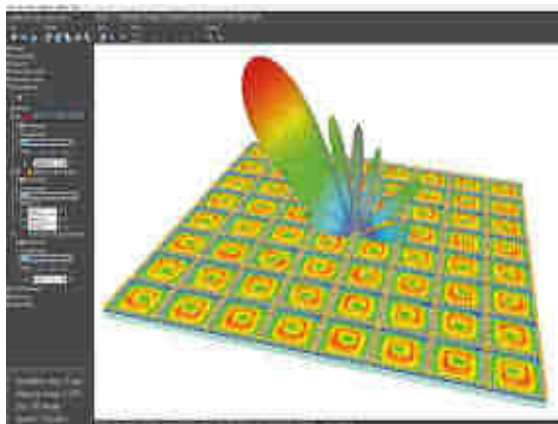
# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Personální mobilní komunikace – nedávná minulost a současnost ?

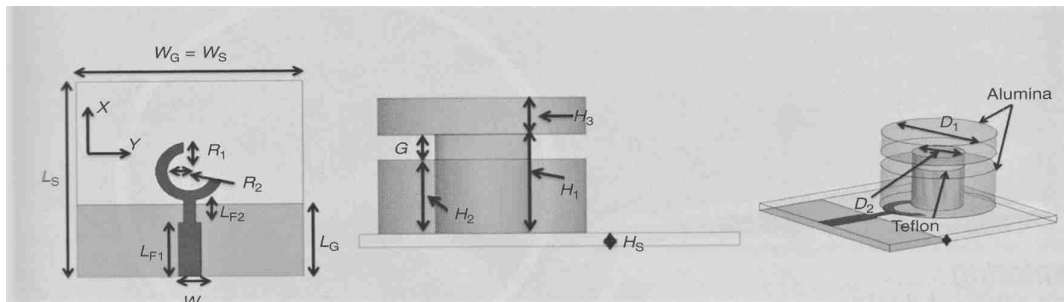


# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Personální mobilní komunikace  
Řešení fází nebo frekvencí



# UWB anténní struktura všesměrové vyzařování typu „omnidirectional!“



Základní hlediska širokopásmovosti:

Kumulace módů vyšších řádů a snížení činitele jakosti

Mikropásková struktura

Štěrbina

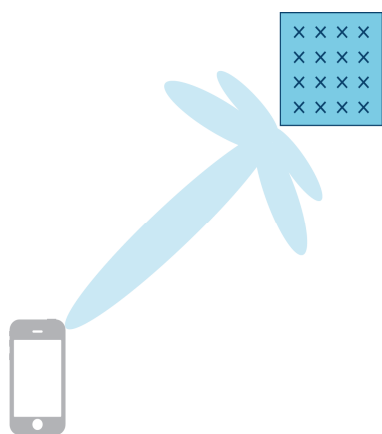
Dielektrický rezonátor

## Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

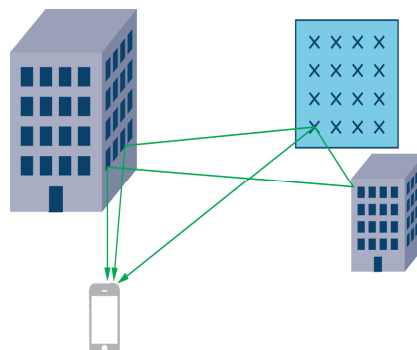
Personální mobilní komunikace od LTE k 5G

- Beamforming
- MIMO
- Massive MIMO

# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti



Klasický beamforming  
LTE a rozdíl pro 5G

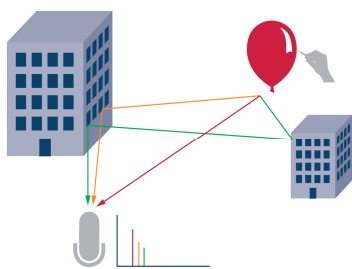


Mnohocestné šíření

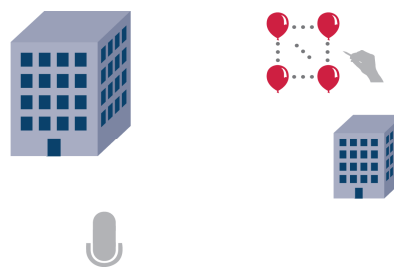
# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Personální mobilní komunikace – Characterizing  
Spatial Channel

8



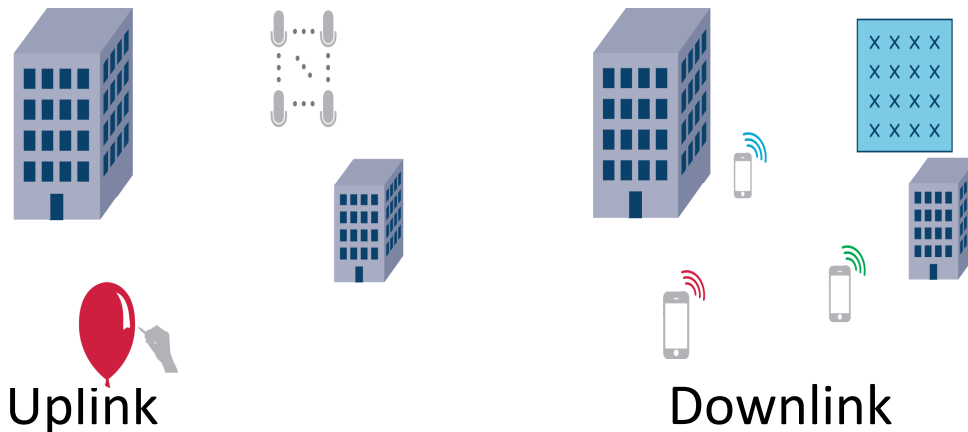
Akustická analogie



Skutečný kanál  
pohyblivý uživatel

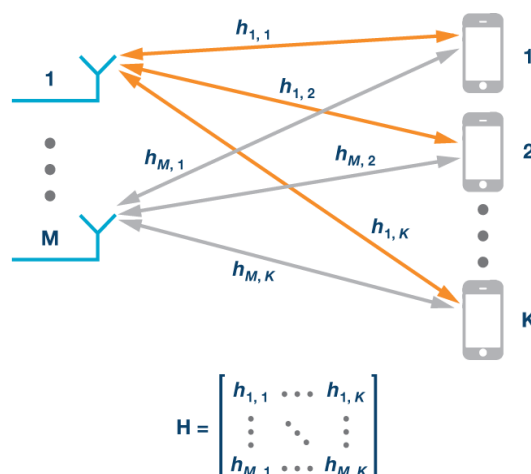
# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Personální mobilní komunikace – reciprocita kanálu



# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

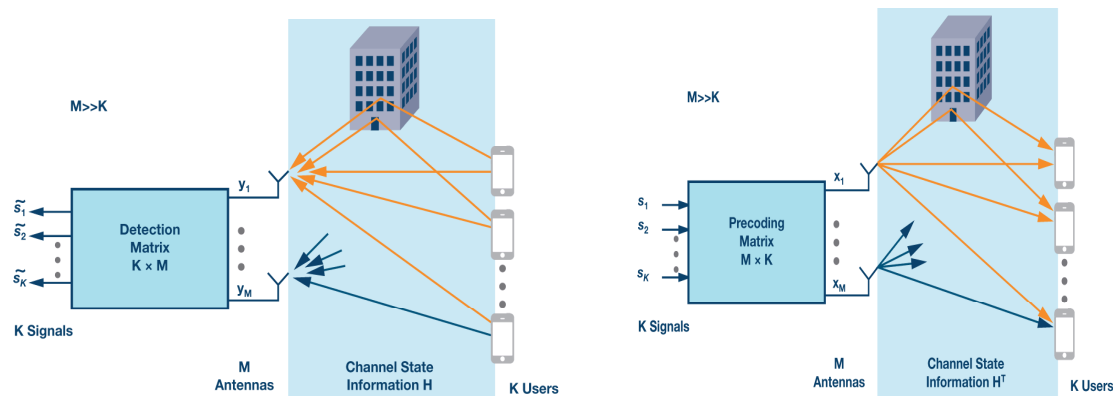
Personální mobilní komunikace – reciprocita kanálu TDD Time Division Duplex , masive MIMO potřebuje znát charakteristiku kanálu





# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

## Personální mobilní komunikace

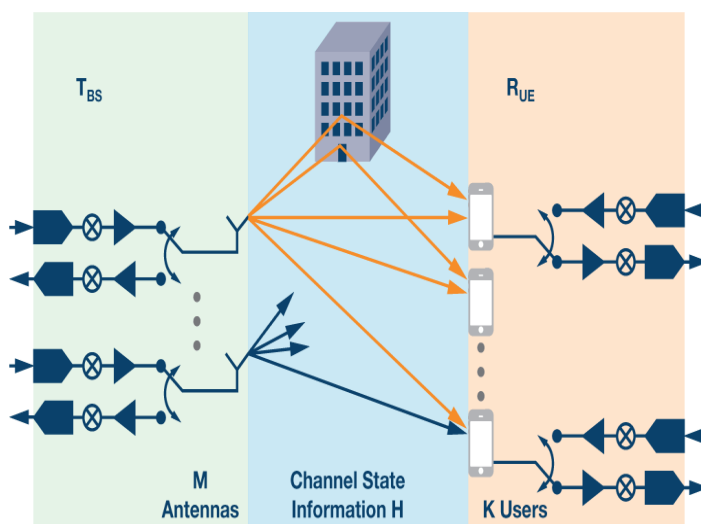


Detection Type	
Maximum Ratio (MR)	$\tilde{\mathbf{s}} = \mathbf{H}^H \mathbf{y}$
Zero Forcing (ZF)	$\tilde{\mathbf{s}} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \mathbf{y}$
NMSE or RZF	$\tilde{\mathbf{s}} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \beta \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}^H \mathbf{y}$

Precoding Type	
Maximum Ratio (MR)	$\mathbf{x} = \mathbf{H}^H \mathbf{s}$
Zero Forcing (ZF)	$\mathbf{x} = \mathbf{H}^H (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{s}$
NMSE or RZF	$\mathbf{x} = \mathbf{H}^H (\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \beta \mathbf{I})^{-1} \mathbf{s}$

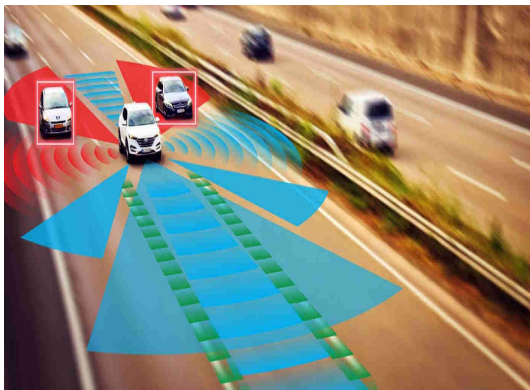
# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

## Personální mobilní komunikace

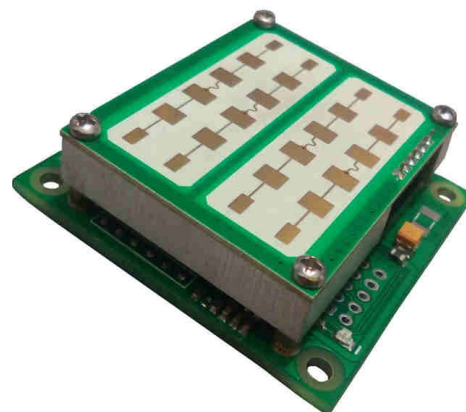


# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Radarové a „automotive aplikace“, antikolizní, rychlostní .....

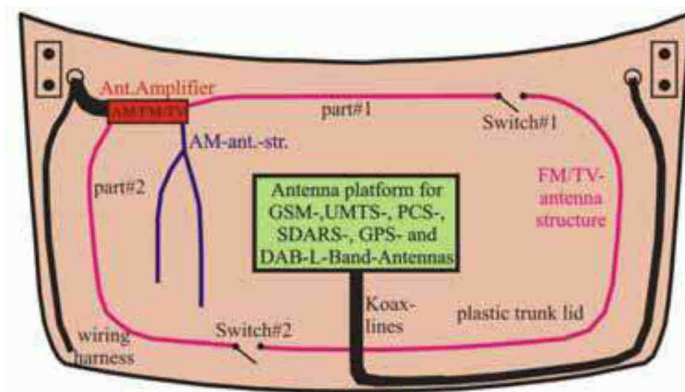
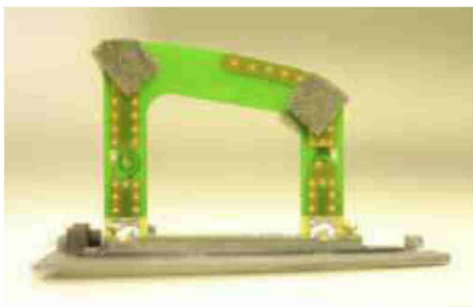


DOISYEN



# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Autoantény, letecké antény



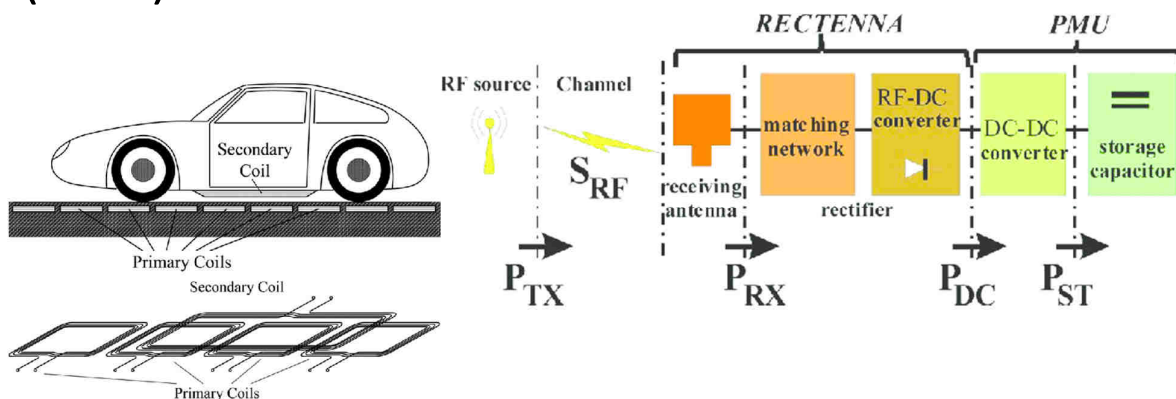
# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

RFID radiová identifikace – viz samostatná přednáška



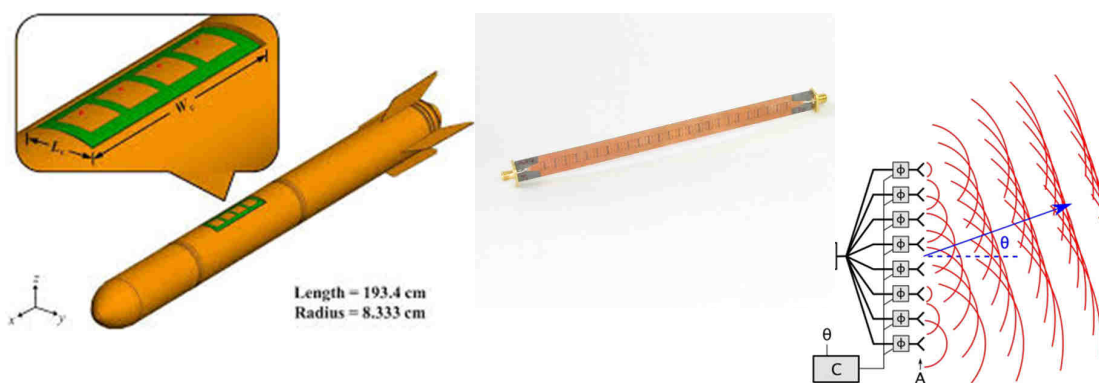
# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Energy harvesting, Wireless Power Transfer (WPT)



# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Antény jako senzory pro inteligentní ochrany a  
munice - processing



# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Lékařské aplikace

Internet of Medical Application

mHealth

Senzory uvnitř těla a komunikace s nimi

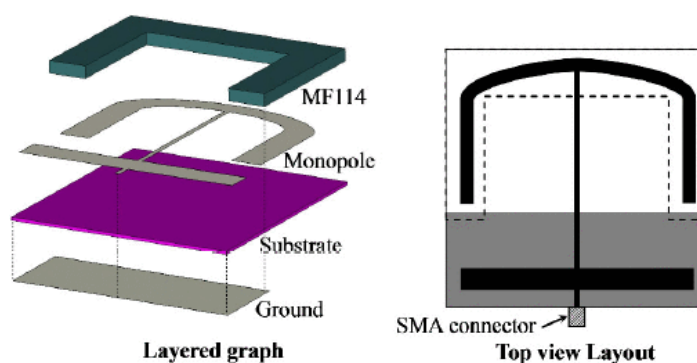
UWB technologie pro senzory v těle (medical in-body communication (vysokorychlostní přenos – pokud je třeba) – nutné se zabývat vlastnostmi šíření v těle

# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Internetové aplikace, internet věcí (IoT)  
adaptivní antény a processing

# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Smart Cities Iniciative, Machine to Machine  
communication antenna (M2M)



# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

- Nové materiály
- Nové technologie
- Nové koncepce (metamateriály, frekvenčně selektivní povrchy FSS)

---

# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

## Nanoantény

Mikropáskové antény na bázi elektricky  
vodivých nanočástic (disertační práce  
Univerzita Tomáše Bati, Zlín ing Jiří Matyáš  
2013

## Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Jak je to se syntézou antén, modálními  
technikami?

## Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Jsou to skutečně nové antény a jde o  
překonání teoretických limitů?

Booster antény

# Současnost a trendy anténní techniky a výhled do budoucnosti

Jaké jsou možnosti simulátorů  
elektromagnetického pole?

## Historie antén, objev elektromagnetických vln a cesta od dílčích experimentů k praktickému využití

Maxwell, Hertz, Marconi ....

Užitečnost elektromagnetického pole nebo zajímavá hračka

Antény rezonanční x s postupnou vlnou (kategorizace podle  
konstrukce a způsobu vyzařování)

- Drátové antény (liniové, smyčky .....
- Štěrbinové antény
- Nízkoprofilové antény - mikropásmové
- Aperturové antény
- Reflektorové antény a čočky
- Analogové (konstrukční řešení) soustavy



# Závěr

Co lze očekávat - nové technologie

Co je méně pravděpodobné - pokročilejší syntéza antén

Co asi nelze očekávat - nové konstrukce antén technologií s vývojem anténní techniky

---

## Literatura

[1] Vainikainen, P., Ollikainen, J., Kiverkas, O. Kelder, I.: Resonator Based Analysis of the Combination of Mobile Handset Antenna and Chassis, IEEE Trans. on AP, Vol. 50, No. 10, Oct. 2002

[2] Wheeler, H. A.: Fundamentals Limitations of Small Antennas, Proc. of the I.R.E.35, December 1947, pp. 1479 -1484

[3] Anguery, J., Andújar, A., Puente194, C.: Ground – Plane Boosters as a Compact Antenna Technology for Wireless Handheld Devices, IEEE Trans. AP, Vol. 59, No.5, May 2011, pp. 1668 - 1677

[4] R. Harrington, R.F., Mautz, J.R.: Theory of Characteristic Modes for conducting bodies," IEEE Trans. on AP, Vol. 19, Sept. 1971, pp. 622 - 628,

[5] Exploring the Potential of QAM Antennas, Theoretical Developments and Practical Limitation, IEEE AP Magazine, Vol. 60, No. 2, April 2018