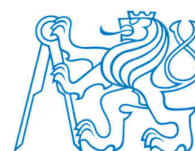


# Elektromagnetické vlastnosti UHF RFID zářičů v blízkosti lidského těla

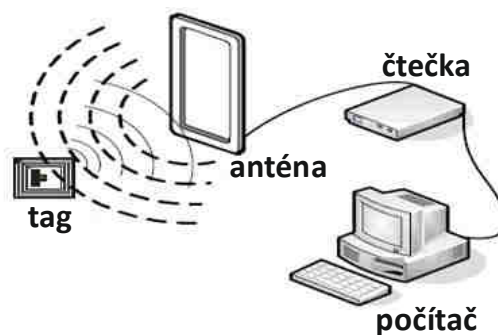
**Milan Švanda**

České vysoké učení technické v Praze, FEL  
Katedra elektromagnetického pole

[www.elmag.org](http://www.elmag.org)

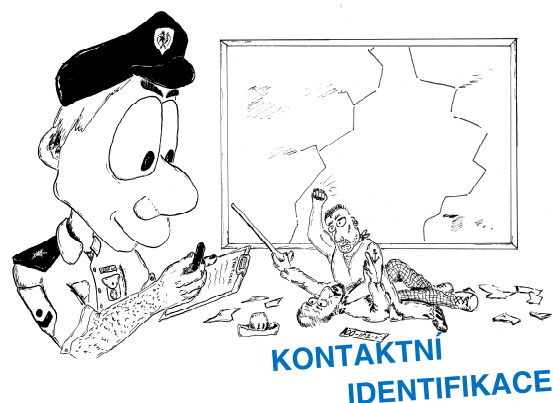


## Osnova



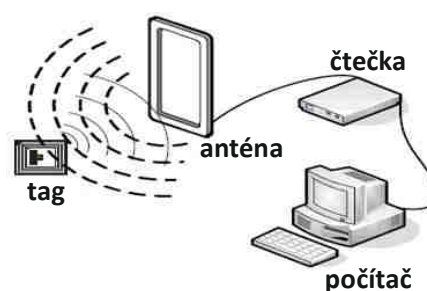
- Co to je RFID?
- Rozdělení RFID systémů
- Minimalizace vlivu lidského těla na vlastnosti antén tagů
- Metoda vázaných patchů a způsoby buzení
- Shrnutí a současné trendy ve vývoji RFID

## Co to je RFID (RadioFrequency Identification)



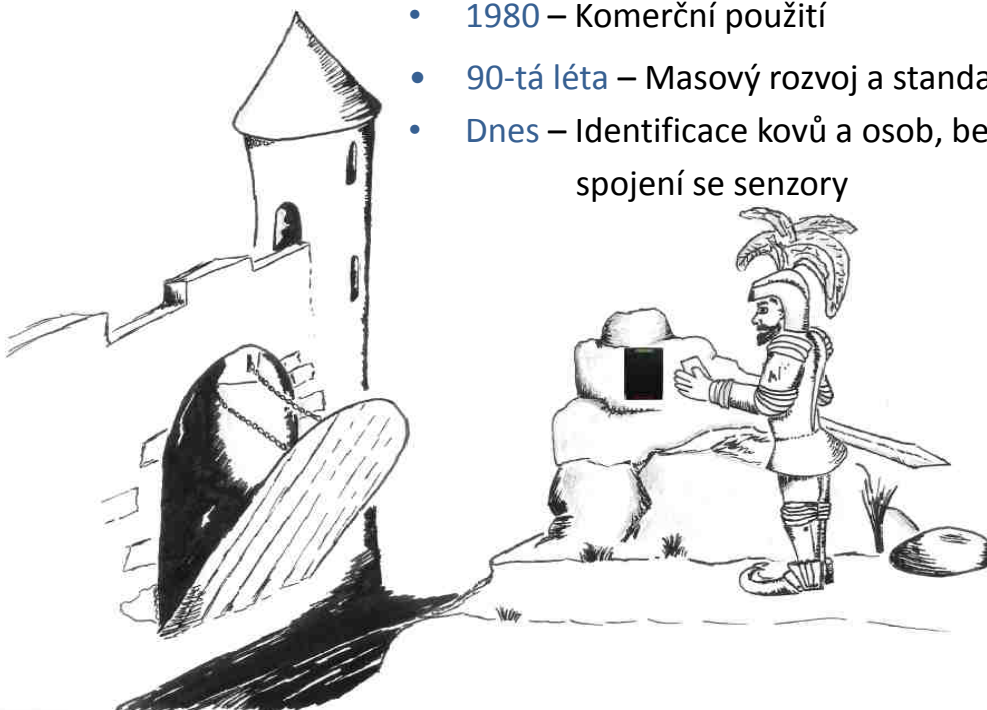
- Části systému

- Čtečka
- Pevné antény  
patch, Yagi-Uda, jiný vazební prvek
- TAG (transpondér)  
anténa – čip – (baterie)



## Historie a současnost RFID

- 1960 – 1 bitové RFID (bezpečnostní aplikace)
- 1978 – Pasivní TAGy
- 1980 – Komerční použití
- 90-tá léta – Masový rozvoj a standardizace
- Dnes – Identifikace kovů a osob, bezčipová RFID, spojení se senzory





## Rozdělení RFID systémů

- **Aktivní** (tag obsahuje baterii)
    - drahé, - omezená životnost, + nízký výkon čtečky, + dosah (100 m)
  - **Pasivní**
    - + nižší cena, + „neomezená“ životnost, - vysoký výkon čt. (~1W)
  - **Semi-aktivní**
    - + pasivní čip, kde lze připojit baterii a zvýšit citlivost
- 
- **1-bitové** – 2 stavy, bezpečnostní aplikace EAS (Electronic Article Surveillance)
  - **N-bitové** – unikátní kód – polovodičový čip (např. příst. systémy)
- 
- **Dle kmitočtového pásma:** **LF** (125 kHz; 135 kHz), **HF** (13,56 MHz), **UHF** (866 MHz; 2,45 GHz), **MW** (5,8 GHz; 24,125 GHz)
- 
- **Dle principu**– Radiofrekvenční, Mikrovlnné, Frekvenční dělič, Elektromagnetické, Akusticko-magnetické, Induktivní vazba, „Backscatter“ modulace, Uzavřená vazba, NFC



## Rozdělení RFID systémů

- **Aktivní** (tag obsahuje baterii)
    - drahé, - omezená životnost, + nízký výkon čtečky, + dosah (100 m)
  - **Pasivní**
    - + nižší cena, + „neomezená“ životnost, - vysoký výkon čt. (~1W)
  - **Semi-aktivní**
    - + pasivní čip, kde lze připojit baterii a zvýšit citlivost
- 
- **1-bitové** – 2 stavy, bezpečnostní aplikace EAS (Electronic Article Surveillance)
  - **N-bitové** – unikátní kód – polovodičový čip (např. příst. systémy)
- 
- **Dle kmitočtového pásma:** **LF** (125 kHz; 135 kHz), **HF** (13,56 MHz), **UHF** (866 MHz; 2,45 GHz), **MW** (5,8 GHz; 24,125 GHz)
- 
- **Dle principu**– Radiofrekvenční, Mikrovlnné, Frekvenční dělič, Elektromagnetické, Akusticko-magnetické, Induktivní vazba, „Backscatter“ modulace, Uzavřená vazba, NFC





## Rozdělení RFID systémů

- **Aktivní** (tag obsahuje baterii)
    - drahé, - omezená životnost, + nízký výkon čtečky, + dosah (100 m)
  - **Pasivní**
    - + nižší cena, + „neomezená“ životnost, - vysoký výkon čt. (~1W)
  - **Semi-aktivní**
    - + pasivní čip, kde lze připojit baterii a zvýšit citlivost
- 
- **1-bitové** – 2 stavy, bezpečnostní aplikace EAS (Electronic Article Surveillance)
  - **N-bitové** – unikátní kód – polovodičový čip (např. příst. systémy)
- 
- **Dle kmitočtového pásma:** **LF** (125 kHz; 135 kHz), **HF** (13,56 MHz), **UHF** (866 MHz; 2,45 GHz), **MW** (5,8 GHz; 24,125 GHz)
- 
- **Dle principu**– Radiofrekvenční, Mikrovlnné, Frekvenční dělič, Elektromagnetické, Akusticko-magnetické, Induktivní vazba, „Backscatter“ modulace, Uzavřená vazba, NFC



## Rozdělení RFID systémů

- **Aktivní** (tag obsahuje baterii)
    - drahé, - omezená životnost, + nízký výkon čtečky, + dosah (100 m)
  - **Pasivní**
    - + nižší cena, + „neomezená“ životnost, - vysoký výkon čt. (~1W)
  - **Semi-aktivní**
    - + pasivní čip, kde lze připojit baterii a zvýšit citlivost
- 
- **1-bitové** – 2 stavy, bezpečnostní aplikace EAS (Electronic Article Surveillance)
  - **N-bitové** – unikátní kód – polovodičový čip (např. příst. systémy)
- 
- **Dle kmitočtového pásma:** **LF** (125 kHz; 135 kHz), **HF** (13,56 MHz), **UHF** (866 MHz; 2,45 GHz), **MW** (5,8 GHz; 24,125 GHz)
- 
- **Dle principu**– Radiofrekvenční, Mikrovlnné, Frekvenční dělič, Elektromagnetické, Akusticko-magnetické, Induktivní vazba, „Backscatter“ modulace, Uzavřená vazba, NFC





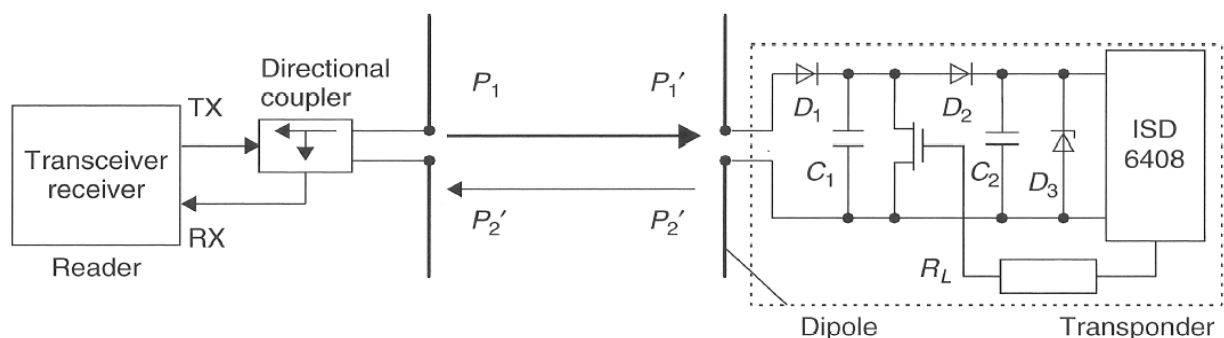
## Rozdělení RFID systémů

- **Aktivní** (tag obsahuje baterii)
    - drahé, - omezená životnost, + nízký výkon čtečky, + dosah (100 m)
  - **Pasivní**
    - + nižší cena, + „neomezená“ životnost, - vysoký výkon čt. (~1W)
  - **Semi-aktivní**
    - + pasivní čip, kde lze připojit baterii a zvýšit citlivost
- 
- **1-bitové** – 2 stavy, bezpečnostní aplikace EAS (Electronic Article Surveillance)
  - **N-bitové** – unikátní kód – polovodičový čip (např. příst. systémy)
- 
- **Dle kmitočtového pásma:** **LF** (125 kHz; 135 kHz), **HF** (13,56 MHz), **UHF** (866 MHz; 2,45 GHz), **MW** (5,8 GHz; 24,125 GHz)
- 
- **Dle principu**– Radiofrekvenční, Mikrovlnné, Frekvenční dělič, Elektromagnetické, Akusticko-magnetické, Induktivní vazba, „Backscatter“ modulace, Uzavřená vazba, NFC



## Rozdělení RFID systémů

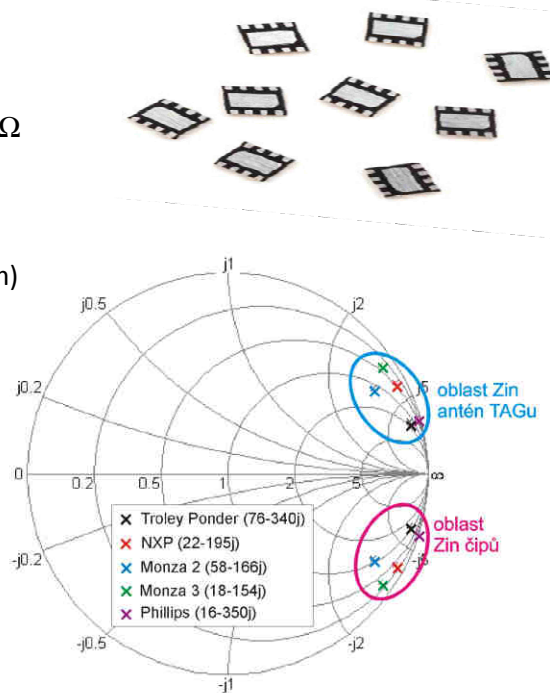
- **Pasivní systém s „backscatter“ modulací**
  - Radiový přenos (UHF a mikrovlnná pásma)
  - Čtečka vysílá nepřetržitě nosnou kontinuální vlnu
  - Nabije se kondenzátor pro práci TAGu (pasivní systém)
  - Dle kódu je nosná vlna modulována a vyslána zpět
    - Čip mění dle kódu impedanci antény (2 stavy: přizpůsobeno × odraz)





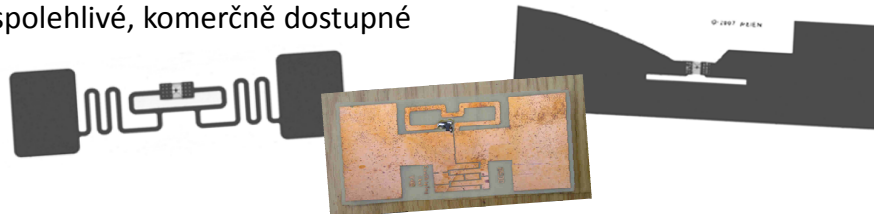
## Parametry čipů pro UHF RFID tagy

- **Komplexní vstupní impedance čipu**
  - $Z_{\text{chip}} = 22 - j195 \Omega$
  - vstupní impedance antény  $Z_{\text{in}} = 22 + j195 \Omega$
- **Citlivost čipu**
  - $P_{\text{min}} \sim -7$  až  $-21$  dBm (semi-aktivní  $-35$  dBm)
- **Konverzní ztráty TAGu**
  - $L_{\text{konv}} \sim 6$  dB (starší až 20 dB)



## Objekty pro identifikaci v UHF pásmu

- **Objekt z neutrálního materiálu**
  - Materiály s parametry blízkými vakuu - papírové krabice, volný prostor
  - Antény - typu zkrácený dipól
  - Běžné, spolehlivé, komerčně dostupné



- **Objekt ovlivňující zářič**
  - Kovy, kapaliny (v nádobách), lidské tělo, ...
  - Mikropáskové antény, další řešení
  - Dosud není uspokojivě vyřešeno





## Minimalizace vlivu lidského těla

- **Distanční podložka**

- Velké rozměry pro nízké kmitočty



- **Návrh antény v konkrétním prostředí**

- Konkrétní materiál a vzdálenost uvažován už při návrhu antény

- **Odstínění pomocí vodivé roviny**

- Antény se zemí (patch)
- Antény nad stínící rovinou
- Pokles účinnosti pro malé výšky



## Minimalizace vlivu lidského těla

- **Distanční podložka**

- Velké rozměry pro nízké kmitočty



- **Návrh antény v konkrétním prostředí**

- Konkrétní materiál a vzdálenost uvažován už při návrhu antény

- **Odstínění pomocí vodivé roviny**

- Antény se zemí (patch)
- Antény nad stínící rovinou
- Pokles účinnosti pro malé výšky





## Minimalizace vlivu lidského těla

- **Distanční podložka**
  - Velké rozměry pro nízké kmitočty



- **Návrh antény v konkrétním prostředí**
  - Konkrétní materiál a vzdálenost uvažován už při návrhu antény

- **Odstínění pomocí vodivé roviny**
  - Antény se zemí (patch)
  - Antény nad stínicí rovinou
  - Pokles účinnosti pro malé výšky



## Minimalizace vlivu lidského těla

- **Distanční podložka**
  - Velké rozměry pro nízké kmitočty



- **Návrh antény v konkrétním prostředí**
  - Konkrétní materiál a vzdálenost uvažován už při návrhu antény

- **Odstínění pomocí vodivé roviny**
  - Antény se zemí (patch)
  - Antény nad stínicí rovinou
  - Pokles účinnosti pro malé výšky

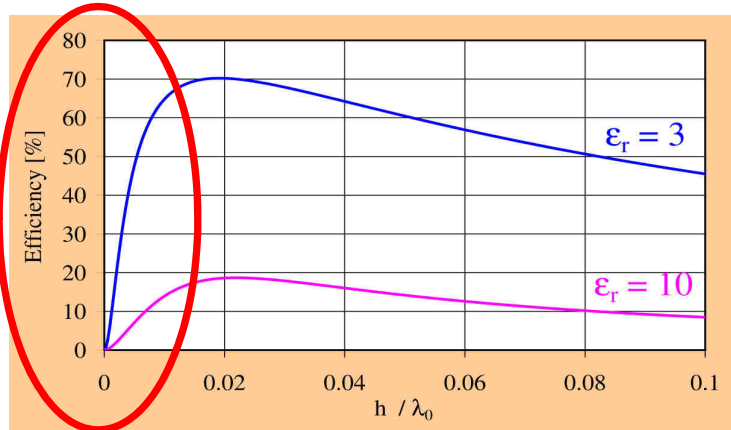
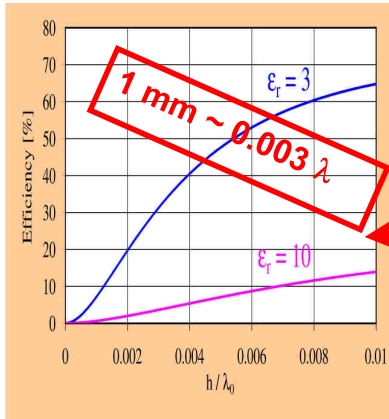






# Vyzařovací účinnost mikropáskové antény

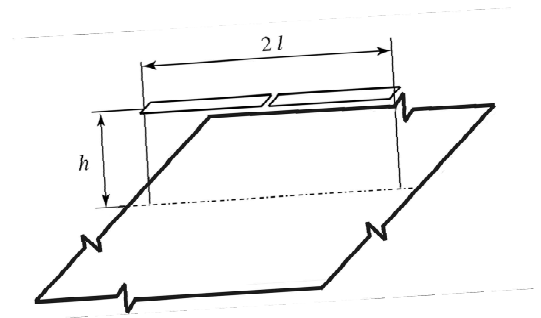
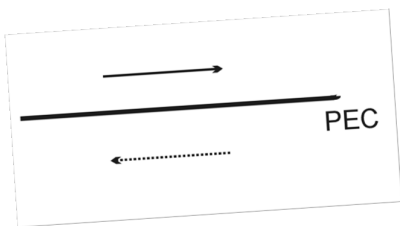
- **Vodivá rovina je principiální součástí antény**
- V UHF RFID pásmu (866 MHz)
  - Relativně velké rozměry ( $\lambda_0/2 \sim 170$  mm)
  - Malá vyzařovací účinnost pro nízko profilové antény (< 30%)



Lee K. F., Chen W.: *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, New York: John Wiley & Sons, 1997

# Vliv stínící vodivé roviny

- **Dipól nad vodivou rovinou ( $\sim 72 \Omega$ )**



- $h = \lambda/4$  - konstruktivní interference
- $h < \lambda/4$  - destruktivní interference

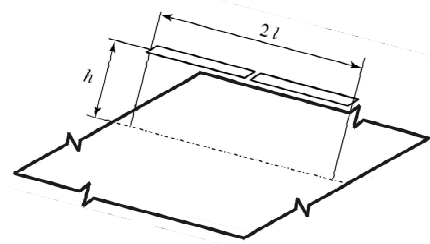
$$\eta_{rad} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{loss}}$$

$$Z_{in} = \frac{U_1}{I_1} = Z_{11} \frac{I_1}{I_1} + Z_{12} \frac{I_2}{I_1}; \quad I_1 = -I_2 \Rightarrow Z_{in} = Z_{11} - Z_{12}$$

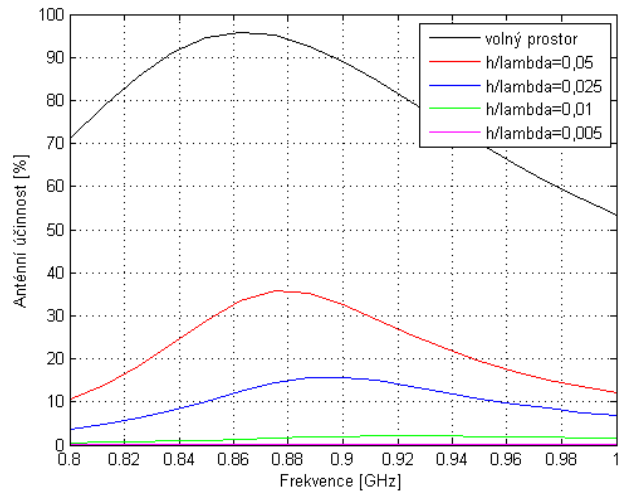
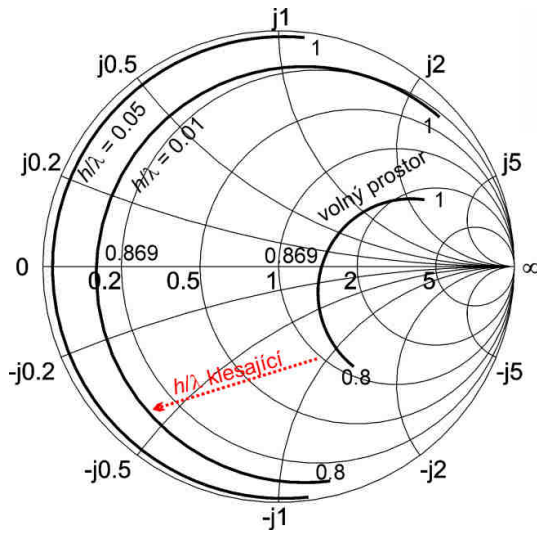
pro  $d/\lambda \rightarrow 0$   $Z_{11} \sim Z_{12} \Rightarrow R_{rad} \rightarrow 0 \Rightarrow \eta_{rad}$  klesá

# Vliv stínící vodivé roviny

- Dipól nad vodivou rovinou (~ 72 W)



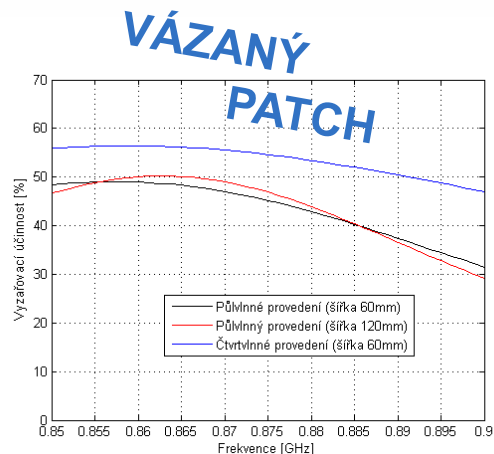
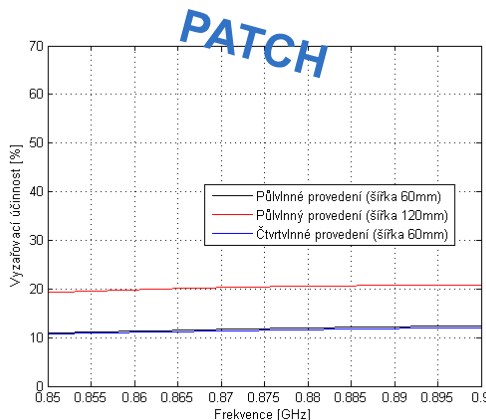
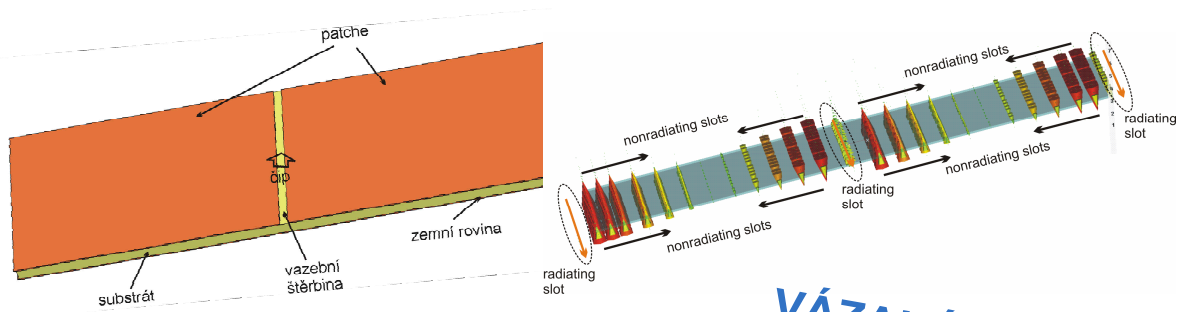
$$\eta_{rad} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{loss}}$$



19/25

# Metoda vázaných patchů

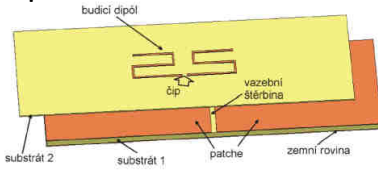
- Výrazně vyšší účinnost oproti patchové anténě shodné výšky substrátu





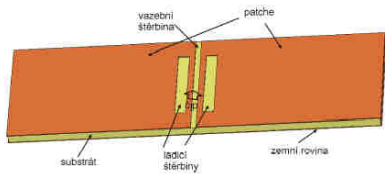
# Metoda vázaných patchů – ladění $Z_{in}$

- Buzení pomocí budícího zářiče



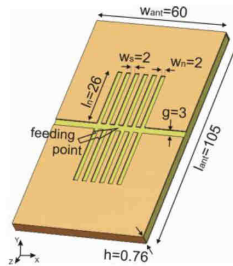
Vyzařovací účinnost	> 55%
Přizpůsobení	RFID, 50 Ω
Počet vrstev	2
Výška profilu	1 mm (0,003 $\lambda_0$ )

- Přímé buzení - ladící štěrbiny



Vyzařovací účinnost	> 55%
Přizpůsobení	Komplexní RFID
Počet vrstev	1
Výška profilu	0,76 mm (0,0022 $\lambda_0$ )

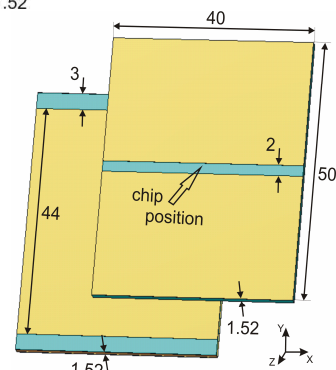
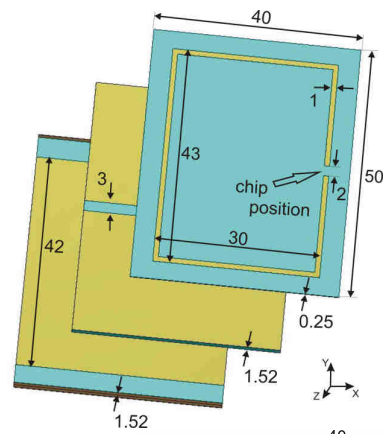
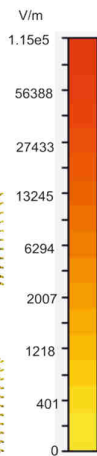
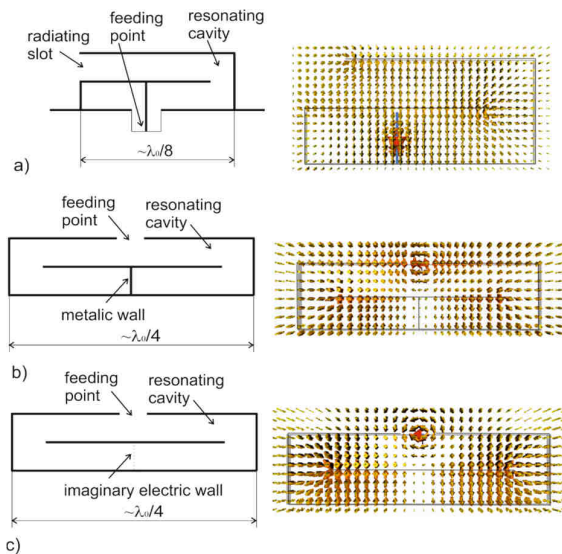
- Přímé buzení - hřebenová štěrbinina



Vyzařovací účinnost	> 55%
Přizpůsobení	RFID, 50 Ω
Počet vrstev	1
Výška profilu	0,76 mm (0,0022 $\lambda_0$ )



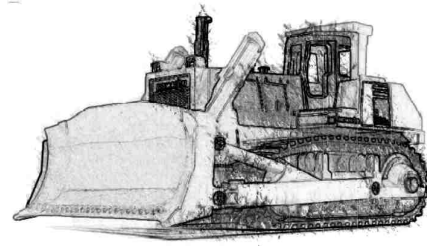
# Metoda vázaných patchů a skládané dutiny



Buzení antény	přímé	smyčkou
Vyzařovací účinnost	> 50%	> 40%
Přizpůsobení	RFID	RFID, 50 Ω
Počet vrstev	2	3
Výška profilu	3,04 mm (0,009 $\lambda_0$ )	3,3 mm (0,01 $\lambda_0$ )



## Shrnutí a současné trendy

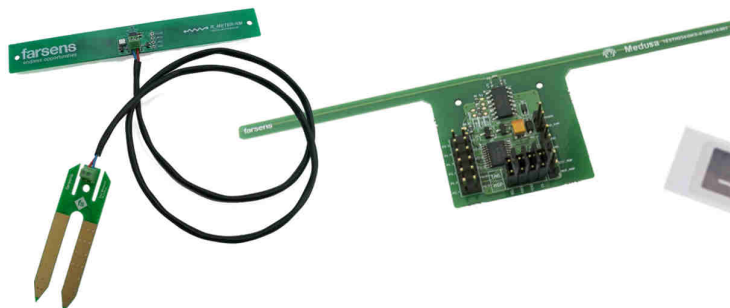


- RFID masové použití a další rozmach
  - Pro neztrátové objekty
  - Aplikace řešené na míru (logistika, nemocnice, ...)
- Stále problémy s identifikací ztrátových objektů (kovy, lidská tkáň, ...)
  - Dílčí řešení – struktury se stínící vodivou rovinou
  - Potíže s rozměry a účinností díky relativně nízkému kmitočtovému pásmu
  - **Kompromis (dosah × fyzické rozměry)**
- Současné směry vývoje
  - Vývoj a miniaturizace antén tagů pro ztrátové objekty
  - Spojení RFID se senzory
  - Bezčipová RFID



## Současné trendy ve vývoji antén RFID tagů

- **Spojení RFID se senzory**
  - Farsens Medusa, Smartrack Magnus
    - AD převod napětí ze senzoru do uživatelské části paměti čipu
    - Čtení běžnou rfid čtečkou (software musí umožnit vyčítat „user memory“ čipu)
    - Nižší citlivost čipu (zápis: -9dBm, čtení: -16dBm)



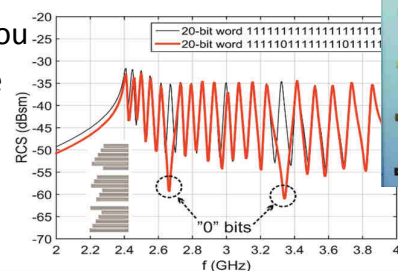
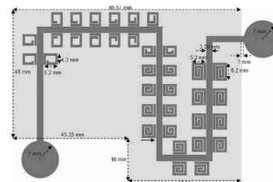
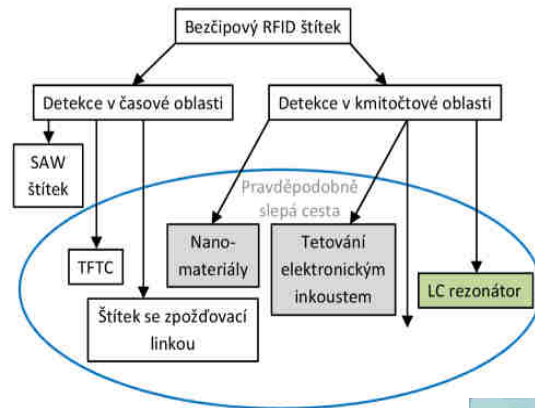
- Vývojové pokusy s bezčipovou RFID (vlhkost, teplota)



# Současné trendy ve vývoji antén RFID tagů

## • Bezčipová RFID

- N-bitové tagy bez polovodičového čipu
- Snaha nahradit čárový kód (??)
- Struktury potenciálně tisknutelné
- Řada principů
  - Zpožďovací vedení v časové oblasti
  - **LC rezonátory ve frekvenční oblasti**
- Výzvy
  - Prostorová bitová hustota (bit/cm<sup>2</sup>)
  - Spektrální bitová hustota (bit/GHz)
  - Nízké úrovně RCS - problematické měření, čtecí dosah
- Potenciálně slibný směr - spojení se senzorskou vlastností jako levné řešení pro senzorové sítě



# Děkuji za pozornost...

## Vybraná literatura:

- [1] Finkenzeller, K.: RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, 2nd edition, John Wiley & Sons, 2005.
- [2] Lee K. F., Chen W.: Advances in Microstrip and Printed Antennas, New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [3] Švanda, M., Polívka, M.: Matching Technique for an On-Body Low-Profile Coupled-Patches UHF RFID Tag and for Sensor Antennas, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, No. 5, pp. 2295-2301, 2015.
- [3] Polívka, M., et al.: Improvement in Robustness and Recognizability of RCS Response of U-Shaped Strip-Based Chipless RFID Tags, *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 15, pp. 2009-2003, 2016.
- [4] <http://www.farsens.com>
- [5] <http://axzon.com/sensors>

