

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Czech Technical University in Prague
Faculty of Electrical Engineering

Ing. Přemysl Hudec CSc.

**Dálkové monitorování pohybu osob
v budovách a areálech pomocí RFID
systémů**

**Remote monitoring of people in buildings and
open areas using RFID systems**

Summary:

The lecture deals with employment of RFID tools for monitoring of locations of people in large buildings or open areas. Namely in those cases, when it is important to know current positions of, for example, employees or visitors. The problems of radiation patterns and efficiency of antennas used, influences of reflections from surroundings, mutual shading and tilt of monitored people and influence of the above stated phenomena and parameters on identification range are solved. Beside theoretical analysis, many different computer simulations and practical measurements are presented. Performed system tests prove very good agreement between calculations and measurements and usability of the designed solutions in praxis.

Souhrn:

Přednáška se zabývá použitím prostředků vysokofrekvenční radiové identifikace (RFID) pro účely monitorování pohybu osob v budovách nebo areálech, a to všude tam, kde je důležité znát aktuální pozice například zaměstnanců nebo návštěvníků. Řešeny jsou problémy vyzařovacích diagramů a účinností použitých antén, vlivů odrazů od okolí, vzájemného zastínění monitorovanými osobami a jejich náklonu a vliv výše uvedených jevů a parametrů na dosah identifikace. Uveden je teoretický rozbor i řada počítačových simulací a praktických měření. Publikované výsledky ukazují velmi dobrou shodu mezi výpočty a měřeními a velmi dobrou funkčnost a praktickou použitelnost navržených řešení.

Klíčová slova:

RFID systémy, dálkové monitorování, dosah identifikace, čtečka, TAG

Keywords:

RFID systems, remote monitoring, identification range, reader, TAG

Obsah:

1. Úvod
2. Základní popis RFID systémů
3. Optimalizace RFID systému pro identifikaci osob
 - 3.1 Popis použitého systému
 - 3.2 Systémové výpočty
 - 3.3 Antény čtečky a TAGu
 - 3.4 Optimalizace náklonu TX a RX antén
 - 3.5 Vliv náklonu TAGu
 - 3.6 Vliv vzájemného zastínění osob
 - 3.7 Výsledné výkonové bilance
4. Testování identifikačních systémů
 - 4.1 Identifikace s použitím antén typu „patch“
 - 4.2 Testování systému se smyčkovými anténami s vícevrstevným stínícím substrátem

Literatura

Profesní životopis

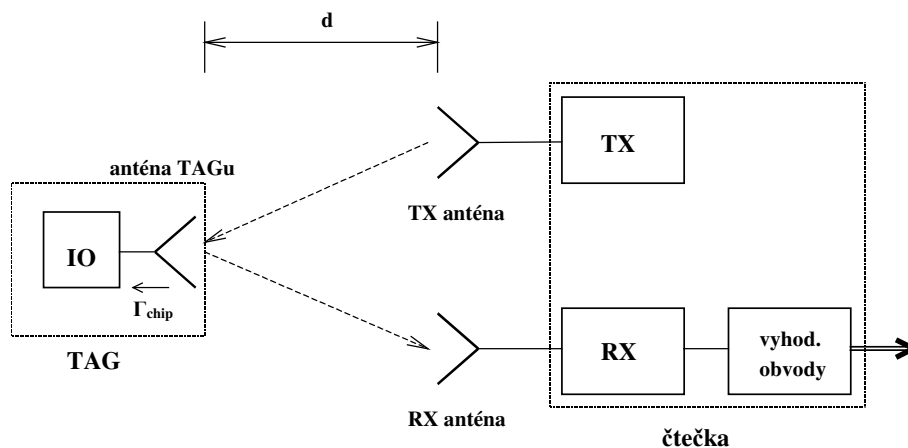
1. Úvod

Mezi velmi aktuální bezpečnostní problematiku patří i monitorování pohybu osob v budovách nebo areálech, a to všude tam, kde je důležité znát aktuální pozice osob, například zaměstnanců nebo návštěvníků. Může se jednat o vojenské areály, o kanceláře kde se pracuje s utajovanými skutečnostmi, o sklady s nebezpečnými materiály, o sledování pohybu dozorců ve věznicích nebo třeba zaměstnanců nebo návštěvníků atomové elektrárny. V současné době se pro dané účely obvykle používají kamerové systémy nebo kontaktní identifikační systémy. Jejich nasazení však přináší řadu praktických problémů. Kamerové systémy jen velmi problematicky provádějí identifikaci, kontaktní systémy mohou způsobovat nezanedbatelné zdržování pohybu zaměstnanců v daných budovách nebo areálech. Proto je velmi aktuální vývoj prostředků dálkové vysokofrekvenční radiové identifikace (RFID), které mohou za určitých podmínek provádět identifikaci i na relativně velké vzdálenosti (až 10 m).

2. Základní popis RFID systémů

Základem každého RFID systému je obecně čtečka (angl. reader) obsahující vysílač a přijímač a sada elektronických „visaček“ – TAGů. Součástí TAGu je anténka nebo jiná struktura zabezpečující bezkontaktní vazbu na čtečku a integrovaný obvod (IO, chip), který zabezpečuje vlastní identifikační funkce. Při ozáření TAGu VF výkonem je tento schopen vyslat zpět k přijímači ve čtečce informaci o kódovém označení dané „visačky“. Čtečka následně vyhodnotí přijatý kód.

Pod označení RFID spadá řada různých zařízení pracujících na frekvencích od 125 kHz (LF), 13,56 MHz (HF), 860 MHz (UHF) 2,45 GHz (microwave, MW). Systémy pracující v pásmech LF nebo HF mají obvykle jen velmi omezený dosah (do 1m), hlavním důvodem je skutečnost, že na těchto frekvencích nelze vyrobit kvalitní a rozměrově malé antény. Pro komunikaci mezi čtečkou a TAGy bývá proto použita jen jednoduchá induktivní vazba. Ale již v pásmu UHF 860 MHz je vlnová délka taková, že lze konstruovat impedančně přizpůsobené antény s prakticky přijatelnými rozměry, a jako vazbu mezi čtečkou a TAGy používat šířící se elektromagnetické vlny. Blokové schéma takového RFID systému je na Obr. 1.



Obr. 1 Blokové schéma UHF RFID systému

Vysílač TX ve čtečce generuje CW vlnu s výkonem P_{TX} , TX anténa ozařuje tímto výkonem oblast s jedním nebo více TAGy ve které se má provádět identifikace. Část vyzářené vlny dopadá na TAGovou anténu, která přivádí na vstup IO v TAGu výkon P_{TAG} . IO část výkonu detekuje a vytvoří tak potřebnou energii pro napájení vestavěného modulátoru. Modulátor přečte kód zapsaný v paměti TAGu a dle něj mění s opakovací frekvencí f_{MOD} koeficient odrazu Γ_{chip} anténní brány IO. Zpět k přijímači RX se šíří odražená elektromagnetická vlna s amplitudově modulovanou informací o kódu TAGu. Část této vlny přijme RX anténa a je zpracována VF přijímačem a vyhodnocovacími obvody čtečky. Dosah d systému je dán dvěma výkonovými podmínkami. Předně výkon P_{TAG} musí být vyšší, než je minimální hodnota dostačující pro správnou funkci TAGu. Stejně tak výkon P_{READER} přijatý RX anténou čtečky musí být vyšší než $P_{READERmin}$, což je minimální výkon, který je schopný přijímač zpracovat.

3. Optimalizace RFID systému pro identifikaci osob

3.1 Popis použitého systému

Pro výpočty a ověření byl použit standardní UHF RFID systém výrobce Trolley-Scan, jeho hlavní parametry převzaté z [6] jsou uvedeny v následující tabulce.

komponenta	parametr	hodnoty
	pracovní frekvence (Evropa)	869.5 ÷ 869.7 MHz
čtečka	vysílaný výkon	24.7 dBm ÷ 36.0 dBm
	citlivost přijímače	-64 dBm (200 pW)
	rychlost identifikace	70 s ⁻¹
	zisk standardní antény	8.0 dBi
visačka (TAG)	citlivost IO	-6.9 dBm (200 μW)
	impedance IO (změřená hodnota)	76 - j340 Ω
	konverzní ztráty	typ. 20 dB

Tab: 1 Parametry RFID systému Trolley-Scan

3.2 Systémové výpočty

Pro funkci RFID systému je dle [1] zásadní splnění dvou výkonových podmínek:

$$P_{rTAG} \geq P_{rTAGmin} \quad (1)$$

$$P_{rREADER} \geq P_{rREADERmin} \quad (2)$$

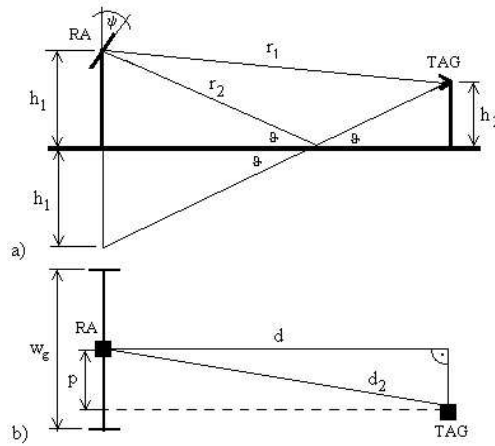
Pro první podmínku lze sestavit následující systémový popis:

$$P_{rTAG} = P_{TX} - L - L_{k1} \quad (3)$$

Přitom L je útlum mezi vysílačem čtečky a IO daný parametry antén a vlastnostmi šíření elektromagnetických vln na pracovní frekvenci a L_{k1} je útlum kabelu mezi čtečkou a TX anténou. Pro druhou podmínku lze sestavit rovnici:

$$P_{rREADER} = P_{rTAG} - L - L_{k2} - L_{konv} \quad (4)$$

Přitom L_{konv} jsou konverzní ztráty IO a L_{k2} je útlum kabelu mezi čtečkou a RX anténou. Z Tab. 4.1 lze odečíst hodnoty $P_{TX} = 36 \text{ dBm}$, $L_{konv} = 20 \text{ dB}$, $P_{rTAG\min} = -6.9 \text{ dBm}$ a $P_{rREADER\min} = -64 \text{ dBm}$. Pro správnou funkci musí být splněny obě podmínky současně, dosah d je přitom dán tou přísnější z nich. Vztah pro L byl odvozen pro případ šíření ve volném prostředí dle Obr. 2.



Obr. 2 Konfigurace dvoupaprskového modelu a) pohled ze strany b) pohled shora

Na tomto obrázku představuje h_1 výšku TX a TR antén nad zemí, h_2 výšku antény TAGu, r_1 je délka přímého paprsku, r_2 je délka odraženého paprsku, d_2 je vzdálenost mezi anténami čtečky a TAGu ve vodorovné rovině, w_g je předpokládaná šířka obdélníkové monitorovací plochy, p je vzdálenost od osy monitorovací plochy.

Vztah pro popis šíření elektromagnetických vln byl sestaven na základě 2-paprskového modelu šíření. Tento model uvažuje 1 přímý paprsek a 1 paprsek odražený od země. Na základě tohoto modelu byl sestaven vztah popisující útlum radiové trasy L mezi výstupem vysílače čtečky a vstupem IO:

$$L = -20 \log \left(\left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) \left[\sqrt{G_{TXV}(\alpha_d) G_{RXV}(\beta_d) G_{TXH}(\gamma) G_{RXH}(\delta)} \cdot \frac{1}{r_1} e^{-jk \cdot r_1} + \sqrt{G_{TXV}(\alpha_r) G_{RXV}(\beta_r) G_{TXH}(\gamma) G_{RXH}(\delta)} \cdot \bar{R}(\vartheta) \cdot \frac{1}{r_2} e^{-jk \cdot r_2} \right] \right) \quad (5)$$

Přitom $G_{RXV}(\beta)$ a $G_{RXH}(\delta)$ jsou úhlové závislosti zisku RX antény ve vertikální a horizontální rovině, $G_{TXV}(\alpha)$, $G_{TXH}(\gamma)$ jsou úhlové závislosti zisku TX antény ve vertikální a horizontální rovině a $\bar{R}(\vartheta)$ je komplexní koeficient odrazu země v monitorované oblasti.

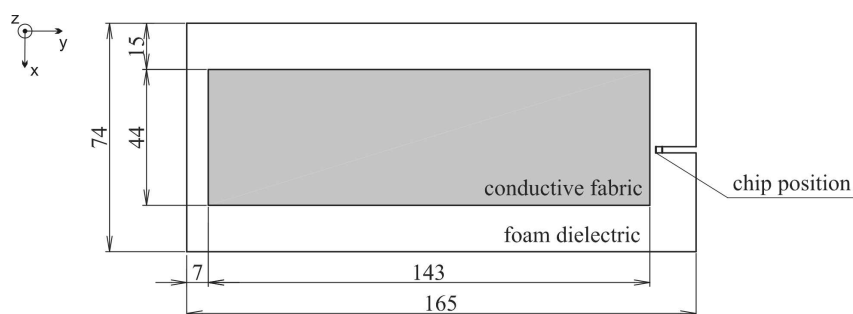
3.3 Antény čtečky a TAGu

Na funkci RFID systému mají rozhodující vliv parametry použitých antén. Jako TX a RX antény, které jsou součástí čtečky, je možné použít standardní antény, které se k systému dodávají (zisk kolem 8 dBi). Některé RFID konfigurace lze vylepšit použitím směrovějších antén, pro aplikace uvnitř budou mohou být problémem jejich větší rozměry.

Podstatně větší problémy jsou obvykle s TAGovými anténami. Ty musí být zejména velmi malé, levně vyrobitelné a musí umožňovat přímé napojení IO. Standardní UHF TAGové antény se z výše uvedených důvodů obvykle vyrábějí ve formě dipólů různě tvarovaných na tenkých dielektrických substrátech (i papíru). Takové antény jsou velmi levné, tenké, ohebné, snadno vyrobitelné, nicméně jsou velmi citlivé na přítomnost dielektrika v jejich těsné blízkosti. Pro identifikaci osob, kdy TAG musí být upevněn přímo na lidském těle nebo v jeho bezprostřední blízkosti se takové antény použít nedají. Důvodem je skutečnost, že tělo s představuje v pásmu UHF i mikrovlnných frekvencí dielektrikum s velmi vysokou permitivitou $\epsilon_r \approx 50 - 60$ a s velmi vysokými ztrátami $tg(\sigma) \approx 0,5 - 1,2$. Blízké dielektrikum s vysokým ϵ_r obvykle dipólové antény přeladí, vysoké hodnoty $tg(\sigma)$ způsobují velkou absorpci VF výkonu. Důsledkem je závažný pokles zisku antény TAGu. Pro identifikaci osob je tedy nutné používat antény, které nejsou alespoň z jedné strany citlivé na přítomnost takového dielektrika. Je tedy nutné používat antény s vodivou kovovou plochou, ta může realizovat dodatečné stínění nebo může být přímo součástí struktury antény. Pro použití v systémech pro dálkovou identifikaci osob byly vyvinuty a testovány zejména antény typu „patch“ a smyčkové antény s vícevrstevným stínícím substrátem.

Antény typu „patch“

Na Obr. 3 je uveden příklad TAGové antény typu „patch“ navržené pro pásmo 869 MHz. Anténa má rozměry 165 x 74 x 5mm a byla vyrobena na pěnovém dielektriku (G3 9568 pěna $h = 4.8$ mm, $h/\lambda_0 \sim 0.014$) s tím, že spodní vodivá plocha i horní zářící plocha byly vyrobeny z vodivé tkaniny. Anténa je velmi lehká ($m=20$ g), je flexibilní a pro výše popsané identifikační účely může být součástí oděvu (například může být zasunuta do náprsní kapsy vesty).

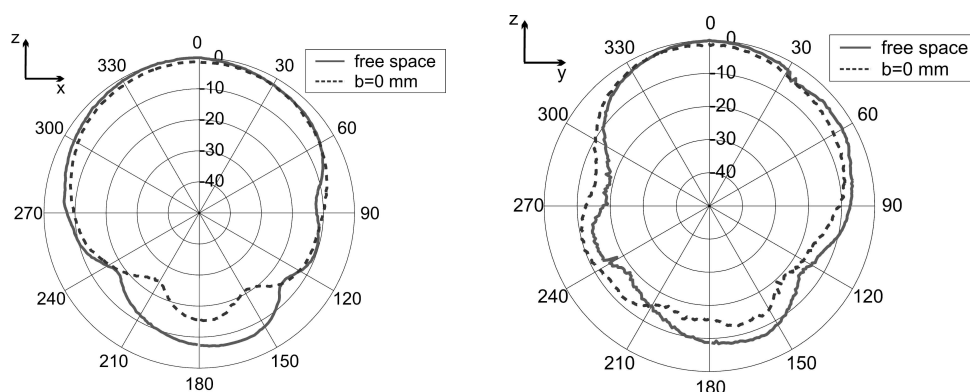


Obr. 3 Nákres TAGové antény typu „patch“ pro pásmo 869 MHz

V Tab. 2 jsou uvedeny změřené hodnoty zisku, směrovosti a účinnosti, na Obr. 4 jsou uvedeny změřené vyzařovací charakteristiky.

	G [dBi]	D [dBi]	η [%]
volný prostor	6,3	6,7	91
na fantómu $b = 0$ mm	5,0	7,6	55

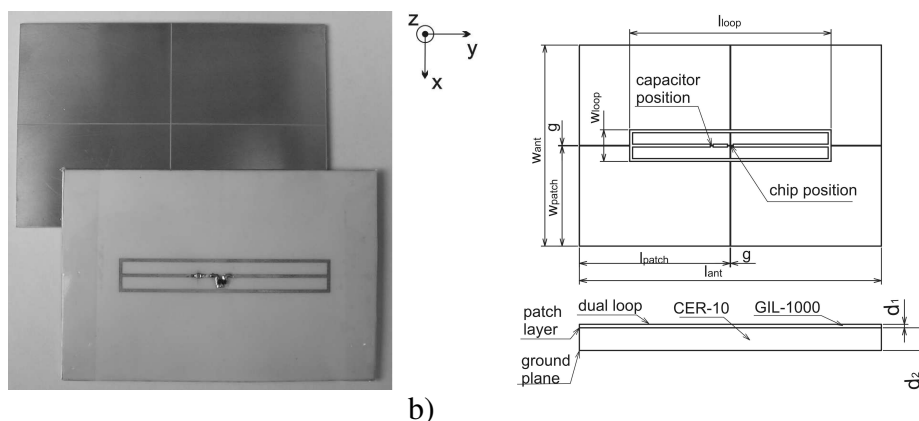
Tab. 2 Změřené hodnoty zisku, směrovosti a účinnosti TAGové antény typu „patch“



Obr. 4 Změřené vyzařovací diagramy TAGové antény typu „patch“, a) v H-rovině, b) v E-rovině

Smyčková anténa s vícevrstvným stínícím substrátem

Malá TAGová anténa pro pásmo 869 MHz, navržená pro použití ve formě standardní kartičky se jménem a fotografií, je popsána v práci [4]. Rozměry antény jsou $70 \times 105 \times 1,82$ mm. Anténa je koncipována jako dvojice paralelních malých plochých smyček vyrobených na tenkém substrátu s permitivitou $\epsilon_{r1} = 3,05$. Anténa je umístěna na speciálním stínícím substrátu, vyrobeném na oboustranně plátovaném dielektriku $\epsilon_{r2} = 10$. Na horní ploše stínícího substrátu jsou leptáním vytvořeny 4 obdélníkové plochy oddělené tenkými štěrbinami, na spodní straně je souvislá metalizace, viz. Obr. 5.



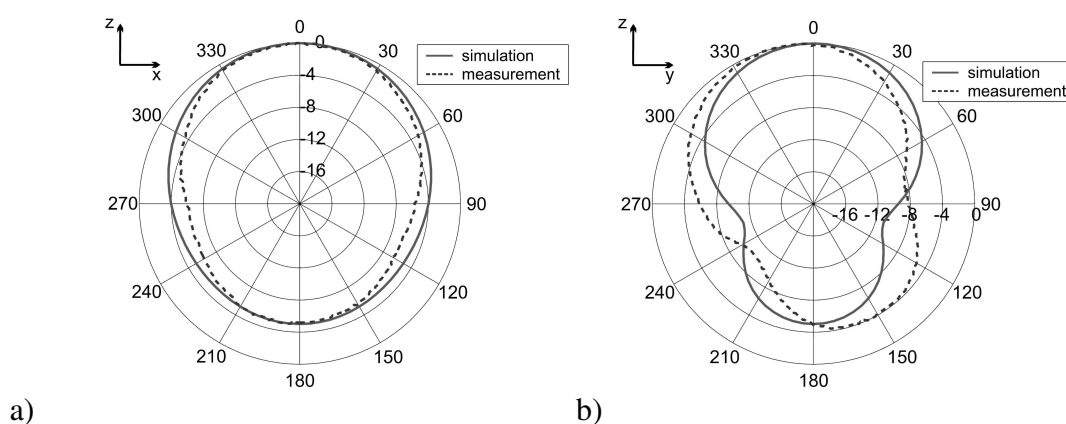
Obr. 5 Smyčková anténa s vícevrstvným stínícím substrátem, a) fotografie, b) výkres, $d_1 = 0.24$ mm, $d_1/\lambda_0 \sim 0.0007$, $\epsilon_{r1} \sim 3.05$, $d_2 = 1.58$ mm, $d_2/\lambda \sim 0.0046$, $\epsilon_{r2} \sim 10$, celkové rozměry jsou $70 \times 105 \times 1.82$ mm

V Tab. 3 jsou uvedeny vypočtené a naměřené hodnoty vyzařovací účinnosti, celkové anténní účinnosti, směrovosti a zisku vypočtené a změřené ve volném prostředí a na fantómu simulujícím vliv lidského těla.

	vyzařovací účinnost [%]	anténní účinnost [%]	směrovost [dBi]	zisk [dBi]
výpočet volné pr.	53	39	5,3	1,3
měření volné pr.	68	38	5,0	0,8
výpočet fantóm	70	33	5,4	0,6
měření fantóm	83	39	5,3	1,3

Tab. 3 Vypočtené a změřené parametry smyčkové antény na vícevrstevném stínícím substrátu,
 $f = 869 \text{ MHz}$

Porovnání vypočtených a změřených vyzařovacích diagramů je uvedeno na Obr. 6. Diagramy byly změřeny při napájení antény koaxiálním kabelem bez dodatečného impedančního přizpůsobení a symetrizace, proto je diagram na Obr. 4.6 b) pootočen o cca 15° . Při připojení IO lze předpokládat, že se toto natočení nebude uplatňovat.

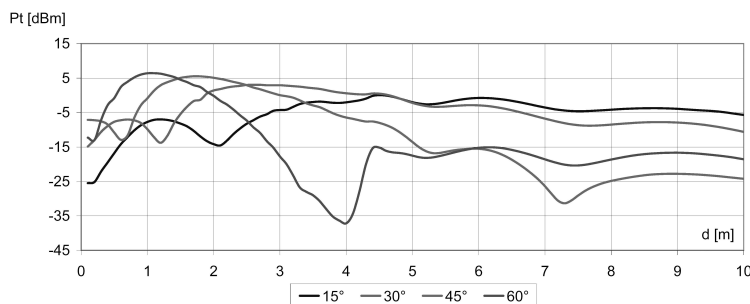


Obr. 6 Vypočtené a změřené vyzařovací diagramy ploché smyčkové antény se stínícím substrátem, a) v H-rovině, b) v E-rovině.

3.4 Optimalizace náklonu TX a RX antén

Na funkci RFID systému má důležitý vliv optimální ozáření monitorované oblasti dané vyzařovacími charakteristikami TX a RX antén čtečky a jejich sklonem (úhel Ψ). Optimalizace úhlu Ψ byla provedena na základě modelování provedeného v práci [5], viz. Obr. 2. Výsledky počítačových simulací závislosti P_{TAG} na úhlu Ψ a vzdálenosti od brány d jsou uvedeny na Obr. 7. Obrázky ukazují, že náklonem TX a RX antén lze do značné míry ovlivnit polohu a rozsah identifikační oblasti. Vyšší hodnoty Ψ poskytují identifikační oblast blízko bráně pro $d \in \langle 0,5m, 2,5m \rangle$ s velmi rychlým poklesem výkonu

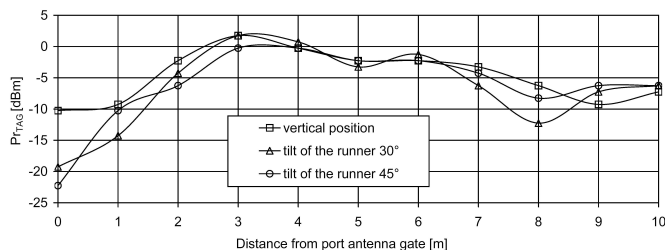
vně tohoto intervalu. Malé hodnoty $\Psi \approx 15^\circ$ vedou na vzdálenou a delší identifikační oblast $d \geq 3\text{ m}$. Jako optimální se jeví hodnota $\Psi = 30^\circ$, která poskytuje dostatečně vysoké hodnoty P_{TAG} v důležité identifikační oblasti od 2 do 6 m. Tato hodnota náklonu poskytuje nejvyšší hodnoty P_{TAG} i na krajích identifikační oblasti pro $p = 2,5\text{ m}$. Úhel $\Psi = 30^\circ$ byl použit pro všechny další měření i v dále uvedených identifikačních konfiguracích.



Obr. 7 Simulace vstupního výkonu $P_t = P_{rTAG}$ v závislosti na vzdálenosti d pro různé hodnoty náklonu TX antény ψ ($P_{TX} = 35.4\text{ dBm}$, $h_1 = 3\text{ m}$, $h_2 = 1.3\text{ m}$) na ose brány $p = 0$

3.5 Vliv náklonu TAGu

Ze vztahů 3 až 5 je zřejmé, že na obě výkonové bilance má vliv i náklon φ TAGové antény. Tento náklon je náhodný a uplatňuje se zejména v případech, kdy osoba běží. Vzhledem k náhodnosti byl vliv úhlu φ vyšetřován řadou praktických měření, výsledky jsou uvedeny na Obr. 8.



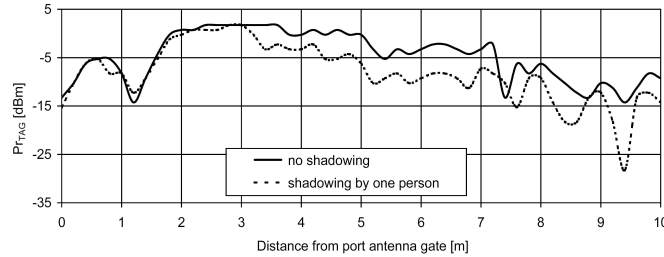
Obr. 8 Vliv náklonu osoby φ na výkon přijatý anténou TAGu P_{TAG} ($P_{TX} = 35.4\text{ dBm}$, $h_1 = 3\text{ m}$, $h_2 = 1.3\text{ m}$, $\psi = 30^\circ$, $p = 0\text{ m}$)

Naměřené výsledky ukazují, že předklon osoby $\varphi > 0$ má zásadní vliv nejvíce v rozsahu $d \leq 2\text{ m}$ a $d > 7\text{ m}$. Nicméně v obou těchto rozsazích dosahují výkony P_{TAG} obvykle pod P_{TAGmin} i pro $\varphi = 0$ (osoba bez předklonu), a identifikace v těchto rozsazích stejně není příliš pravděpodobná. Největší pravděpodobnost správné identifikace je v rozsahu $d \in \langle 2\text{ m}, 7\text{ m} \rangle$, kde je vliv předklonu φ relativně malý a přídatný útlum trasy obvykle nepřesahuje 3 dB.

3.6 Vliv vzájemného zastínění osob

Pokud bude v identifikační oblasti současně více osob, tak může dojít k jejich vzájemnému zastínění a ke vzniku přídatných útlumů. Tento vliv má náhodný charakter,

pro alespoň modelové posouzení vlivu vzájemného zastínění byla provedena řada měření. Hodnoty P_{TAG} byly měřeny ve všech bodech identifikační oblasti s tím, že se v oblasti pohybovala identifikovaná osoba a před ní ve vzdálenosti 1 m vždy stála stínící osoba. Výsledky měření jsou uvedeny na Obr. 9. Závislost vzájemného stínění je do značné míry závislá na vzdálenosti d . V rozsahu $d \in \langle 0, 3m \rangle$ je vliv zastínění zanedbatelný, v rozsahu $d \in \langle 3,5m, 5m \rangle$ je přídatný útlum kolem 3 dB, pro větší vzdálenosti $d > 5m$ je útlum kolem 6 dB.



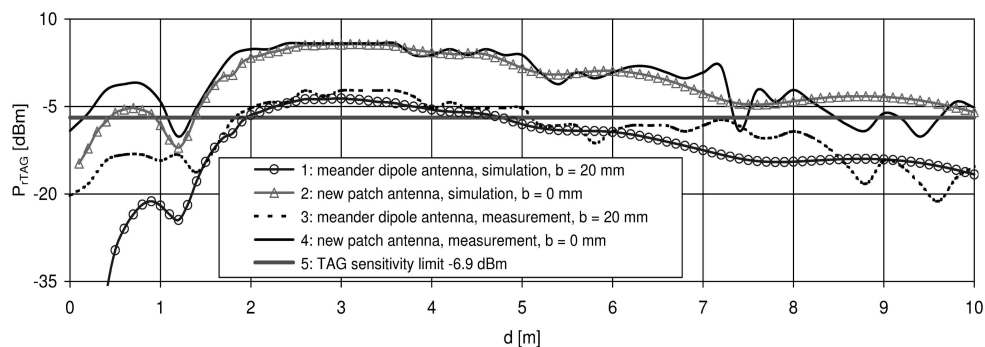
Obr. 9 Vliv zastínění na vstupní výkon antény TAGu P_{rTAG} ($P_{TX} = 35.4$ dBm, $h_1 = 3$ m, $h_2 = 1.3$ m, $\psi = 30^\circ$, $p = 0$ m)

3.7 Výsledné výkonové bilance

Vztahy 1 až 5 popisují výkonové bilance RFID systému. Pro vysokou pravděpodobnost správné identifikace a potlačení náhodných vlivů je důležité, aby tyto podmínky byly splněny v celé identifikační oblasti (široké $2p$, dlouhé Δd), a to s co nejvyšší dodatečnou zálohou. Příklad výsledných vypočtených a naměřených závislostí $P_{rTAG} = f(d, p)$ a $P_{rREADER} = f(d, p)$ systému optimalizovaného pro identifikaci osob jsou uvedeny na Obr. 10 až Obr. 12. Vzhledem k těmto grafům lze identifikační rozsah Δd definovat jako úsek nebo úseky, kde jsou hodnoty P_{rTAG} nad citlivostí $P_{rTAGmin}$ a současně hodnoty P_{rRX} nad citlivostí $P_{rREADERmin}$. Pro výpočty i při měření byly použity nové TX, RX antény se ziskem 12 dBi, blíže popsané v [2].

Na Obr. 10 jsou uvedeny hodnoty P_{rTAG} vypočtené a naměřené na ose identifikační oblasti dle Obr. 2. Identifikační rozsah Δd daný vztahem 1 je při použití standardní dipólové TAGové antény cca 2 až 4,5 m, avšak jen s velmi malou zálohou kolem 3 dB. Identifikace je při použití těchto antén prováděna, ale je (i dle provedených testů) velmi nespolehlivá. Při použití optimalizovaných antén typu „patch“ je identifikační rozsah cca 1,5 až 7 m. Ještě důležitější než rozsah sám o sobě je vysoká záloha ve výkonové bilanci (i přes 12 dB) v důležitém rozsahu 2 až 4 m, kde lze ještě předpokládat malý vliv náklonu a zastínění. Dosažená záloha zabezpečuje naprosto spolehlivou identifikaci.

Při použití optimalizované TAGové antény typu „patch“ leží hodnoty P_{rTAG} nad citlivostí $P_{rTAGmin}$ i pro $p = 2,5$ m (tato bilance určuje identifikační pás široký 5 m). Existující záloha až 8 dB je právě dostatečná na pokrytí vlivů náklonu a zastínění, i tato bilance zabezpečuje spolehlivou identifikaci. Obdobné průběhy byly simulovány i měřeny pro cestu TAG-čtečka. Při použití nových antén typu „patch“ je bilance splněna pro $p = 0$ i pro $p = 2,5$ m, a to se zálohou min. 7 dB. Podmínky identifikace jsou splněny i v této rádiové cestě, identifikace je naprosto spolehlivá.



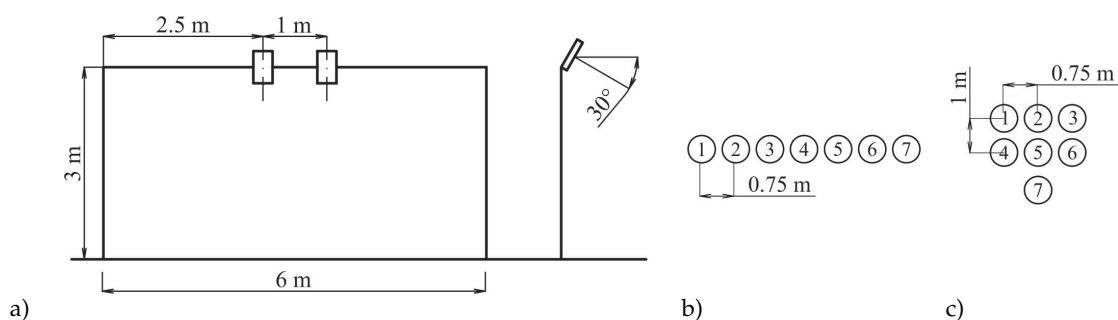
Obr. 10 Vypočtené a naměřené hodnoty P_{rTAG} optimalizovaného identifikačního systému ($P_{TX} = 35.4$ dBm, $h_1 = 3$ m, $h_2 = 1.3$ m, $\psi = 30^\circ$, $p=0$ m)

4. Testování identifikačních systémů

Testovány byly dvě konfigurace RFID systémů optimalizovaných pro identifikaci osob. První z nich používá antény typu „patch“ a byl testován pro identifikaci osob ve volném prostředí. Druhý používá smyčkové antény s vícevrstevným stínícím substrátem a byl testován pro identifikaci osob na chodbách budov i ve volném prostředí.

4.1 Identifikace s použitím antén typu „patch“

Testování RFID systému s použitím TAGových antén typu „patch“ bylo provedeno ve volném prostředí v konfiguraci dle Obr. 11 a). Použity byly nové TX, RX antény se ziskem 12 dBi. Monitorované osoby měly anténu s IO připevněnou na prsou a pohybovaly se po asfaltovém povrchu různou rychlostí v různých konfiguracích dle Obr. 13 b) resp. c). Všechny testy byly provedeny 3x za sebou. Pro porovnání byly také provedeny se standardními RFID dipólovými anténkami připevněnými na tělech monitorovaných osob s použitím 20 mm silných dielektrických podložek. Výsledky testů, kdy byly pro porovnání použity i standardní dipólové antény, jsou uvedeny v Tab. 4.



Obr. 11 Testování RFID systému s anténami typu „patch“, a) testovací brána s TX a RX anténami, b) konfigurace osob procházejících bránou typu řada, c) typu matice

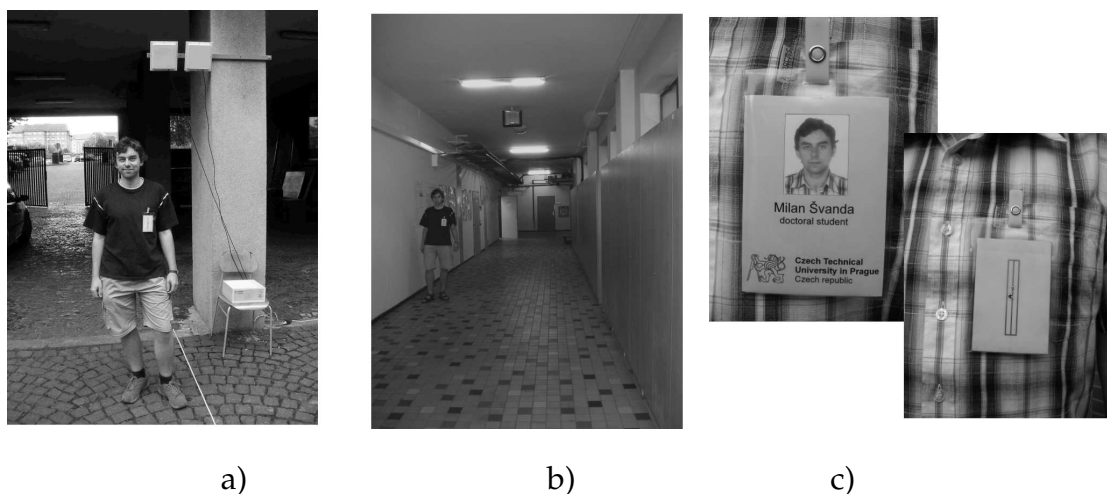
Výsledky ukazují, že při použití antén navržených pro práci na lidském těle lze dosáhnout vynikající spolehlivosti identifikace, a to i při zhoršených podmínkách identifikace. Jediným problémem mohou být mírně větší rozměry antének typu „patch“ v pásmu 868 MHz (165x74x5 mm). Nicméně antény jsou velmi lehké, ohebné a lze je například instalovat do oděvu.

konfigurace osob	rychlost osob [km/hod]	procenta správné identifikace	
		dipól. ant.	ant. „patch“ ant.
řada	4	66,7 %	100 %
	8	52,4 %	100 %
	15	-	100 %
matice $p = 2,5$ m	4	61,7 %	100 %
	8	52,4 %	100 %
	15	-	100 %
matice $p = 0$ m	4	85,7 %	100 %

Tab. 4 Spolehlivost identifikace testovaná ve volném prostředí v RFID systému s použitím TAGových antén typu „patch“ a dipól

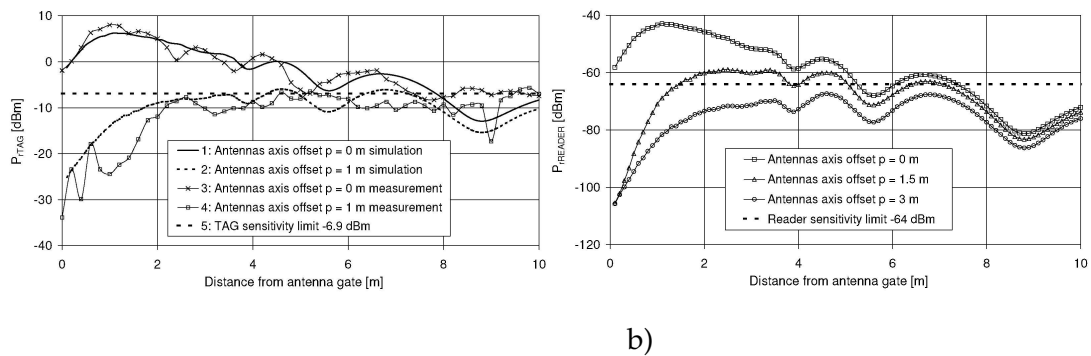
4.2 Testování systému se smyčkovými anténami s vícevrstevným stínícím substrátem

Identifikační systém se smyčkovými anténkami byl testován pro identifikaci osob ve volném prostředí i na chodbách uvnitř budov. TAGy byly realizovány jako standardní identifikační visáčky s fotografií a jménem a připevněny na oděvu monitorovaných osob, viz. Obr. 12.

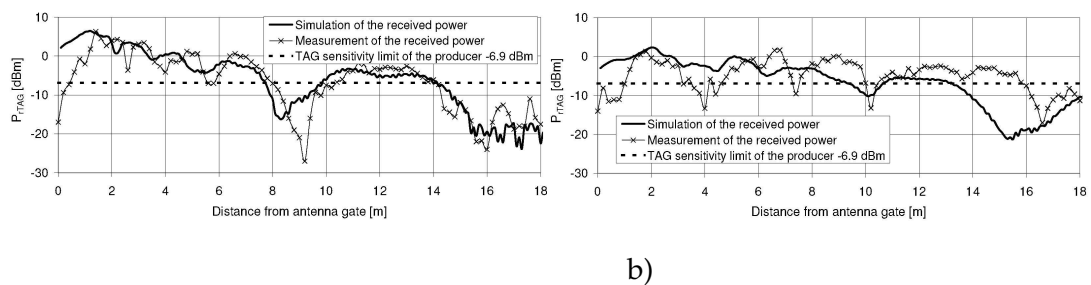


Obr. 12 Testování RFID systému se smyčkovými TAGovými anténami a vícevrstevnými stínícími substráty, a) testovací osoba s připevněným TAGem ve volném prostředí před budovou, b) na chodbě c) detail TAGu

Při testování byly použity TX/RX antény se ziskem 8 dBi standardně dodávané k použité čtečce. Při testování byly měřeny hodnoty maximálního identifikační vzdálenosti $d_{\max}$. Aby bylo možné porovnat naměřené hodnoty $d_{\max}$ s hodnotami očekávanými, jsou na Obr. 13 a Obr. 14 uvedeny vypočtené závislosti $P_{TAG} = f(d)$ a $P_{READER} = f(d)$, a to pro různé hodnoty vzdálenosti od osy TX/RX antén. Pro výpočty byla použita metoda „ray-tracing“, bližší popis je uveden v práci [4]. Hodnoty $d_{\max}$ jsou vzhledem k těmto grafům definovány jako nejvyšší hodnoty d , kde jsou splněny podmínky 1 a 2.



Obr. 13 Vypočtené a změřené hodnoty a) P_{rTAG} , b) $P_{rREADER}$ v závislosti na vzdálenosti d a p ve volném prostředí ($P_{TX} = 35,4$ dBm, $h_1 = 2,5$ m, $h_2 = 1,25$ m, $\psi = 30^\circ$).



Obr. 14 Vypočtené a změřené hodnoty a) P_{rTAG} , b) $P_{rREADER}$ v závislosti na d a p pro případ identifikace na chodbě ($P_{TX} = 35,4$ dBm, $h_1 = 2,5$ m, $h_2 = 1,25$ m, $\square \square \square 0^\circ$).

měření	vzdálenost od osy p [m]	max. identifikační vzdálenost $d_{\max}$ [m]
ve volném prostředí před budovou	0	9
	1	6,5
	2	4
	3	nespolehlivá ident.
na dlouhé chodbě	0	9
	1	8
	1,8	8

Tab. 5 Naměřené hodnoty maximální identifikační vzdálenosti $d_{\max}$

Naměřené hodnoty $d_{\max}$ jsou shrnuty v Tab. 5. Výsledky ukazují, že ve volném prostředí lze osoby identifikovat v oblastech širokých až 5 m a dlouhých až 9 m. Lze předpokládat, že při použití TX/RX antén s vyšším ziskem, popsaných například v [5], lze spolehlivost detekce a dosah ještě nezanedbatelným způsobem zvýšit. Určitým počtem čteček je možné pokrýt důležité části volných prostranství (typicky vstupní brány, prostranství před vstupy do budov, průchody mezi budovami, apod.) tak, že vždy bude dostatečný přehled o aktuálních pozicích osob v daném areálu.

Na chodbách lze díky vlnovodovému efektu očekávat plochu správné identifikace ještě větší, než ve volném prostředí. Naměřené hodnoty dosahu jsou také cca 9 m s tím, že dochází k menší poklesu hodnot $d_{\max}$ s rostoucí hodnotou p . Při použití určitého počtu čteček lze spolehlivě zjišťovat pozice monitorovaných osob v dané budově.

Literatura:

- [1] Finkenzeller, K.: RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, 2nd edition, John Wiley & Sons, ISBN 0-470-844402-7, 2003 Chichester.
- [2] Polívka, M.; Holub, A. & Mazánek, M.: Collinear Microstrip Patch Antenna. Radioengineering, Vol. 14, No. 4, 2005, p. 40-42. ISSN 1210-2512.
- [3] Polívka, M., Švanda, M. & Hudec, P.: Analysis and Measurement of the RFID System Adapted for Identification of Moving Objects., Proceedings of the 36th European Microwave Conference [CD-ROM], pp. 729-732, ISBN 2-9600551-6-0, Manchester, October 2006.
- [4] Polívka, M.; Švanda, M. ; Hudec, P. ; Zvánovec, S.: UHF RF Identification of People in Indoor and Open Areas, In: IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, 2009, vol. 57, no. 5, p. 1341 - 1347.
- [5] Švanda, M.; Polívka, M. & Hudec, P. (2007). Application of the UHF RFID system for the identification of sportsmen in mass races, In: Proceedings of the European Microwave Association. Vol. 3, No. 4 (December, 2007), p. 295-301.
- [6] Trolleyscan, Ltd. (2006). <http://www.trolleyscan.com/>, 2006.
- [7] Švanda M., Polívka M., Hudec P.: RFID of people, kapitola v knize „Development and implementation of RFID Technology, IN-TECH January 2009, ISBN 978-3-902613-54-7

Profesní životopis:

Přemysl Hudec

Narodil se v roce 1958 v Praze. V roce 1977 absolvoval gymnásium a byl přijat ke studiu na elektrotechnické fakultě ČVUT. To ukončil v roce 1982, ve stejném roce nastoupil jako odborný pracovník na katedře elektromagnetického pole, a to v rámci projektu vývoje a aplikací mikrovlnných a milimetrových leteckých radiometrů pro dálkový průzkum zemského povrchu. V roce 1995 obhájil disertační práci na téma „Chlazené mikrovlnné zesilovače“.

Od roku 1984 pracuje na katedře jako odborný asistent. Výuku začal v předmětech Teorie elektromagnetického pole I. a II. Po roce 1990 se podílel na zavedení několika nových předmětů, zejména „Aktivní mikrovlnné obvody“, „CAD pro vysokofrekvenční techniku“, „Mikrovlnné měřicí metody“, „Mikrovlnné měřicí systémy“ a „Měření ve sdělovací technice“. Ve většině těchto předmětů přednáší nebo vede cvičení. Pro předměty „Aktivní mikrovlnné obvody“ a „Měření ve sdělovací technice“ se podílel na napsání výukových skript. Od roku 1983 vedl několik desítek diplomových a bakalářských prací, všechny byly úspěšně obhájeny.

Jeho výzkumné aktivity jsou dlouhodobě zaměřeny na mikrovlnné systémy, měření v oboru VF a mikrovlnné techniky a na programové vybavení pro analýzu a optimalizaci VF a mikrovlnných obvodů a systémů. Například jeho program MCAD byl první program v ČR umožňující analýzu a optimalizaci mikrovlnných obvodů, který měl implementovanu i přesnou šumovou analýzu. Popis použité metody šumové analýzy byl publikován v zahraničním odborném časopise, metoda byla několikrát citována v zahraničních publikacích. Je také autorem koncepce programu TOPNET určeného pro analýzu a optimalizaci koaxiálních i optických sítí televizních kabelových rozvodů. Pomocí tohoto programu byla v ČR navržena velká část sítí pokrývajících několik set tisíc bytových přípojek, a to vždy s velmi dobrou shodou mezi simulacemi a měřeními. V letech 2002 - 2003 řídil tým, který navrhl, vyrobil a instaloval systémy s celkově téměř 1900 senzory pro detekci mobilních telefonů ve 13 objektech Věžeňské služby ČR. Od roku 2006 vede skupinu podílející se na projektu Aktivní obrana bojových vozidel a objektů, a to v rámci programu Tandem financovaném MPO a grantu MO ČR. V rámci těchto programů se věnuje vývoji a testování radarových prostředků pro detekci protipancéřových střel.

Je autorem nebo spoluautorem několika patentů, užitných vzorů a několika desítek publikací na mezinárodních i lokálních odborných konferencích. Je spoluautorem kapitoly v zahraniční knize a článků v prestižním odborném časopise IEEE-MTT.