

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukázka má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



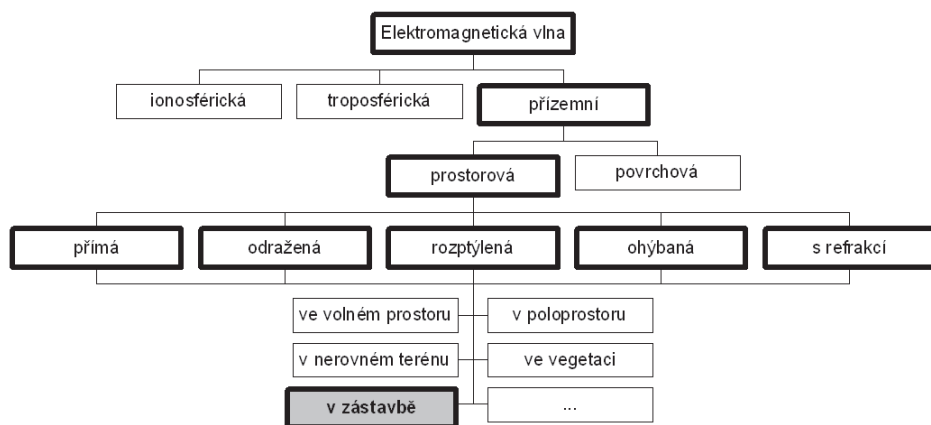
kapitola 2

ŠÍŘENÍ VLN V ZÁSTAVBĚ PRO MOBILNÍ BUŇKOVÉ SYSTÉMY

2.1	Šíření vln v pásmu UHF	10
2.2	Mobilní spoj	13
2.3	Šíření v poloprostoru	16
2.4	Mechanizmy šíření vlny v zástavbě	18
2.5	Modelování šíření vln v zástavbě	21
2.6	Klasifikace modelů šíření vln v zástavbě	24
2.7	Přehled modelů	26
2.8	Příklad výpočtu pokrytí	27

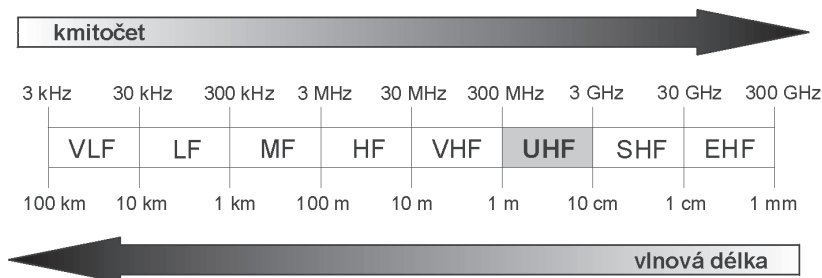
2.1 Šíření vln v pásmu UHF

Klasická teorie šíření elektromagnetických vln vychází z vlnové rovnice, která je odvozena přímo z Maxwellových rovnic [22]. Pro potřeby plánování rádiových komunikačních systémů je důležitá teorie šíření vln v zemské atmosféře ([21], [9]). Na obr. 2.1 je znázorněn jeden ze způsobů klasifikace šíření vlny pro pozemní rádiové systémy z hlediska prostorového uspořádání spoje. Ionosférická a troposférická vlna se šíří s odrazy v atmosféře, zatímco přízemní povrchová vlna se šíří podél rozhraní země-vzduch. Cílem našeho zájmu je tzv. přízemní prostorová vlna, která se šíří v prostoru nad zemským povrchem.



Obr. 2.1 Prostorová klasifikace elektromagnetických vln pro pozemní rádiové spoje

Charakter chování elektromagnetické vlny určuje primárně pracovní frekvence, resp. vlnová délka. Délka vlny a rozměry objektů v prostředí, ve kterém se vlna šíří, totiž determinují, jak se bude vlna při šíření tlumit, odrážet, ohýbat a rozptylovat. Současné pozemní mobilní služby pracují převážně v kmitočtovém pásmu decimetrových vln



Obr. 2.2 Označení frekvenčních pásem pro rádiový přenos dle ČSN IEC 60050-713

UHF (*obr. 2.2*). Důvodem jsou velmi vhodné vlastnosti elektromagnetických vln pro daný typ komunikace na těchto frekvencích: relativně malé ztráty šířením, dobrá schopnost odrazet se, ohýbat se a pronikat překážkami v zástavbě. Vlnové délky umožňují konstrukci relativně malých antén vhodných pro mobilní terminály.

Jak naznačuje diagram na *obr. 2.1*, přízemní prostorová vlna se může šířit buď přímo při přímé optické viditelnosti mezi oběma anténami spoje nebo s odrazy, ohyby a rozptyly na překážkách. Tyto jednotlivé mechanismy šíření se uplatňují především podle typu okolního prostředí, se kterým přízemní prostorová vlna interaguje. Podle tohoto kritéria lze mluvit o vlně šířící se ve volném prostoru, v poloprostoru nad rovinnou zemí, nad členitým terénem, nad terénem s vegetací a konečně vlně šířící se v městské zástavbě, kde odrazy, ohyby a rozptyl vlny způsobují překážky vytvořené lidskou rukou. Ačkoli v reálném světě jsou vlivy jednotlivých typů prostředí většinou neoddelitelné a vzájemně se kombinují (např. vlna se šíří v zástavbě postavené na nerovném terénu s vegetací), otázka modelování šíření se více či méně řeší samostatně. Tato práce je zaměřena na izolovanou problematiku šíření v zástavbě, tj. nezabývá se predikcí šíření vlny nad nerovným terénem, vegetací apod. Díky uvažovanému frekvenčnímu pásmu UHF a relativně krátkým spojům v řádu maximálně jednotek kilometrů je možné zanedbat další jevy při šíření vln v přízemních vrstvách atmosféry, jako jsou troposférická refrakce, útlum hydrometeory, útlum atmosférických plynů aj.

Předmětem našeho zájmu je ta část rádiového komunikačního řetězce mezi vysílačem a přijímačem, která představuje přeměnu elektromagnetické energie vedené (např. napájecím kabelem) na energii vyzářenou pomocí antény, její přenos ve formě elektromagnetické vlny daným přenosovým prostředím a konečně zpětnou transformaci vlny vyzářené na vlnu vedenou. Pro modelování bezdrátového přenosu jsou určující nejen druh spoje a vlastnosti přenosového prostředí, ale i typ a umístění antén. Pro popis tzv. pokrytí, tj. v základním pojetí úroveň signálu generovaného základnovou (vysílací) anténou v daném bodě pozorování, existují dvě možnosti. Úroveň signálu popíšeme jako intenzitu elektrického pole v daném místě nebo jako výkonovou úroveň přijatou referenční anténou. Jako referenční anténa se typicky volí ideálně všesměrová (isotropická) anténa s jednotkovým ziskem (0 dB). Pro zobrazení pokrytí se výkonová úroveň signálu používá velmi často, a to aniž by se údaj o referenční přijímací anténě explicitně uváděl.

Uvedme si několik základních vztahů pro šíření vlny v idealizovaných podmínkách volného prostoru. Pro volný prostor platí

$$E_{\text{ef}} = \frac{\sqrt{30P_V G_V}}{d} \quad (2.1)$$

kde	E_{ef}	je efektivní hodnota intenzity elektrického pole (V/m) v bodě pozorování
	P_V	výkon (W) na vstupu vysílací antény
	G_V	zisk vysílací antény (–) v příslušném směru
	d	vzdálenost (m) vysílací antény a bodu příjmu

Je-li v bodě příjmu umístěna přijímací anténa, lze při stavu impedančního přizpůsobení psát ideální přenosovou rovnici

$$P_P = \frac{E_{ef}^2}{120\pi} \frac{G_P \lambda^2}{4\pi} = P_V G_V G_P \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.2)$$

resp. vyjádřeno jako odstup od šumu (výkonový poměr přijaté úrovně a úrovně šumu)

$$SNR_P = \frac{P_P}{kTB} \frac{1}{F} = \frac{P_V G_V G_P}{kTB} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{F} \quad (2.3)$$

kde P_P je výkon (W) přijatý přijímací anténou v bodě pozorování
 λ vlnová délka (m)
 G_P zisk přijímací antény (–) v příslušném směru
 k Boltzmannova konstanta, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K
 T teplota (K)
 B šířka přenášeného frekvenčního pásma (Hz)
 F šumové číslo (–) přijímače

V praxi se téměř výhradně používá vyjádření v decibelech, tj.

$$P_P = P_V + G_V + G_P - FSL(d) - L \quad (2.4)$$

kde P_P je přijatý výkon (dBm), $P_{dBm} = 10 \log \frac{P_W}{10^{-3}}$
 P_V výkon na vstupu vysílací antény (dBm)
 G_V, G_P zisky antén (dB), $G_{dB} = 10 \log G$

$$FSL(d) \text{ ztráty volným prostorem (dB), } FSL(d)_{dB} = 10 \log \left[\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

L ztráty šířením (dB) v daném prostředí (ve volném prostoru jsou nulové),
 $L_{dB} = 10 \log L$

Ztráty volným prostorem (*free space loss*) přímo v dB lze také spočítat podle

$$FSL(d_{km}) = 32,44 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{km}) \quad (2.6)$$

kde je vzdálenost v km a frekvence v MHz.

Pro převod intenzity elektrického pole na výkonovou úroveň přijatou referenční isotropickou anténou v daném místě platí

$$P_{dBm} = E_{dBu} - 77,2 - 20 \log f_{MHz} \quad (2.7)$$

kde P_{dBm} je výkon (dBm) přijatý isotropickou anténou v bodě příjmu
 E_{dBu} je intenzita elektrického pole (dBmV/m) v bodě příjmu,

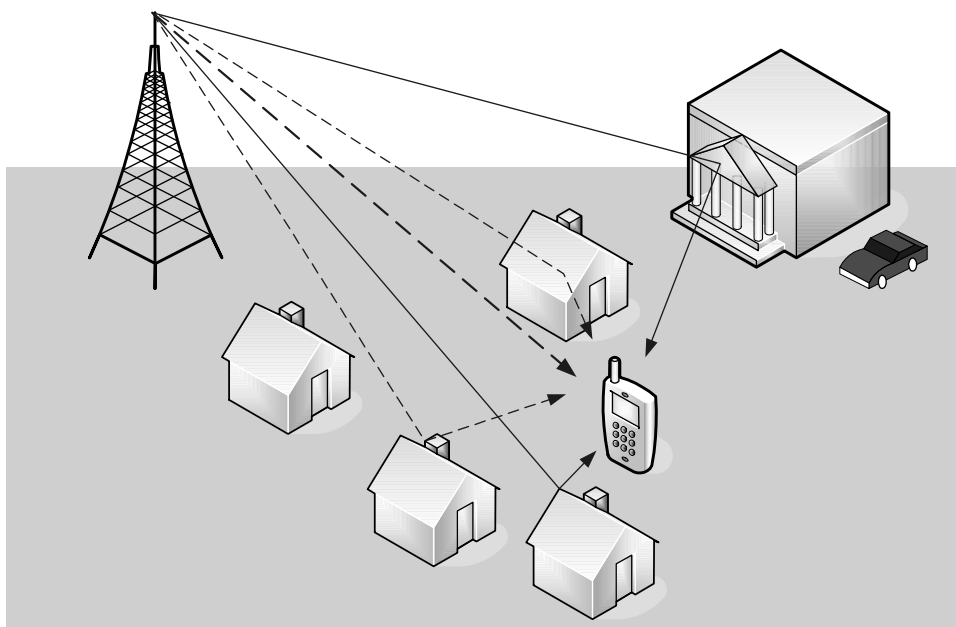
$$E_{dBu} = 20 \log \frac{E_{V/m}}{10^{-6}}$$

f_{MHz} frekvence (MHz)

Odvození a podrobnější rozbor výše uvedených vztahů viz např. [21] nebo [24].

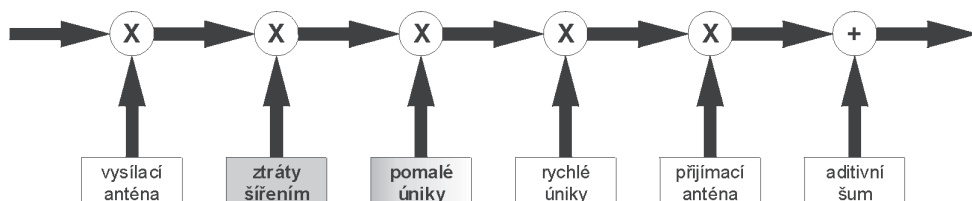
2.2 Mobilní spoj

Předpokládáme pouze mobilní spoj pozemního radiokomunikačního systému v uspořádání podle *obr. 2.3*, kdy je anténa základnové stanice pevně umístěna vzhledem k povrchu země, zatímco anténa mobilního uživatele je pohyblivá.



Obr. 2.3 Geometrie mobilního spoje

Signál šířící se mezi pevnou a mobilní anténou v městském prostředí je tlumen a kolísá působením různých fyzikálních mechanismů. Blokové schéma výkonové bilance přenosu naznačuje *obr. 2.4*.



Obr. 2.4 Mechanismus modelování výkonové bilance rádiového přenosu v zástavbě

Na obou koncích spoje se uplatňuje zisk antén, kterým je nutné vynásobit výkonovou úroveň přijímaného signálu. Na přijímací straně přistupuje aditivní šum, způsobený interferencemi a šumem přijímače. Vlastní útlum šířením daným prostředím je představován třemi multiplikativními složkami:

- Ztráty šířením (*path loss*) – útlum závislý zejména na délce spoje a typu prostředí. Tato časově neproměnná složka představuje střední hodnotu signálu v daném bodě pozorování a jeho okolí. Hodnota je dána průměrem velkého počtu měření okamžité hodnoty úrovně signálu uskutečněných v dostatečně dlouhém časovém intervalu na ploše o průměru řádově několika vlnových délek.
- Pomalé úniky (*slow fading, long-term fading, shadowing*) – útlum způsobený zastíněním spoje (terénem, zástavbou, vegetací, lidmi apod.) při pohybu mobilní antény. Ke kolísání úrovně signálu dochází z hlediska vlnové délky „pomalu“, tj. při změně polohy o řádově minimálně desítky vlnových délek. Hloubka těchto úniků, tj. pokles úrovně signálu vůči základnímu průběhu, může být velmi velká, např. až desítky dB, podle konkrétní situace. Pomalé úniky vykazují logaritmicko-normální rozložení v čase s nulovou střední hodnotou.
- Rychlé úniky (*fast fading, short-term fading, Rayleigh fading*) – způsobují velmi rychlé a hluboké kolísání úrovně signálu. Jsou způsobeny především vícecestným šířením signálu a dopplerovským posuvem, který vzniká důsledkem pohybu mobilní antény a okolních objektů. Elektromagnetická energie se mezi pevnou a mobilní anténou šíří též pomocí odrazů po mnoha různých drahách (paprscích). Díky všesměrové mobilní anténě dochází při vícecestném šíření k fázovému sčítání velkého množství různě odražených paprsků z různých směrů od různých objektů. Tím je vytvářeno v prostoru jakési stojaté vlnění s minimy vzdálenými asi polovinu vlnové délky. Zpoždění odražených paprsků může být značné (např. desítky ms) podle vzdálenosti objektů, od kterých se odráží. Důležitou vlastností rychlých úniků je také skutečnost, že jsou silně proměnné v čase, což je způsobeno jak pohybem uživatele, tak neustále se měnícím přenosovým prostředím. Svojí povahou jsou v širokopásmových přenosech rychlé úniky kmitočtově selektivní, tj. hloubka úniku v daném okamžiku a místě není z hlediska přenosového pásma konstantní. Rychlé úniky vykazují Rayleighovo rozložení v čase s nulovou střední hodnotou. Při přímé viditelnosti mezi pevnou a mobilní anténou, kdy je přímý paprsek dominantní, se pak jedná o zvláštní případ Rayleighova rozložení – Riceovo rozložení. Bližší vysvětlení jednotlivých pojmů (šírokopásmový přenos, logaritmicko-normální rozložení, Rayleighovo rozložení atd.) lze nalézt např. v [39].

Kolísání průběhu přijímané úrovně signálu mobilního spoje při pohybu mobilní antény v městské zástavbě ilustruje *obr. 2.5*. Jednotlivé složky přenosových ztrát korespondují s blokovým schématem na *obr. 2.4* a výše uvedeným popisem. Průběhy v diagramech odpovídají narůstající vzdálenosti mobilní antény od pevné v prostředí městské makrobuňky, kdy je pevná anténa umístěna nad úrovní okolní zástavby.