

**Propojení pomocí mikrovlnných spojů – realizace,
používané technologie a provoz**

Bakalářská práce

Radim Oliva

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ladislav Beránek, CSc., MBA

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra informatiky

2010

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Pedagogická fakulta
Katedra informatiky
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radim OLIVA**

Studijní program: **B1802 Aplikovaná informatika**

Studijní obor: **Výpočetní technika**

Název tématu: **Propojení pomocí mikrovlnných spojů - realizace,
používané technologie a provoz**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Student popíše problematiku a význam mikrovlnných spojů se zaměřením na propojování středních a velkých firem a realizace příspěvkových sítí. Práce bude zaměřena na přehled, popis a vlastnosti používaných technologií včetně jejich charakteristik, které mají majoritní zastoupení na českém trhu (Alcoma, Alcatel, Ericsson, NEC, Orcave). Dále bude obsahovat technický popis použitých modulací a informace o přenosu signálu. V praktické části bude popsán konkrétní projekt od návrhu až po realizaci. Projekt bude obsahovat dokumentaci, přehled a informace o zvolené technologii, směrování, měření kvality signálu, a podrobné nastavení frekvenčního pásma.

Rozsah grafických prací: 60
Rozsah pracovní zprávy: 60
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. Micropoint s.r.o. [online]. 2009 [cit. 2009-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.micropoint.cz/>>.
2. KAISER DATA s.r.o. [online]. 2007 [cit. 2009-04-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/>>.
3. NEC Corporation [online]. 2008 [cit. 2009-04-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.nec.com>>.
4. Miracle group [online]. 2006 [cit. 2009-04-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.orcave.cz>>.
5. Alcatel-lucent [online]. 2008 [cit. 2009-04-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.alcatel-lucent.com>>.
6. Alcoma s.r.o. [online]. 2008 [cit. 2009-04-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.alcoma.cz>>.
7. Svoboda, J. a kolektiv. Telekomunikační technika. 1.-3.díl. Huthig & Beneš, 1998.


Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ladislav Beránek, CSc.
Katedra aplikované matematiky a informatiky

Datum zadání bakalářské práce: 9. dubna 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2010



doc. PhDr. Alena Hošpesová, Ph.D.
děkanka



PaedDr. Jiří Vaníček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 9. dubna 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne

.....

Podpis

Anotace

Tato práce se zabývá obecně problematikou mikrovlnných spojů a bezdrátového přenosu. V práci najdete informace o bezdrátových přenosech rozdělených podle frekvenčního pásma včetně přehledu technologií. Dále bude obsahovat obecné informace o přenosu signálu, používané modulace a zabezpečení dat při přenosu. V praktické části naleznete konkrétní projekt návrhu datové trasy, na kterém jsem spolupracoval a podílel se na samotné realizaci.

Abstract

This work deals with generally questions of microwave connections. In work we found information about wire-less transfers dividend in line with frequence ray inclusive abstrakt of technology. Also there are general information about wireless transfer, used modulations and data security during the transfer. In praktical part we located concrete project of concept data trace, on which I worked and took part on realization.

Děkuji všem, kteří mi během přípravy bakalářské práce pomohli radou či odbornými zkušenostmi a materiály, zvláště panu Ing. Pavlu Růnovi z firmy INTEM spol. s.r.o. a vedoucímu práce Ing. Ladislavu Beránkovi CSc, MBA. Dále děkuji mé rodině a přátelům za podporu během studia.

Obsah

1 Úvod	4
2 Historie a rozvoj elektromagnetických vln	5
2.1 Historie elektromagnetických vln	5
2.2 Rozvoj a použití mikrovln.....	6
3 Elektromagnetické vlnění	7
3.1 Elektromagnetická vlna.....	7
3.2 Elektromagnetické spektrum.....	8
3.2.1 Radiové přenosy	9
3.2.2 Infračervené přenosy	9
3.2.3 Optické přenosy	9
3.2.4 Mikrovlnné přenosy	10
4 Mikrovlnné datové přenosy	11
5 Mikrovlnné antény.....	12
5.2 Základní rozdělení mikrovlnných antén.....	12
5.2.1 Všesměrová anténa.....	12
5.2.2 Sektorová anténa	13
5.2.3 Směrové antény	13
5.3 Primární parametry antén.....	14
5.3.1 Zisk antény	14
5.3.2 Polarizace antény	15
5.3.3 Šířka přenášeného pásma	15
5.3.4 Vyzařovací charakteristiky antén.....	16
5.3.5 Další vlastnosti	17
6 Správa radiového spektra	18
6.1 Bezlicenční provoz.....	18
6.2 Licenční provoz.....	19
7 Wi-Fi.....	20

7.2 Metoda rozprostřeného spektra	20
7.2.1 DSSS	21
7.2.2 FHSS	22
8 Radioreléové spoje	24
8.2 Stanice radioreléového spoje.....	26
8.2.1 IDU	26
8.2.2 ODU	27
8.2.3 Parabolické antény	27
8.2.4 Projektové příslušenství	28
8.3 Telekomunikační rozhraní u RR spojů	28
8.3.1 Rozhraní G.703	28
8.3.2 Rozhraní Ethernet.....	30
8.3.3 Rozhraní G.957	30
8.3.4 Rozhraní X.21	31
8.4 Multiplexování	31
8.4.1 PDH (Plesiochronní digitální hierarchie).....	32
8.4.2 SDH (Synchronní Digitální Hierarchie)	33
8.4.3 Rozdíl SDH a PDH	35
8.5 Zálohování a navyšování rychlosti spoje	35
8.5.1 Konfigurace 1+1.....	36
8.5.2 Konfigurace 2+0.....	36
8.5.3 Konfigurace 4+0.....	36
8.6 Kvalita, spolehlivost a dostupnost spoje	37
8.6.1 Kvalita přenosu	37
8.6.2 Bezpečnost	38
8.6.3 Dostupnost.....	38
8.7 Cena za provoz	39
9 Modulace.....	40
9.1 Kvadraturní amplitudová modulace (QAM).....	40
10 Finanční a technická analýza řešení	42

10.1.1 Varianta 1. - Optický laserový spoj.....	43
10.1.2 Varianta 2. - Kabelové vedení optické a metalické.....	43
10.1.3 Varianta 3. - Wi-Fi	44
10.1.4 Varianta 4. - RR spoj ve volném pásmu	44
10.1.5 Varianta 5. - RR spoj v licenčním pásmu	44
10.1.6 Varianta 6. - Pronájem digitálního okruhu.....	45
10.2 Výsledek analýzy	45
11 Projekt radiové datové trasy.....	46
10.1 Požadavky a základní údaje	46
10.1.2 Základní údaje.....	47
10.2 Projekt bodu trasy Femat Praha – bod A	47
10.3 Projekt bodu trasy RO Cukrák – bod B	49
10.4 Profil terénu trasy	51
10.4.1 První Fresnelova zóna	52
10.4.2 Výpočet vlnové délky	53
10.5 Výpočty útlumu trasy	54
10.5.2 Útlum mezi vysílačem a přijímačem.....	54
10.5.3 Přijímaná úroveň signálu.....	54
10.5.4 Výpočet rezervy na únik	54
10.6 Měření chybovosti BER.....	55
12 Závěr	55
12 Seznam použité literatury	56
13 Seznam zkratk	59

1 Úvod

Téma mikrovlnných spojů jsem si vybral sám na základě svých předchozích zkušeností s jejich výstavbou nejdříve v rámci mé povinné praxe na střední škole a poté i dalších pracovních zkušeností ve firmě INTEM spol. s.r.o. Svou práci jsem zaměřil zejména na pozemní datové radioreléové spoje bod-bod, avšak chci se také zmínit o dalších mikrovlnných technologiích. Hodně knižních publikací a příruček na internetu se zabývá mikrovlnnou technikou pouze v rozsahu sítí standardu IEEE 802.11 a hlavně tedy technologií Wi-Fi, která je pro běžného uživatele nejvíce rozšířená. Radioreléové spoje jsou zde zmiňovány spíše jen okrajově, zřejmě pro jejich hlavní využití v profesionálním provozu, který se kvalitativně výrazně liší od výše uvedených standardů a zřejmě i z důvodů vyšší finanční náročnosti není mezi běžnými uživateli příliš rozšířený. Proto bych rád ve své práci čtenáře seznámil s jejich významem a možnostmi využití.

Na úvod čtenáře seznámím s významem mikrovln jako nosičem dat a popíši technologie, které pracují na jejich základě. Dále jsem se zabýval funkcí Českého telekomunikačního úřadu jako hlavního orgánu pro správu radiového spektra. Hlavním tématem, kterému jsem se věnoval, jsou pozemní radioreléové spoje. V tomto případě jsem se zaměřil na jejich rozdělení dle významu, provozu a konfigurace. Dále jsou uvedeny informace o rozhraní, přenosových rychlostech a technickém vybavení RR spojů.

V praktické části jsem pracoval na konkrétním projektu radioreléové datové trasy. Vypracoval jsem finanční a technickou analýzu variant řešení. V analýze zohledňuji technologické a finanční požadavky trasy, kde je výsledkem vybrání vhodné varianty pro realizaci. V rámci projektu jsem počítal útlumové hodnoty a rezervu na únik, na kterých závisí výběr vhodné technologie. Provedl jsem digitální profil

terénu za účelem ověřit a dokázat přímou viditelnost a volnou první Fresnelovu zónu ve vybrané lokalitě. Následuje podrobný popis konkrétního projektu RR trasy, na které jsem pracoval. K mé další práci patřila samotná realizace tohoto spoje. Jedná se konkrétně o vybudování příspěvkové sítě mezi zákazníkem a objektem ČRa pomocí RR zařízení.

2 Historie a rozvoj elektromagnetických vln

Základní médium pro přenosy v mikrovlnných pásmech je elektromagnetické vlnění s kmitočty nad 1 GHz. Na úvod zmíním informace z historie a teorie elektromagnetického vlnění.

2.1 Historie elektromagnetických vln

Elektromagnetické vlny byly objeveny nejdříve teoreticky. Učinil tak James Clerk Maxwell, když v roce 1873 přišel ve svém díle „Treatise on Electricity and Magnetism“ s hypotézou o existenci elektromagnetických vln, pohybujících se ve vakuu rychlostí světla. Světlo bylo přitom pokládáno za jeden z druhů tohoto vlnění. V té době ho téměř nikdo v tomto směru nebral vážně. Jeho odvození vlnové rovnice pro vektory intenzity elektrického pole E a magnetické indukce B bylo chápáno pouze jako matematická hříčka bez hlubšího fyzikálního obsahu. Existenci elektromagnetických vln dokázal až Heinrich Hertz, profesor techniky v Karlsruhe v roce 1888 pomocí přístroje na produkci a detekci velmi krátkých vln, v jejichž spektru jsou mikrovlny (obr. 1). Při své práci využil Ruhmkorffův induktor, schopný vytvořit velmi silný potenciál elektrického pole, k němu byl připojen vysílač tvořený v podstatě přerušením sekundární cívky. Přijímačem byl poté rovněž přerušovaný vodič, šlo vlastně o klasickou půlvlnou dipólovou anténu. Hertz pozoroval, že po spuštění induktoru prochází přijímačem elektrický proud. Vzhledem k tomu, že přijímač a vysílač nebyly nijak přímo propojeny, jediné možné vysvětlení spočívalo v tom, že se

elektromagnetické pole mezi oběma aparaturami šíří vzduchem. Tím byla existence elektromagnetického vlnění mimo veškerou pochybnost dokázána. Šlo vlastně o rádiové vlny, jejichž vlnová délka se pohybovala v řádu desítek centimetrů. [1]



Obr. 1 – Aparatura Heindricha Hertze

2.2 Rozvoj a použití mikrovln

V souvislosti s rozvojem radarové techniky v období před a během druhé světové války konečně našly své místo na slunci i mikrovlny. První využití výkonného generátoru mikrovlnné energie se datuje roku 1937, kdy byl ve Velké Británii vytvořen systém protivzdušné obrany s názvem Chain Home. Jednalo se v podstatě o radarový systém umožňující zachycovat polohu nepřátelských letounů. Další vývoj magnetronu jako významného zdroje mikrovlnné energie probíhal během samotné války. Pokroky v této oblasti jsou spjaty především se společností Raytheon, která se na problematiku mikrovlnného radarového systému vysloveně specializovala. O výzkum mikrovln v oblasti využití pro člověka se zasloužil především Percy Spencer, který pracoval jako zaměstnanec firmy Raytheon a konstruoval magnetrony. Faktu, že mikrovlny mohou sloužit k ohřevu potravin, si poprvé všiml právě Percy Spencer, když vyráběl magnetron a zjistil, že se mu v kapse rozpustila čokoláda. Stalo

se to roku 1945, a položil tak základy k sestrojení mikrovlnné trouby. Mikrovlny můžeme použít k těmto účelům:

- komunikace – obecně medium k přenosu poměrně velkého objemu dat - (radar, televize, mobilní telefony, satelitní vysílání, telekomunikace...),
- ohřev a zpracování potravin,
- sušení různých materiálů (keramika, dřevo),
- v chemii – ovlivňování průběhu reakcí,
- v lékařství – sterilizace materiálu,
- hubení škůdců v domácnosti.

Ve své práci se budu dále věnovat mikrovlnám jako nosiči datového signálu. [2], [3]

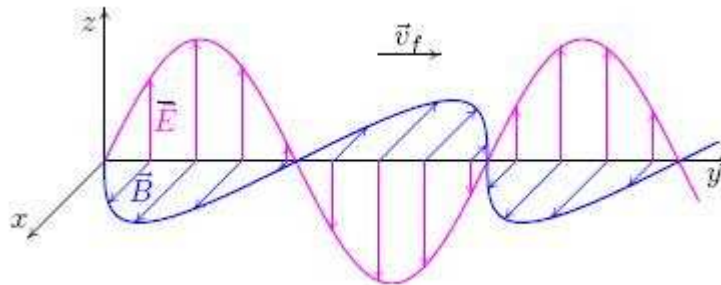
3 Elektromagnetické vlnění

3.1 Elektromagnetická vlna

Elektromagnetická vlnění se skládají ze dvou složek, elektrické intenzity a magnetické indukce. Vlna elektrické intenzity E (na obr. 2 kmitající svisle a zobrazena růžově) a magnetické indukce B (na obr. 2 kmitající vodorovně a zobrazena modře). Tyto složky jsou na sebe navzájem kolmé, stejně jako jsou kolmé na směr, kterým se šíří. Rychlost šíření elektromagnetické vlny záleží na prostředí, ve kterém se vlna šíří. Ve vakuu a přibližně tedy i ve vzduchu se tyto vlny šíří rychlostí světla – 300 000 km/s. Vlastnosti elektromagnetických vln záleží na vlnové délce. Vlnová délka je vzdálenost mezi dvěma vrcholy elektromagnetického záření (obr. 2). Sinusovka (obr. 2) je tvořena periodicky opakujícími se cykly. Počet kmitů za jednu vteřinu označuje kmitočet neboli frekvenci f . Délka jednoho kmitu se rovná délce vlny λ . Vzájemný vztah mezi kmitočtem f a vlnovou délkou λ je vyjádřen pomocí rychlosti v jako (Rovnice 1): [4], [5]

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

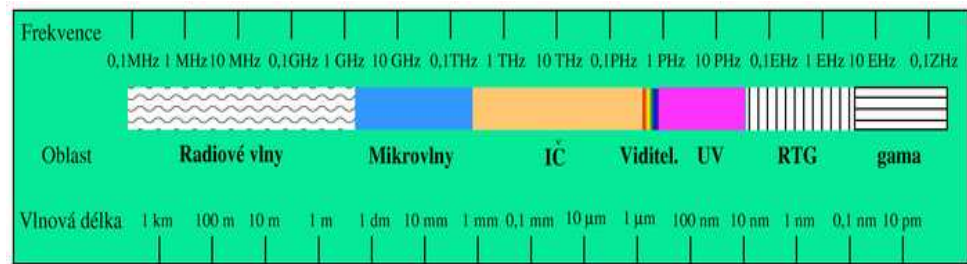
Rovnice 1



Obr. 2 - Elektromagnetická vlna

3.2 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetická záření různých vlnových délek tvoří elektromagnetické spektrum (obr. 3). Podle vlnové délky respektive frekvence rozlišujeme několik druhů elektromagnetického záření. Mezi jednotlivými druhy elektromagnetického záření není ostrá hranice, přechody mezi nimi jsou plynulé nebo se i oblasti jednotlivých druhů záření překrývají. Název vlnění určujeme totiž také podle původu, nikoli jen podle frekvence. Mikrovlny se nacházejí ve spektru mezi radiovými vlnami a infračerveným zářením. Pro přenos dat můžeme využívat radiovou, mikrovlnnou, infračervenou a i viditelnou část spektra. Vyšší části spektra UV, rentgenové záření či gama záření by teoreticky měly být k přenosům dat nejvýhodnější, protože mají největší šířku přenosového pásma, a měly by tudíž dosahovat nejvyšších přenosových rychlostí. Bohužel z praktických důvodů nejsou pro datové přenosy použitelné. Nejen, že je lze jen velmi obtížně modulovat (tj. „nakládat“ na ně potřebný informační obsah), ale především jsou škodlivé lidskému zdraví. [4], [5]



Obr. 3 - Elektromagnetické spektrum

3.2.1 Radiové přenosy

Elektromagnetické vlny v části rádiového spektra lze poměrně jednoduše generovat a přijímat. Jejich dosah je poměrně velký a mohou dokonce prostupovat některými druhy překážek. Jejich šíření může být i všesměrové, tudíž vysílací antény mohou pokrývat signálem velkou oblast okolo vysílače. Na přenos datového signálu se využívají s podmínkou přesných specifikací zejména na způsob modulace s ohledem na efektivní využití použitelné šířky pásma.

3.2.2 Infračervené přenosy

Přenosy v infračerveném pásmu jsou využívány výhradně na velmi krátké vzdálenosti. Nevýhodou je, že vlny neprostupují překážkami, odráží se a navíc není vhodné používat tento způsob komunikace mimo budovy. Tento druh přenosu je běžně využíván u dálkových ovladačů pro domácí elektronická zařízení nebo u připojení periferních zařízení k počítači.

3.2.3 Optické přenosy

Tento způsob komunikace používáme hlavně v optických vláknech, ale optické přenosy můžeme šířit i volně vzduchem. Tato technologie v sobě skrývá mnoho výhod, a to velké přenosové rychlosti pro přenos hlasu i dat a technicky obtížnou možnost odposlechu při přenosu. Šíření probíhá v pásmech mimo evidenci ČTÚ, takže provoz nepodléhá žádným licencím. Bohužel tato technologie má i jednu velkou

nevýhodu, a tou je nemožnost realizace spoje na delší vzdálenosti, kterou znemožňuje útlum světla v atmosféře, na který mají velký vliv povětrnostní podmínky.

3.2.4 Mikrovlnné přenosy

Do mikrovlnného přenosu můžeme zařadit vše, co využívá mikrovlny k přenosu informací a využívá tedy vlny o délce větší než 1 mm a menší než 1 m, kterým odpovídá frekvence přibližně 1GHz – 300 GHz. Mikrovlny dále dělíme dle vlnové délky na UHF, SHF a EHF (Tab. 1). Mikrovlnná energie patří k neionizujícím druhům elektromagnetické energie. Nevývolává žádné chemické změny na rozdíl od ionizujících rentgenových paprsků. Jedním z důležitých jevů mikrovln je polarizace. Intenzita vln kmitá vždy kolmo na šíření vlny, ale v různých směrech. Polarizací vznikne paprsek pouze s určitým směrem (i více směry) kmitání intenzity (např. lomem, odrazem, polarizátorem). Pokud vlna při své cestě narazí na nějakou překážku, odrazí se a vznikne tzv. stojaté vlnění. Pro něj je charakteristické, že všechny body kmitají se stále stejnou amplitudou. Místa s největší amplitudou se nazývají kmitny s nulovými uzly. Difrakce je důsledkem Hygensova principu, který říká, že každý bod vlnoplochy je novým zdrojem vlnění. Pokud vlna narazí na štěrbinu nebo jinou překážku rozměrově srovnatelnou s vlnovou délkou, můžeme tento princip pozorovat. Intenzitu vlny totiž nenaměříme pouze přímo za štěrbinou, ale i po stranách. Vlny můžeme vést různými vlákny nejlépe rozměrově srovnatelnými s vlnovou délkou (např. optická vlákna). Uvnitř vlákna dochází k opakovaným odrazům a vlna projde až nakonec. Na rozhraní dvou prostředí, ve kterých se vlna šíří s jinou rychlostí, dochází k odrazu, a je-li překročen mezní úhel, tak také k lomu. [7], [6]

	Frekvence	Vlnová délka	Označení
Mikrovlny	1 – 3 GHz	0.3 - 0,1 m	Ultra krátké vlny (UHF)
Mikrovlny	3 - 30 GHz	100 - 10 mm	Super krátké vlny (SHF)
Mikrovlny	30-300 GHz	10 - 1 mm	Extrémně krátké vlny (EHF)

Tab. 1 – Rozdělení mikrovln

4 Mikrovlnné datové přenosy

Na principu mikrovlnného přenosu dat pracuje velké množství techniky. Pokud se budu zabývat technologiemi k přenosu počítačových dat, hlasu a obrazu, tak do této oblasti spadají všechny druhy mobilních sítí standardu GSM, přístroje komunikující dle normy DECT a družicové mikrovlnné přenosy, technologie Wi-Fi a WiMAX. Dalším významnou službou, která využívá mikrovln, jsou pozemní radioreléové spoje v licencovaných a bezlicenčních pásmech, kterým se budu věnovat více později. Mikrovlny se šíří přímočaře tak, že veškerá energie je soustředěna do úzkého svazku – dáno typem antény!. Na nižších mikrovlnných frekvencích nemusíme řešit provoz jen jako úzce směrový, ale pomocí všesměrových, nebo často panelových (sektorových) antén signál distribuovat do širšího okolí. Tento princip využívá například právě technologie Wi-Fi a Wimax. Je tedy na uživateli, jaký způsob bezdrátového připojení využije k propojení např. vzdálených LAN sítí, telefonních ústředěn nebo připojení svého pracoviště či domácnosti k internetu. Jednotlivé služby se mezi sebou liší použitím, implementací a v neposlední řadě finanční náročností. K překonání tzv. „poslední míle“ v domácnostech je velmi oblíbená technologie Wi-Fi v bezlicenčních pásmech 2,4 GHz a 5 GHz. V této době se k tomuto účelu pozvolna připojuje technologie Wimax v licenčním pásmu 3,5 GHz, která má oproti Wi-Fi mnoho výhod. Pro náročnější zákazníky, kteří vyžadují vysokou spolehlivost a rychlost přenosu hlasu a dat jsou určena radioreléová pojítka ve vyšších frekvenčních pásmech.

5 Mikrovlnné antény

Antény jsou základní součástí jakékoli elektronické soustavy, která využívá volný prostor, jako prostředí k přenášení informací pomocí elektromagnetických vln. Antény dělíme na:

- přijímací
- vysílací
- přijímací a vysílací zároveň.

Úlohou vysílací antény je vytvářet elektromagnetické pole. To znamená, že logicky musí být posledním článkem vysílače. Přijímací anténa má opačnou funkci. K přenosu dat většinou využíváme plně duplexní provoz, takže používáme antény přijímací a zároveň vysílací. Anténa, jako nejdůležitější prvek v přenosovém řetězci je z pohledu mechanické konstrukce poměrně nenáročná. Avšak u parabolických antén určených pro profesionální provoz je doporučena maximální tolerance nerovnosti povrchu reflektoru cca $0,1 \lambda$.

5.2 Základní rozdělení mikrovlnných antén

Na trhu je mnoho druhů antén, které se mezi sebou na první pohled liší barvou, tvarem, vzhledem a popřípadě dalšími vlastnostmi, ale to pro nás není primárně rozhodující. Podle směru vysílaného a přijímaného signálu dělíme antény na:

- všesměrové
- sektorové
- směrové.

5.2.1 Všesměrová anténa

Všesměrové antény vyzařují maximální výkon všemi směry v horizontální rovině, vykrývají tedy úhel 360° stupňů. Ve vertikální rovině je šířka svazku daleko užší. Šířku svazku můžeme vidět na vyzařovacím diagramu (obr. 7). Používá se například jako centrální AP

v oblasti bez rušení pro příjem Wi-Fi signálu. Všesměrová anténa je na obr. 4.

5.2.2 Sektorová anténa

Sektorové antény vyzařují signál do určitého úhlu, většinou 60° až 180°. Používáme je tam, kde potřebujeme vykryt specifickou oblast signálem. Sektorové antény můžeme například vidět na stožárech mobilních operátorů nebo se často využívají uvnitř budov. Sektorová anténa je na obr. 4.

5.2.3 Směrové antény

Do této kategorie patří směrové parabolické antény. Intenzita vysílaného nebo přijímaného signálu závisí na směru, kterým anténa vysílá. Patří sem všechny parabolické antény pro spoje bod-bod a síťové antény využívané zejména na příjem Wi-Fi signálu. Pootočením lze měnit polarizaci. Síťová směrová anténa je na obr. 5. Pro radioreléové spoje ve vyšších frekvenčních pásmech je nejvhodnější použít úzce směrovou parabolickou anténu (obr. 5).



Obr. 4 – Ukázka všesměrové antény (vlevo) a sektorové antény (vpravo)



Obr. 5 – Parabolická směrová anténa (vlevo) a síťová směrová anténa (vpravo)

5.3 Primární parametry antén

- zisk
- polarizace
- vyzařovací charakteristika
- šířka přenášeného pásma
- vzhled

5.3.1 Zisk antény

Zisk je velmi důležitý parametr antény. Udává, s jakou intenzitou anténa vyzařuje nebo přijímá signál v požadovaném směru. Zjednodušeně řečeno, čím větší zisk, tím slabší signál je schopna anténa zpracovat. Do antény je přiváděn vf. signál z koncového stupně mikrovlnného vysílače. Vyzářený výkon je možno je přímo daný parametry antény a může být několika násobně vyšší než výkon koncového stupně vysílače. Zisk antény je podmíněn její směrovostí, tzn, že na rozdíl od izotropního zářiče je vždy anténa nějakým způsobem směrová, tzn. soustředí svoji vysílací nebo přijímací schopnost jen do určitého směru, zatímco jiný směr se stává "hluchým". Zisk antény je pak vyjádřením poměru, kolikrát je ten určitý preferovaný směr antény zvýhodněn oproti situaci, kdyby se anténa chovala ve všech směrech stejně. Udáváno v jednotkách decibel dBi (decibelech na isotrop). Na

vyzařovacích diagramech směrových antén (obr. 9) si lze povšimnout toho, že čím více se se vzrůstajícím ziskem zmenšuje vyzařovací úhel a hlavní lalok je užší, tím je anténa směrovější. Činitel zisku neboli zisk antény je určen vztahem:

$$G = k \times S \text{ [dBi]} \quad \text{Rovnice 2}$$

k - účinnost antény, ve které se projeví ztráty v materiálu vodiče, dielektriku a impedančním nepřizpůsobení, S - absolutní činitel směrovosti.

5.3.2 Polarizace antény

Rovina polarizace vyzářeného vlnění je dána výhradně konstrukčním uspořádáním antény. V praxi musí být obě strany spoje polarizovány stejně. U většiny směrových antén můžeme měnit polarizaci pouhým otočením antény nebo otočením ODU, ale u některých typů nám to neumožňuje jejich konstrukce. U bezdrátového přenosu rozeznáváme tyto polarizace:

- lineární
- kruhová.

Lineární polarizace – v praxi máme dvojí použití a to horizontální a vertikální.

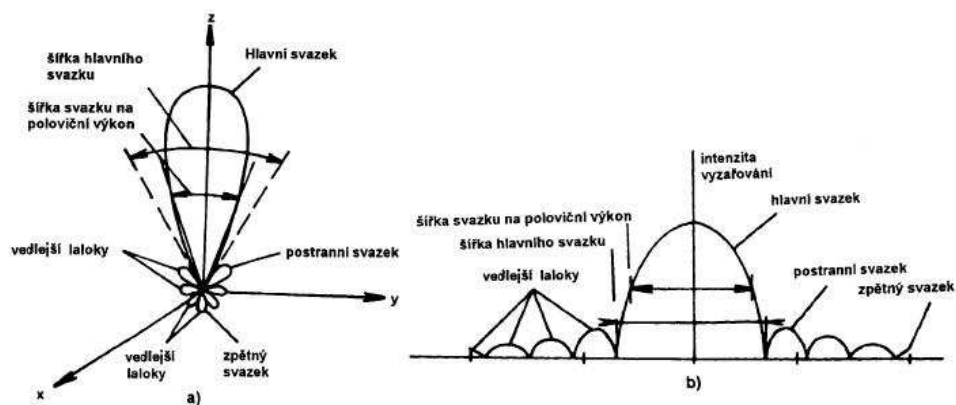
Kruhová polarizace - dělí se na pravotočivou a levotočivou.

5.3.3 Šířka přenášeného pásma

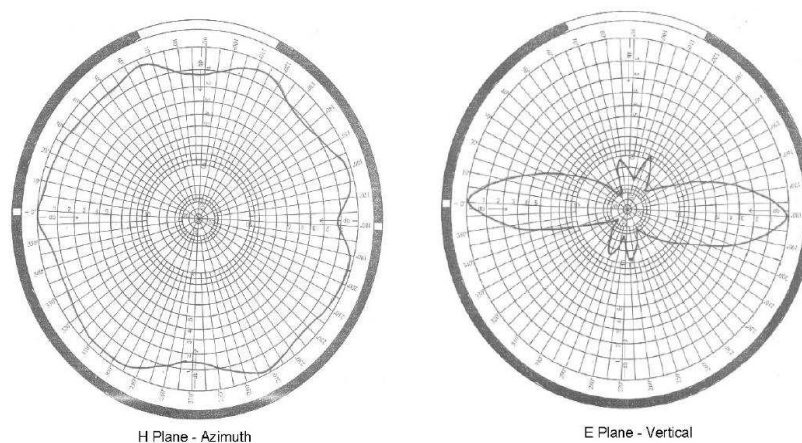
Jedná se o údaj, který udává rozmezí kmitočtů, pro které lze anténu použít.

5.3.4 Vyzařovací charakteristiky antén

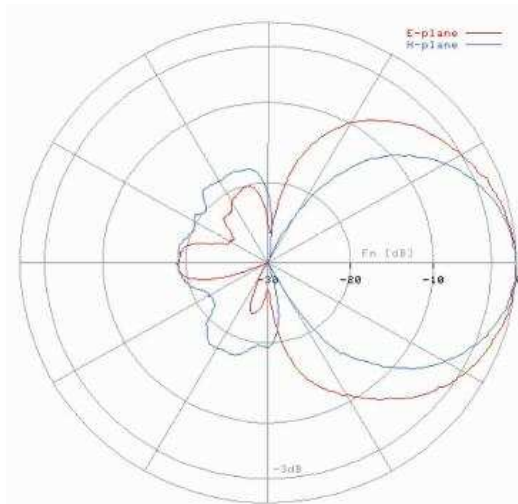
Vyzařovací charakteristiky jsou znázorněny zpravidla diagramy v závislosti na azimutu ($0-360^\circ$) a výškovém úhlu. Důležitým parametrem je vyzařovací úhel.



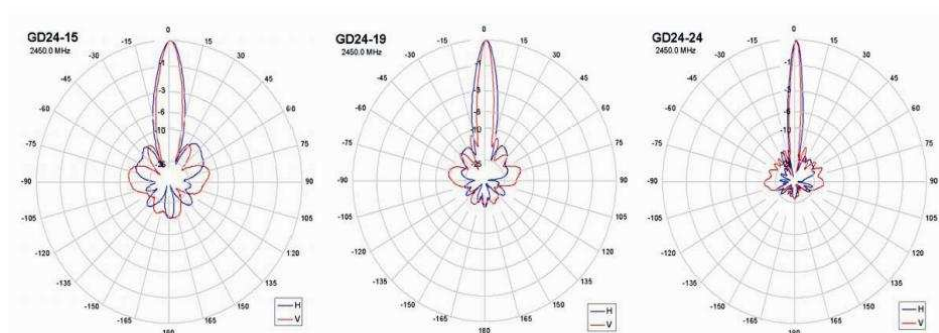
Obr. 6 - Vyzařovací a směrové charakteristiky antén



Obr. 7 - Všesměrová anténa, horizontální a vertikální směr



Obr. 8 - Sektorová anténa, vertikální směr (červeně) a horizontální směr (modře)



Obr. 9 - Směrová anténa 15, 19 a 24dB v pásmu 2,4GHz

5.3.5 Další vlastnosti

V žádném případě nejsou zanedbatelné vlastnosti jako rozměry a váha antény. U antény na venkovní použití to může hrát velkou roli, protože anténa musí odolávat povětrnostním a klimatickým vlivům. Dle hmotnosti a rozměru musíme volit vhodné uchycení. Zejména parabolické směrové antény jsou velice náchylné na vychýlení kvůli větru, proto se konstruují jako síta nebo paraboly, které mají plastové kryty válcovitého nebo kapkovitého tvaru, proto snadno odolávají větru. Dále venkovní antény musí být dobře chráněny proti vlivům vlhkosti, z toho důvodu by měly být z neoxidujícího materiálu. U vnitřních antén např. pro použití jako přístupový AP bod k internetu už hraje určitou roli pro zákazníka i design. [8], [9], [10]

6 Správa radiového spektra

Správu radiového spektra vykonáva v Českej republike Česká telekomunikační úřad (ČTÚ). Správou spektra se rozumí sestavování plánu kmitočtových pásem, který též můžeme najít pod názvem Národní kmitočtová tabulka. ČTÚ se zabývá:

- udělování individuálních oprávnění k využívání rádiových kmitočtů,
- udělování rádiových kmitočtů,
- přidělování volacích značek a identifikačních čísel kódů,
- kontrola využívání radiového spektra.

Radiové spektrum můžeme z pohledu využívání kmitočtů rozdělit na provoz:

- na základě všeobecného oprávnění
- na základě licenčního oprávnění.

6.1 Bezlicenční provoz

Nemusíme žádat o povolení (licenci), ale musíme se řídit pravidly podle všeobecných oprávnění. Neprobíhá zde ani ústřední plánování a evidence jednotlivých spojů. Velkou výhodou je, že provoz zde není zpoplatněn. Nevýhodou je, že ČTÚ nám ve volných pásmech nezaručí ochranu proti rušení od jiných spojů v dané lokalitě. Do této kategorie patří pásmo 2400–2483,5 MHz, které je v současné době velmi intenzivně využíváno. Na základě všeobecných oprávnění VO-R/12/08.2005-34 a VO-R/10/03.2007-4 toto pásmo sdílejí aplikace bezdrátových sítí včetně bezdrátového internetu, zařízení bluetooth a některé další aplikace (bezdrátové kamery, železniční aplikace, RFID, mikrovlnné trouby, ad.). Státní kontrola elektronických komunikací řeší poměrně často problémy způsobené zejména nedodržením stanoveného výkonu a podle zákona č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o elektronických

komunikacích) je postihuje. V oblasti 5 GHz je možný provoz podle VO-R/12/08.2005-34 a VO-R/10/03.2007-4 v pásmu 5,15–5,35 GHz (pouze uvnitř budov), v pásmu 5,470–5,725 GHz (standard IEEE 802.11a) a s malým výkonem (25 mW e.i.r.p.) též v pásmu 5,725–5,875 GHz. Další frekvenční pásma, kde lze provozovat zařízení na základě VO jsou např. 10,5 GHz, 24 GHz a 80 GHz. Dále sem můžeme zařadit zařízení typu DECT. Plné znění všeobecných podmínek můžeme najít na stránkách Českého telekomunikačního úřadu.

6.2 Licenční provoz

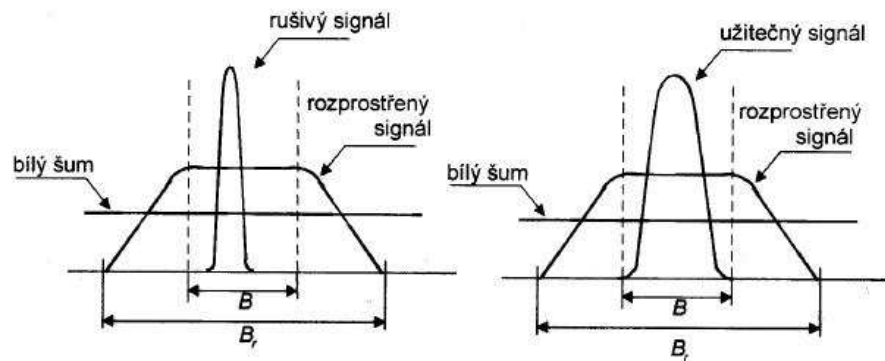
O oprávnění musíme požádat na ČTÚ. V tomto případě lze počet oprávnění omezit a vypsát na ně výběrová řízení. Pro oprávnění k využívání je potřeba splnit řadu podmínek a platit poplatky. Nejdříve musíme požádat o přidělení nevyužitých pracovních kmitočtových "kanálů" v lokalitě instalace, povolení k provozu spoje a následně provozovatel spoje hradí regulačnímu orgánu roční poplatky za využívání přidělených kmitočtových kanálů. Protože přidělování nevyužitých kmitočtových kanálů je ústředně plánováno a je zpoplatňováno, má provozovatel spoje v tomto případě zajištěnu ochranu proti rušení, způsobenému provozem jiných spojů v dané lokalitě. Zde bych rád upozornil na obecně zažitou a bohužel nesprávnou představu, že provozovatel spoje má současně zajištěnu i ochranu proti zastínění paprsku spoje novými stavbami apod. Tuto ochranu si lze plně zajistit pouze Územním rozhodnutím o ochranném pásmu, vydaném příslušným stavebním úřadem na základě žádosti provozovatele spoje. Do této kategorie patří frekvenční pásma 3,5 GHz, 7 GHz, 11 GHz, 13 GHz, 15 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 26 GHz, 38 GHz, 40 GHz. [13]

7 Wi-Fi

Pásmo 2,4 GHz bylo původně vyčleněno pro průmyslové, vědecké a lékařské potřeby jako tzv. ISM pásmo (Industrial Scientific and Medical). V devadesátých letech bylo pásmo využíváno hlavně pro bezdrátové telefony a mikrovlnné trouby. Provozovatelé bezdrátových sítí vstupovali postupně do tohoto segmentu s vlastní technologií, která neumožňovala spolupráci zařízení různých výrobců. Až díky IEEE 802.11 byly technologie sjednoceny pod označením Wi-Fi. Tyto technologie se provozují v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz. Wi-Fi technologie byla primárně navržena pro použití uvnitř budov, ale později se začala hojně využívat i mimo budovy např. jako spoje „poslední míle“. Pracuje v bezlicenčních pásmech, proto k jejímu provozování nepotřebujeme žádné povolení, jen musíme dodržovat všeobecné podmínky (viz Bezlicenční provoz). Problém hlavně pásma 2,4 GHz je vzájemné rušení, protože v hustě obydlených lokalitách je velký provoz těchto zařízení. Přesněji řečeno je třeba potlačit úzkopásmový rušivý signál, který může být součástí šumu v přijímaném signálu. Při demodulaci přijímaného signálu proniká rušivý signál do obvodů standardního zpracování, a je-li jeho výkon dostatečně velký, je přenos užitečného signálu zcela znehodnocen. Pro odstranění vlivu úzkopásmového signálu používáme metodu rozprostřeného spektra.

7.2 Metoda rozprostřeného spektra

Princip spočívá v přeměně rušivého úzkopásmového signálu na širokopásmový. Standardní metody jsou navrženy na potlačení právě širokopásmového signálu, takže potlačí i tento přeměněný signál. Spektrum signálů můžete vidět na obr. 10.



Obr. 10 - Spektrum signálu před aplikací (vlevo) a po (vpravo)

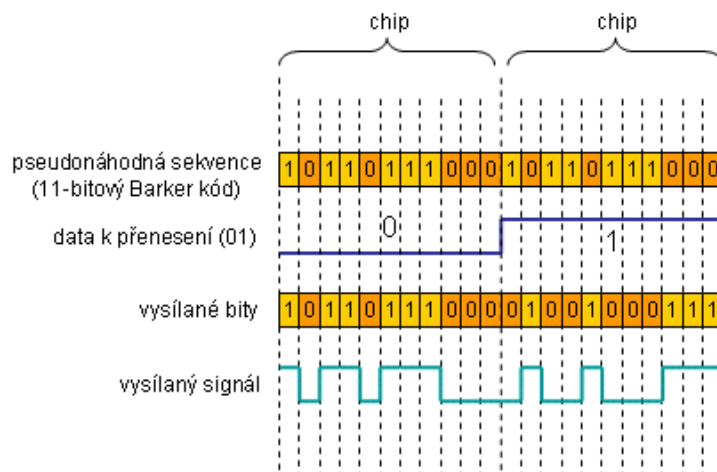
Ve vysílači je užitečný signál rozprostřen na širokopásmový signál. Na vstupu přijímače je pak součet rozprostřeného užitečného signálu se šířkou pásma B_r , úzkopásmového rušivého signálu a bílého šumu. Po aplikaci metody rozprostřeného spektra – rozprostření z hlediska rušivého signálu, z hlediska užitečného signálu se jedná o kompresi spektra – pak do obvodů standardního zpracování (se šířkou pásma B rovnou šířce pásma užitečného signálu) vstupuje součet úzkopásmového užitečného signálu, rozprostřeného rušivého signálu (se stejnou šířkou pásma B_r jako měl rozprostřený užitečný signál) a bílého šumu. V důsledku rozprostření výkonu rušivého signálu do širokého kmitočtového pásma vstupuje do zpracování standardními metodami podstatně menší výkon rušivého signálu. Používání rozprostřeného spektra nepřináší žádnou zvláštní odolnost proti rušení způsobenému dalšími obdobnými systémy. Nejrozšířenějšími metodami rozprostření spektra: [11],[12]

- rozprostření přímou posloupností (DSSS)
- frekvenčním přeskokováním. (FHSS)

7.2.1 DSSS

Technika přímo rozprostřeného spektra (Direct Sequence Spread Spektrum) předpokládá, že každý jednotlivý bit, určený k přenosu, je nejprve nahrazen určitou sekvencí bitů, a skutečně přenášena

(modulována na nosný signál) je pak až tato sekvence bitů. Například standard 802.11 pro přenosové rychlosti 1 Mbps a 2 Mbps počítá s tím, že každý bit je nahrazen 11 – bitovou sekvencí bitů (tzv. Barkerovým kódem), označovanou také jako tzv. chip. Jde tedy vlastně o umělé zavedení redundance (nadbytečnosti), podobné tomu, které se při datových přenosech někdy používá pro zajištění větší spolehlivosti přenosů (jde o tzv. samoopravné kódy, umožňující příjemci opravit část eventuelních chyb při přenosech). Zde je ale důvod pro zavedení takovéto redundance jiný - signál je zde rozprostřen do větší části spektra, je méně citlivý vůči rušení (což opět zvyšuje spolehlivost přenosu), a ostatním uživatelům se jeví jako náhodný šum (k tomu je zapotřebí, aby příslušná sekvence bitů, alias chip, byla volena alespoň pseudonáhodně). [12]

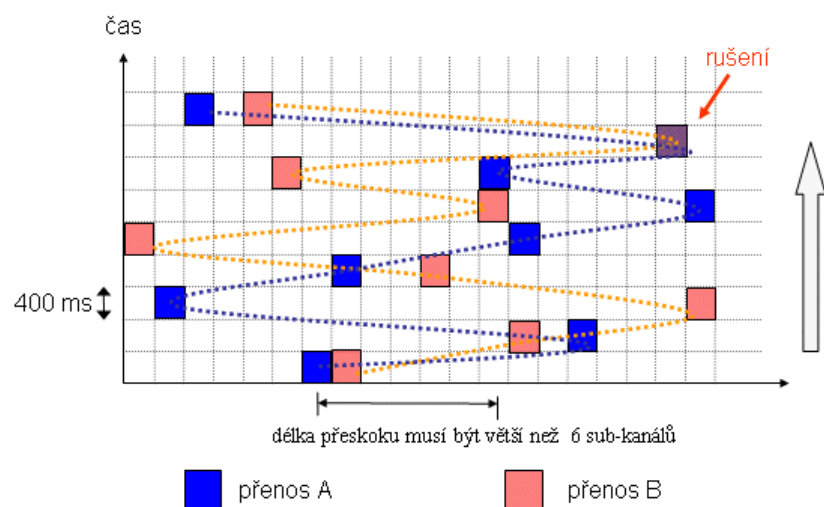


Obr 11 – Princip DSSS

7.2.2 FHSS

Princip této techniky je velmi jednoduchý, nosný signál s namodulovanými daty je vysílán na určité frekvenci (resp. v úzkém frekvenčním pásmu, sub-kanálu, v případě 802.11 o šířce 1 MHz) jen po velmi krátkou dobu (maximálně 400 milisekund), a poté "přeskočí" a pokračuje na jiné (dostatečně "vzdálené") frekvenci, a takto se vše trvale opakuje - s tím že vysílající i přijímající strana dopředu zná přesnou

sekvenci "přeskoků". Představu ilustruje obrázek. Když tuto techniku původně zavedli vojáci, sledovali především to, aby nepřítel nedokázal sledovat posloupnost přeskoků a tudíž ani nemohl zachytit celé vysílání jako takové (maximálně zachytil jen velmi krátké úryvky na jednotlivých sub-kanálech). V sítích WLAN se tohoto efektu využívá k tomu, aby se omezil vliv "souběhů", kdy různé přenosy využívají stejné frekvence. Ani při vhodně volených sekvencích přeskoků sice nejsou vyloučeny souběhy a vzájemné rušení, ale jejich efekt je minimalizován omezenou délkou trvání souběhu dvou přenosů na stejném sub-kanále.



Obr. 12 – Princip FHSS

Vzhledem k velké oblibě této technologie dochází v hustě obydlených oblastech k velkému rušení, z důvodu velkého množství Wi-Fi pojítek v pásmu 2,4 GHz. Částečné řešení může být využití Wi-Fi v pásmu 5 GHz nebo technologie Wimax v licenčním pásmu 3,5 GHz, která zatím není tak rozšířená. Všechny tyto technologie mohou sice dobře sloužit jako spoj tzv. „poslední míle“ zpravidla pro připojení do sítě internet. Pokud budeme ale potřebovat kvalitní propojení dvou míst (spoj bod-bod) navíc s potřebou přenosu hlasu, jsou tyto technologie nevyhovující. K překlenutí větších vzdáleností, přenosu telekomunikačních signálů a

spolehlivému přenosu se nejlépe uplatní RR spoje ve vyšších frekvenčních pásmech. [12]

8 Radioreléové spoje

Investice do datových komunikací jsou v současnosti celosvětovým trendem, a proto se dnes z možnosti komunikovat rychleji a snadněji stává cenný, rychle se zhodnocující kapitál. Vzhledem k tomu, že se neustále zvětšují objemy přenášených dat, a tím i nároky na komunikaci, lze tyto mohutné informační toky efektivně zvládnout pouze s podporou špičkových technologií. Mezi takové zcela jistě patří právě radioreléové spoje. RR spoje jsou obecně rádiovými zařízeními, která umožňují bezdrátový přenos elektrických analogových nebo digitálních signálů mezi dvěma body na vzdálenosti až několika desítek kilometrů. V praxi radiovou trasu většinou tvoří více spojů, které jsou sériově spojeny za sebou. Tím vznikají řetězce RR spojů a tím můžeme překlenout velké vzdálenosti. Základní podmínkou je dodržení přímé viditelnosti mezi oběma body (obr. 25), tuto podmínku je však možno obejít retranslací. Radioreléové spoje se používají většinou jako náhrada klasického metalického nebo optického kabelového vedení tam, kde by byla realizace kabelového vedení technicky složitá či nemožná nebo příliš nákladná. Jejich možnosti použití jsou rozsáhlé, nejčastěji a již dlouho se aplikují například při distribuci rozhlasového a televizního signálu mezi jednotlivými vysílači a studii a dále při řešení příčkových propojení mezi telefonními uzly nebo ústřednami. Digitální RR spoje pracují v plně duplexním režimu, to znamená, že spoj je schopný přijímat a vysílat data zároveň. V duplexním režimu spoj musí využívat dvou kmitočtových intervalů současně. Jeden využívá pro vysílání z bodu A do bodu B a další pro vysílání z bodu B do bodu A. Mikrovlny se vždy šíří úzkým svazkem přímočaře k druhému bodu trasy. V posledních letech se rozšiřuje jejich uplatnění například pro:

- realizaci příčkových propojení mezi základnovými stanicemi mobilní telefonie,
- připojení uživatelů k veřejným telekomunikačním sítím,
- řešení privátních podnikových sítí, které umožňují propojení jednotlivých podnikových LAN a telefonních ústředěn do jediné komplexní komunikační infrastruktury.
- Významnými okruhy použití se stávají i aplikace typu záložního spoje kabelových spojů pro případ přerušení kabelového vedení nebo dočasného spoje, který lze velice rychle vybudovat a provozovat do doby vybudování konečných kabelových vedení.

Zcela základní rozdělení radioreléových spojů můžeme provést na základě technologie přenosu na:

- analogové
- digitální.

V kategorii analogových spojů můžeme najít distribuční rozhlasové a televizní spoje nebo například spoje pro kamerové monitorovací systémy, i když je v dnešní době pomalu, ale jistě vytlačují digitální technologie.

Mezi digitální spoje můžeme zařadit všechny datové spoje a většinu telefonních spojů, které můžeme dále rozdělit podle kapacity přenosu na:

- Nízkokapacitní a středněkapacitní s rychlostí 2 Mb/s až 34 Mb/s s označením jako PDH
- Vysokokapacitní s rychlostí nad 34 Mb/s s označením jako SDH

Dalším možné rozdělení může být podle typu spoje na:

- Point to Point spoje realizované mezi dvěma koncovými body.
- Point to Multipoint spoje, které využívají jednoho či více retranslačních bodů z důvodu překonání větších vzdáleností nebo z důvodu překonání překážek na trase.

Rozdělení dle provozu:

- Simplexní režim – spoj pracuje na jedné frekvenci, takže v jednu chvíli buď vysílá nebo přijímá data – nelze současně

- Duplexní režim – spoj pracuje na dvou frekvencích, takže v jednu chvíli může přijímat i vysílat data současně.

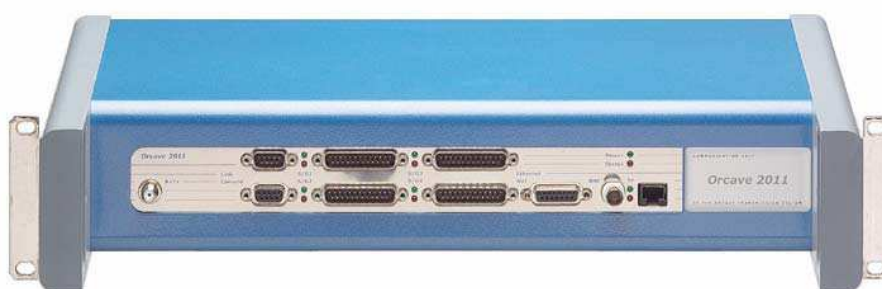
8.2 Stanice radioreléového spoje

Samotná stanice rr spoje se skládá z:

- Parabolické antény
- ODU (outdoor unit) neboli vnější jednotku
- IDU (indoor unit) neboli vnitřní jednotku
- Projektového příslušenství

8.2.1 IDU

Slouží k převodu digitalizovaných dat na modulovaný mezifrekvenční signál, který může projít koaxiálním kabelem do mikrovlnné jednotky a obráceně. Obsahuje časový multiplexor, který slučuje několik vstupně/výstupních modulů. Každý v/v modul je podle svého určení vybaven příslušným počtem typově odpovídajících konektorů. Vybrané modulační schéma určuje celkovou přenosovou kapacitu systému. Jsou ale i spoje, které vnitřní jednotku zcela postrádají, resp. vnitřní jednotka je sloučena s vnější jednotkou. V tomto případě je sveden datový kabel přímo od vnější jednotky k navazujícím aktivním prvkům (server, telefonní ústředna...).



Obr. 13 - IDU jednotka Orcave 2011

8.2.2 ODU

Mikrovlnná jednotka slouží pro vysílání a příjem dat v příslušném frekvenčním pásmu. Obsahuje mikrovlnný vysílač a současně přijímač a další pomocné obvody, které jsou umístěny buď integrovaně přímo zezadu na anténě (zvláště na malých anténách) nebo jsou připevněny zvlášť poblíž antény a s anténou jsou spojeny speciálním krátkým pružným nízkoztrátovým vlnovodem. Spojení s vnitřní jednotkou ODU je provedeno koaxiálním kabelem, který obvykle může dosahovat délky 100 m i více, ODU nepotřebuje zvláštní napájení a bývá napájena přímo po komunikačním koaxiálním kabelu. [14], [15], [16]



Obr 14 - ODU jednotky - Samotná ODU jednotka (vlevo), ODU jednotka upevněná k anténě (vpravo)

8.2.3 Parabolické antény

Anténa je laděný vysokofrekvenční obvod, a proto je velmi důležitou částí přenosového systému. Každá anténní soustava obsahuje optimalizovaný ozařovač, který je tvarovaným vlnovodem fixován v ohnisku parabolické antény. Mikrovlnná jednotka se umísťuje ze zadní části antény na přírubu vlnovodu. Antény a ozařovače jsou před sněhem, deštěm a nečistotou chráněny radomovými kryty, které jsou vyrobeny ze

speciálního UV stabilního a RF vysoce propustného materiálu. Parabolické antény jsou na obr. 5. [14]

8.2.4 Projektové příslušenství

Projektové příslušenství obsahuje prvky nutné pro kvalitní instalaci anténních soustav a zástavbu komunikačních jednotek. Jsou to držáky antén, různé stojany, boční a nárožníkové úchyty pro upevnění antén k nosným konstrukcím, standardizované průmyslové skříně volitelných velikostí a provedení, nepřerušitelné zdroje záložního napájení a instalační materiál (kabely a konektory). [14]

8.3 Telekomunikační rozhraní u RR spojů

8.3.1 Rozhraní G.703

Základem evropských telekomunikačních aplikací je 32 kanálový časově multiplexovaný trakt prvního řádu E1 s rozhraním G.703. Jedná se o 32 paralelních transparentních nezávislých datových kanálů (timeslotů) s kapacitou 64 kbitů/s, které jsou pomocí rámce časového multiplexu přenášeny jako jeden sdružený trakt s celkovou přenosovou kapacitou 2,048 Mbity/s a jednotným dvoudrátovým rozhraním E1/G.703 v symetrickém nebo nesymetrickém provedení. Přesná kapacita je tedy:

$$32 \text{ kanálů} \times 64 \text{ kbitů/s} = 2048 \text{ kbitů/s}$$

U stanic duplexních RR spojů tedy tomuto základnímu traktu odpovídají u nesymetrické verze dva BNC konektory (jeden pro vysílání ze stanice A do stanice B a druhý pro příjem signálu ve stanici A ze stanice B) nebo u symetrické verze obdobně jeden sdružený konektor (obvykle typu Canon nebo RJ-45). Protože všech 32 přenášených kanálů s kapacitou 64 kbitů/s v jednom E1 traktu je transparentních, lze je použít téměř libovolně a kromě digitalizovaných telefonních hovorů lze po jednotlivých kanálech nebo po skupinách kanálů (kanály lze po

násobcích 64 kbitů/s sdružovat do virtuálních sdružených kanálů až do max. kapacity 2048 kbitů/s) přenášet prakticky libovolné digitalizované signály. Pro přímý přístup k jednotlivým 64 kbitovým kanálům slouží multiplexor, což je většinou samostatné externí zařízení, které "zabalí" data z až 30 diskretních portů (po 64 kbitech/s nebo jejich násobcích) do jednoho portu E1/G.703, přičemž je možné volit z mnoha typů rozhraní uvedených diskretních portů (asynchronní data, synchronní data, analogové signály, logické signály, analogová telefonní rozhraní, přímé připojení telefonních aparátů ad.). Propojíme-li tedy dva multiplexory RR pojítkem s E1 traktem, vytvoříme tím transparentní přenosovou cestu, která nám umožní přenášet po jednom médiu různé typy signálů s různou přenosovou rychlostí do maximálního součtu 2048 kbitů/s. Pokud chceme přenášet po traktu E1 pouze jeden typ dat plnou přenosovou rychlostí traktu, pomocí levnějšího speciálního převodníku lze provést konverzi celého E1 traktu na jeden transparentní synchronní datový kanál (např. V35, X.21 nebo RS530) s přenosovou kapacitou 2048 kbitů/s. Pokud tedy vybudujeme RR spoj (nebo složitější trasu) s E1 traktem a k jeho oběma stranám připojíme tyto převodníky, získáme transparentní synchronní datovou linku, kterou můžeme již jednoduše propojit dva datové uzly s použitím standardních poměrně levných komponentů počítačových sítí (např. routerů). Některé výkonnější a dražší routery lze již přímo vybavit rozhraními E1/G.703 a realizovat datová propojení mezi počítačovými sítěmi již jednoduše přímým propojením telekomunikačním pojítkem. Protože přenosová kapacita 2 Mbit/s nebo 30 telefonních hovorů (jeden trakt E1) při praktické aplikaci často nestačí, dodávají většinou výrobci pojítka s několika současně přenášenými trakty E1 po jednom mikrovlnném paprsku, což umožňuje například násobné zvýšení přenosové kapacity jednoho příčkového spoje (trasy) nebo typicky hvězdicový sběr několika příchozích E1 traktů v uzlovém bodě a jejich současný přenos již

sdruženě jedním pojítkem do jiného uzlového bodu. Pojítka Plesiochronní digitální hierarchie (PDH) jsou tedy většinou dodávána v modelech s následujícími počty diskretních E1 kanálů: 1×E1, 2×E1, 4×E1, 8×E1 nebo 16×E1.

8.3.2 Rozhraní Ethernet

Protože z původních hlavně telekomunikačních aplikací se RR spoje v poslední době masově nasazují i do typicky datových aplikací. Jedním z případů může být propojení mezi dvěma nebo více počítačovými sítěmi LAN. Výrobci pojítek začali osazovat již přímo vnitřní jednotky RR pojítek Ethernet rozhraními s integrovaným bridgem, která odstraňují problém poměrně drahé konverze z telekomunikačních rozhraní externími zařízeními a umožňují přímé připojení pojítek do sítí LAN na obou stranách spoje. Oproti pojítkům vyvinutým přímo pro datové přenosy jako jsou například pojítka Wi-Fi v pásmech 2,4 a 5 GHz je v těchto RR spojích uvnitř opět prováděna konverze na standardní E2 nebo E3 trakty a přenosová kapacita Ethernetu bývá tedy 8 Mbitů/s v duplexním režimu (Ethernet přes E2) nebo Fast Ethernetu 34 MBitů/s v duplexním režimu (Fast Ethernet přes E3). Pro upřesnění je třeba dodat, že duplexní provoz neznamena přímo dvojnásobnou rychlost, ale z hlediska vnitřní režie lze zjednodušit na cca 1,5 násobek přenosové rychlosti – Ethernet přes E2 tedy poskytuje v podstatě plnou rychlost Ethernetu a Fast Ethernet přes E3 poskytuje cca poloviční rychlost Fast Ethernetu. Existují i pojítka, která při použití SDH přenosové technologie poskytují plnou rychlost Fast Ethernetu 100 Mbitů/s.

8.3.3 Rozhraní G.957

Rozhraní je určené pro připojování telekomunikačních zařízení používajících přenosovou techniku synchronní digitální hierarchie SDH. U pojítek SDH se předpokládají vysoké přenosové kapacity a používají

se výhradně pro páteřní telekomunikační soustavy nebo v ATM telekomunikačních strukturách. Základní referenční model popisující vlastnosti fyzické vrstvy rozhraní je definován v doporučení ITU-T G.957. Rozhraní je určeno pro připojování zařízení s přenosovou rychlostí 155,520 Mbps (STM-1). Jako přenosové médium se používají singl módová optická vlákna podle doporučení ITU-T G.652. Koncový bod sítě je realizován optickými rozvaděči pro SC, FC, nebo E2000/APC konektory. Více o rychlostech STM rozhraní je napsáno níže v odstavci SDH.

8.3.4 Rozhraní X.21

Rozhraní X.21 je datové rozhraní mezi DCE a DTE určené pro synchronní přenos dat v telekomunikační síti s rychlostmi $n \times 64$ kbps do rychlosti 2,048 Mbps. Toto rozhraní umožňuje vzájemné propojení těchto zařízení pomocí normalizovaných vazebních obvodů.

Fyzické provedení rozhraní je realizováno 15 pinovou zásuvkou konektoru CANON v souladu s ISO 4903. [17]

8.4 Multiplexování

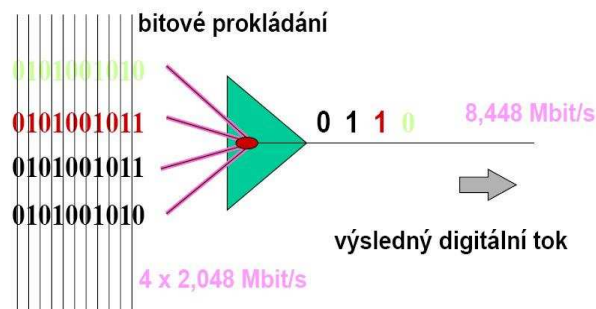
V páteřních sítích požadujeme neustálý růst přenosové kapacity. Důležitým faktorem je maximální využití přenosových cest, čehož dosahujeme sdílením přenosové kapacity a kompresí digitálních signálů. Ke sdružení většího počtu digitálních komunikačních kanálů, případně k přenosu dat vyšších přenosových rychlostí, byla vytvořena celá soustava zařízení a jim odpovídajících signálů vyšších řádů. Sdílení kapacity neboli multiplexování můžeme rozdělit na vlnový multiplexing, časový multiplexing a paketový multiplexing. V bezdrátovém přenosu se používají hlavně systémy časového multiplexingu PDH a SDH.

8.4.1 PDH (Plesiochronní digitální hierarchie)

Plesiochronní digitální hierarchie se nazývá proto, že sdužované signály nemají oproti signálu vyššího řádu definován pevný časový vztah, čili není určen vztah mezi rámcem signálu vyššího řádu oproti rámcům sdužovaných signálů nižšího řádu. V signálu vyššího řádu je navíc vyčleněna určitá rezerva pro odchylky přenosových rychlostí, protože se nepředpokládá přesný časový souběh sdužovaných signálů, ale uvažuje se difference přenosových rychlostí v určitých předepsaných mezích.

Vlastnosti

- Umožňuje sdužovat datové toky do jednoho toku výsledného (obr. 15)
- Vychází ze signálu PCM 1. řádu – označení E1
- Umožňuje sdužování po bitech
- Volné prokládání (plesiochronní)
- Kolísání taktovacího signálu – nutnost vyrovnávání rychlosti (stuffing)



Obr. 15 - sdužování datových toků, 4 datové toky

PCM	Přenosová rychlost	Označení
1. řád	2 Mbit/s	E1
2. řád	8 Mbit/s	E2
3. řád	34 Mbit/s	E3
4. řád	140 Mbit/s	E4

Tab. 2 - Přehled PDH (rychlosti jsou zaokrouhleny)

Nevýhody

- Problematické vydělování datových toků v síti.
 - K signálům nižšího řádu se tedy dostaneme opět postupným demultiplexováním, což při mnohonásobně opakovaných operacích multiplexování a demultiplexování na různých hierarchických úrovních a v řadě po sobě následujících uzlech sítě, jak se později ukázalo, může vést k degradaci signálu.
- Omezená přenosová rychlost.
 - Ve chvíli, kdy by u příspěvkového signálu došlo ke zvýšení přenosové rychlosti, by totiž docházelo ke ztrátě některých bitů sdružovaných signálů. – nemůžeme si dovolit ztrácet bity při slučování, proto musíme používat vyrovnávání rychlosti (stuffing).

8.4.2 SDH (Synchronní Digitální Hierarchie)

Postupem doby rostly nároky na kapacitu přenosových prostředků a to nejen díky rozmachu telefonního provozu, ale zejména z důvodu prudkého nárůstu požadavků na přenos dat. Přidávání dalších stupňů do plesiochronní digitální hierarchie by nebylo efektivní a ani technicky schůdné. Bylo nutné vytvořit novou hierarchii na odlišných principech, která by navíc byla celosvětově standardizována. Tak vznikla synchronní digitální hierarchie, s těmito hlavními znaky:

- použití pro vysokorychlostní, vysokokapacitní sítě s optickými vlákny
- navazuje na americký systém SONET
- celosvětově standardizovaná ITU-T
- navržena s ohledem na dnešní možnosti a požadavky na kapacitu přenosu
- bajtové řízené prokládání

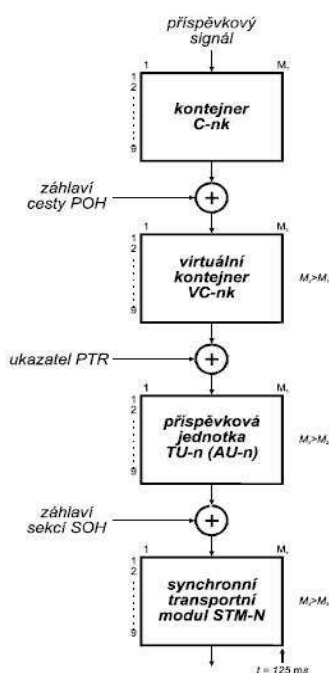
- síť SDH je tvořena jednak multiplexory a dále regenerátory.

STM	Přenosová rychlost	Označení
0	52 Mbit/s	STM-0
1	155 Mbit/s	STM-1
4	622 Mbit/s	STM-4
16	2,5 Gbit/s	STM-16
64	10 Gbit/s	STM-64
256	40 Gbit/s	STM-256

Tab. 3 - Hierarchické rozdělení SDH

Vytváření signálu STM

- Mapování příspěvkového signálu do kontejneru C
- Přidání záhlaví cesty POH, virtuální kontejner VC
- Přidání ukazatele PTR, příspěvková jednotka TU
- Sdružování do skupin TUG
- Vytvoření administrativní jednotky AU
- Přidání záhlaví sekcí SOH, STM



Obr. 16 – signál STM

8.4.3 Rozdíl SDH a PDH

- Informace je mapována do virtuálních bloků tzv. kontejnerů.
- Je možné získat informace nižšího řádu z informačního toku vyššího řádu, aniž by byl tento tok demultiplexován v plné šíři, protože přenášená informace je jednoznačně identifikována časovou polohou v časovém schématu kontejnerů.
- podmínkou správné funkce systému je velmi přesná synchronizace. [19], [20], [21], [22], [23]

8.5 Zálohování a navyšování rychlosti spoje

Zálohování spoje vychází z jeho konfigurace. Je to řešení zálohování trasy v případě výpadku přenosové cesty vlivem poruchy nebo zhoršením podmínek na trase. I když většina spojů disponuje vysokou spolehlivostí provozu, tak žádný nám nemůže zaručit 100% bezchybný přenos. Při budování spojů rozlišujeme základní konfigurace, 1+0 spoj bez zálohy nebo spoje, u kterých je realizována záložní cesta. Konfigurace se zálohou mohou být 1+1, 2+0, 4+0. Spoj 1+0 je standardní spoj, který, pokud dojde k přerušení spojení, není schopen záložně komunikovat. Jedná se o většinu standardních účastnických pojittek. Pokud se bude jednat o velmi důležitý páteřní spoj nebo zákazník bude považovat za nutné existenci záložního spoje, je vybudován spoj se záložní konfigurací. Spoje tohoto typu mají vždy určitou část zdvojenou. Spoj může mít buď zdvojené ODU nebo zdvojené ODU i dvě antény. Radioreléový spoj může sloužit i jako záložní spoj pro trasu realizovanou jiným přenosovým médiem např. optickým kabelem. Na obr. 17 je ukázka zálohovaného spoje. V tomto případě jsou dvě radiové trasy připojeny do jedné paraboly. Jednotka ODU je zdvojena a jsou vzájemně propojeny vlnovodem a tím dvě radiové trasy integrovány do jedné. Využíváme polarizační výhybku, která rozděluje/slučuje dva signály vzájemně otočené o 90°. Jeden signál je orientován s vertikální a druhý s

horizontální polarizací. To zajišťuje dostatečný výkonový odstup obou signálů a nedochází k jejich vzájemnému rušení, a to i při provozu na stejných rádiových kanálech. Realizace záložních spojů nemusí mít za následek jen zvýšení spolehlivosti, ale záložní spoje jsou realizovány i z důvodu zvýšení přenosové kapacity. V tomto případě využíváme k přenosu dat více přenosových cest najednou. Případná porucha nějaké z tras má pak za následek snížení přenosové rychlosti.

8.5.1 Konfigurace 1+1

V této konfiguraci pracuje hlavní a záložní spoj buď ve stejném kmitočtovém pásmu na stejném kanálovém páru, pak v jednom okamžiku pracuje vždy jen jeden z nich. Druhá možnost je, že spoje pracují na rozdílných kmitočtových párech případně i rozdílných kmitočtových pásmech. Tento způsob zálohy se používá pro zajištění přenosu v případě, že jeden ze spojů přestane fungovat nebo chybovat kvůli podmínkám šíření či technické závadě.

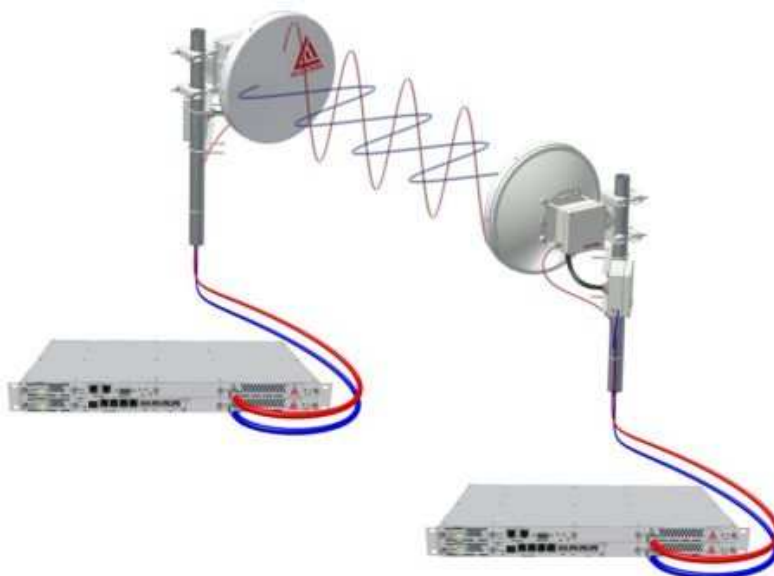
8.5.2 Konfigurace 2+0

Tato konfigurace představuje sloučení přenosové kapacity dvou spojů, které pracují na rozdílných kmitočtových párech v rozdílných kmitočtových pásmech, případně i ve stejném kmitočtovém pásmu. Typické použití této konfigurace je takové, že jeden ze spojů pracuje ve volném pásmu 10,5 GHz nebo 24 GHz sice s menší kvalitou přenosu, ale s větší kapacitou a je posílen a současně zálohován spojem na přidělovaném kmitočtu s vysokou kvalitou přenosu, ale s menší možnou kapacitou (a nižšími poplatky).

8.5.3 Konfigurace 4+0

Tato konfigurace představuje sloučení přenosové kapacity čtyř spojů, které pracují na rozdílných kmitočtových párech v rozdílných

kmitočtových pásmech. S použitím vhodné technologie lze tímto způsobem dosáhnout přenosové kapacity až 1,2 Gbit/s. [24]



Obr. 17 - Zálohovaný spoj s využitím dvou jednotek ODU

8.6 Kvalita, spolehlivost a dostupnost spoje

Jak už jsem psal výše, většina radioreléových spojů má velmi vysokou spolehlivost, ale žádné zařízení nám nezaručí 100% spolehlivost přenosu. Kvalita a spolehlivost jsou právě hlavním kritériem při realizaci RR spojů. Vzhledem k využití u páteřních a hlasových spojů jsou na ně kladeny daleko větší nároky než u pojítek typu Wi-Fi.

8.6.1 Kvalita přenosu

Kvalita spoje je udávána jeho chybovostí BER (Bit Error Ratio) neboli dobou, kdy spoj vykazuje určitou chybovost nebo je vyřazen z provozu. Obvykle bývá 10^{-3} nebo 10^{-6} a udává se procentem času měsíce či roku, po kterém bude spoj mimo provoz nebo chybovat. Chybovosti spoje se nezbavíme, ale musíme zajistit, aby nepřekračovalo uvedenou mez pro danou aplikaci. Na chybovost má vliv mnoho faktorů jako například velikost rezervy na únik, délka spoje, vliv terénu, klimatické podmínky, zvolené kmitočtové pásmo, úroveň rušení a další. Na různé

spoje jsou kladeny různé nároky na úroveň chybovosti, které dělíme do tří stupňů.

- HG (High Grade) pro mezinárodní spoje
- MG (Medium Grade) pro spoje v národní síti
- LG (Local Grade) účastnické přípojky

V praxi se nejčastěji využívají spoje Medium Grade, které dále dělíme do 4 tříd. Třída X1 pro nejdůležitější tranzitní spoje s rychlostí 155 Mbit/s a vyšší. Třída X2 pro spoje do 840 km s rychlostí 155 Mbit/s a vyšší. Třída X3 pro spoje tranzit-uzel do 100 km se střední přenosovou kapacitou do 34 Mbit/s. Třída X4 pro spoje do přibližně 50 kilometrů s nízkou přenosovou rychlostí obvykle jen s několika E1 trakty. Požadovaná kvalita spoje je vždy uvedena už u návrhu trasy. Jednotlivé nároky na kvalitu se liší použitou technologií a tím i celkovou cenou. [25]

8.6.2 Bezpečnost

RR spoje mají stejně jako spoje optické proti nežádoucímu odposlechu vynikající ochranu. Přenos je neviditelný a šířka vyzařovaného svazku je velmi úzká. Pokus o odposlech by tedy způsobil přerušování svazku a tedy i spojení, čehož by si uživatel ihned všiml. Dalším argumentem je i ta skutečnost, že spoje fungují ve větších výškách nad zemí, proto je možnost odposlechu prakticky nemožná. Potencionální zájemce by musel pro odposlech dát nakoupit stejnou technologii a musel by znát oprávnění k přístupu do sítě. V případě potřeby velmi bezpečného přenosu lze aplikovat vnější šifrovací/dešifrovací zařízení na obou stranách spoje.

8.6.3 Dostupnost

Mikrovlnné spoje mohou bez problémů fungovat při dešti, sněžení či mlze. To však neznamená, že na vlivech počasí nejsou závislé. Instalaci a nasazení mikrovlnného spoje předchází výpočet bilance spoje,

kde definujeme zisk antén, vysílací výkon, vzdálenosti mezi lokalitami, polarizaci atd. Výsledkem tohoto výpočtu je tzv. rezerva na únik, která je důležitá pro bezvadnou funkci spoje i za ztížených povětrnostních podmínek. Čím je rezerva vyšší, tím vyšší je i dostupnost spoje. V praxi se tedy mikrovlnné spoje navrhují tak, že je s nepřízní počasí již předem počítáno a jeho špatné vlivy se eliminují. [25]

8.7 Cena za provoz

Jak jsem již psal výše, provoz RR spojů může probíhat v bezlicenčních pásmech neboli bezplatných pásmech a licenčních tj. placených pásmech. V bezlicenčních pásmech platí pouze povinnost řídit se všeobecnými oprávněními, jinak se k samotnému provozu nevztahují žádné poplatky. V licenčních pásmech musíme platit měsíční/roční poplatky za provoz ČTÚ. Výše poplatku se liší podle frekvenčního pásma, šířky zabraného pásma, vysílaného výkonu a faktu, zda je použita funkce ATPC neboli automatické řízení výstupního výkonu v závislosti na přenosových podmínkách. Poplatky si můžeme vypočítat podle následující rovnice, pro aktuální ceny a podmínky je třeba ověřit si údaje na stránkách ČTÚ.

$$C=30000 \times K7 \times K8 \times K9 \times K10 \quad \text{Rovnice 3}$$

K7 – celočíselný poměr zabrané šířky pásma k minimální šířce pásma rastru (kanálu)

K8 – je konstanta, pro pásma 3,5 – 15 GHz je 0.8, pro pásma 15 – 25 Ghz je 0.6, pro pásma 25 – 35 Ghz je 0.5, pro pásma 35 – 47 Ghz je 0.4.

K9 – se mění dle vysílaného výkonu. Pro výkon do 10 mW je 0.4, pro výkon do 100mW je 0.6, pro výkon do 1W je 0.8

K10 – nabývá hodnoty 0.8 při použití funkce ATPC, systému řízení výstupního výkonu, jinak je nastavena na 1

Z této rovnice je jasné, že ČTÚ zvýhodňuje provoz ve vyšších kmitočtových pásmech, kde je k dispozici více kmitočtových intervalů.

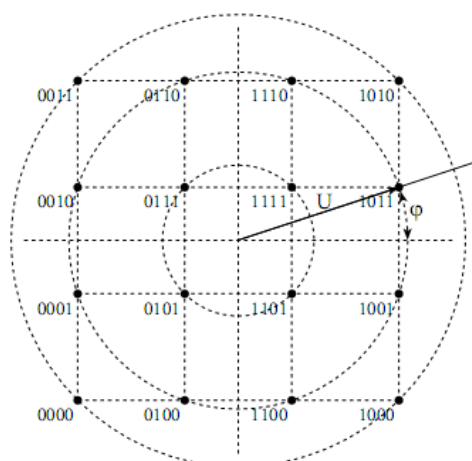
Použití vyspělejších modulací, které nám umožňují šetřit šířku zabraného pásma. Dále pak nižší vysílací výkon a použití funkce ATPC. Výsledná cena je opravdu orientační, protože poplatky za provoz RR spojů se často mění. Pokud byste chtěli zjistit aktuální ceny za provoz, tak je třeba vycházet z aktuálních údajů na stránkách ČTÚ. [25]

9 Modulace

9.1 Kvadrurní amplitudová modulace (QAM)

Jedna z nejpoužívanějších modulací signálu ve světě RR spojů. Jedná se o složenou modulaci, která k vytváření symbolů využívá kombinaci amplitudového a fázového klíčování. Každý stav je reprezentován určitou hodnotou amplitudy a fáze, jak je zobrazeno v konstelačním diagramu (obr. 18). Jde o více stavovou modulaci, která je schopna přenášet n bitů pomocí m symbolů, což znamená, že v jediný okamžik přenesete více bitů najednou. Vztah mezi stavy a symboly je definován jako:

$$n = \log_2 m \text{ Rovnice 4}$$



Obr. 18 - Konstelační diagram 16-QAM

Počet amplitudově-fázových stavů může být různý podle typu QAM modulace. Na přenos jednoho bitu je potřeba dvou stavů, $\log_2 2 = 1$ a

log 1. Pokud chcete přenášet v jednom symbolu např. 4 bity, je potřeba $2^4 = 16$ stavů, a tím vzniká 16-QAM. Všeobecně platí, že na n bitů je potřeba m modulačních stavů podle vzorce $m = 2^n$. Hlavní důvod pro používání více stavové modulace je, že umožňuje šetřit šířku pásma nebo naopak se stejnou šířkou pásma zvýšit přenosovou rychlost. Modulace má i jednu velkou nevýhodu, použitím více stavů se totiž signál stává náchylnější na rušení a složitější na identifikaci symbolu. Proto jsou také kladeny vyšší požadavky na kvalitu vysílaného i přijatého signálu a je požadován větší odstup signálu od šumu na vstupu demodulátoru ve srovnání s jednoduššími modulacemi (FSK, PSK apod.). Tyto uvedené vlastnosti QAM modulace představují určitá omezení z hlediska použití, a proto v RR přenosech je vždy nezbytné volit takový kompromis, který splní požadavky nejen na délku skoku a přenosovou kapacitu, ale i na požadovanou chybovost signálu. V některých případech se používají i modulace s nepravidelným konstelačním diagramem (např. u 128QAM). To umožňuje lépe využít přenosové vlastnosti vysílacího řetězce a dosahovat vyššího vysílaného výkonu. V praxi se ke snížení nároků na odstup signálu od šumu používá dopředná chybová korekce FEC, která zvyšuje odolnost přenášeného signálu. Budete-li přijímat signál s odstupem signál/šum o cca 8 dB menším než je uvedeno v tabulce, bude logicky docházet k větší chybovosti. Pokud ale bude spoj podporovat opravný kód FEC, je schopen rozpoznat špatně přijaté symboly, a tím eliminovat chybovost signálu. V tabulce 4 je znázorněn vztah mezi použitou modulací a přenosovou rychlostí. Zde je potřeba si uvědomit, že přidáním jednoho bitu na stav (například budeme-li v jediný okamžik přenášet osm bitů namísto sedmi) se zdvojnásobí počet stavů ze 128 na 256. Nároky na modulaci se tímto zdvojnásobily, ale přenosovou kapacitu zvedly pouze logaritmicky. Také i požadovaný odstup signálu od šumu v kanále, na kterém nepřímo závisí citlivost spoje, je téměř o 3 dB větší, tedy citlivost spoje pro stejnou šířku pásma a vyšší modulaci

QAM musí být zákonitě nižší. Nárůst kapacity je dále ovlivněn faktem, že jsou větší nároky na RS opravný kód a FEC zabezpečení signálu. FEC se používá především proto, že všechny mikrovlnné spoje již při vysokých QAM modulacích trpí určitou zbytkovou chybovostí (danou především fázovým šumem oscilátorů), kterou FEC beze zbytku musí opravit, ovšem neobejde se to bez určitého nutného navýšení kapacity kanálu. Přechod na modulaci 256QAM nebo vyšší se tedy vyplatí jen v případech, kdy přijímáte velmi kvalitní signál, a kanál není rušen. Toho dosáhnete především při přenosech na krátké vzdálenosti nebo při vysoké hodnotě citlivosti přijímače. Pokud špatně zvolíte způsob modulace, bude docházet k velké chybovosti nebo k takovému zkreslení signálu šumem či rušením, že již nepůjde uspokojivě demodulovat. [18]

Modulace	4QAM	16QAM	32QAM	128QAM	256QAM
Počet stavů	4	16	32	128	256
Počet bitů na stav	2	4	5	7	8
Max. přenosová rychlost [Mbit/s]	56	112	140	196	224
Požadovaný odstup S/N v dB bez uvažování FEC pro chybovost BER ⁻⁶	13,6	20,4	23,5	26,4	28,4

Tab. 4 – QAM modulace

10 Finanční a technická analýza řešení

Před samotnou realizací je vždy nutné vybrat správnou technologii a zvážit všechny možnosti s ohledem na požadavky zákazníka. V tomto případě zákazník požaduje jeden port E1 na připojení telefonní ústředny a port ethernet s rychlostí 6 Mbit na připojení do sítě internet. Rychlost spoje je tedy 1×8Mbit. Následně jsou uvedena všechna řešení, která by se teoreticky dala použít pro tuto trasu. Pokud nějakou variantu nelze použít, je vysvětleno proč a případně za jakých podmínek by použitelná byla.

10.1.1 Varianta 1. - Optický laserový spoj

Laserové spoje se v dnešní době nasazují velmi často kvůli levnému provozu a velkým přenosovým rychlostem. Jsou konkurentem datových RR spojů na krátké vzdálenosti. Velkou výhodou je fakt, že nepotřebujeme kmitočtový příděl od ČTÚ, protože spoj pracuje v oblasti viditelného světla, tedy mimo působnost ČTÚ. Použití laserového spoje by se jevílo jako velice efektivní v případě, že by se trasa budovala do vzdálenosti 1500 metrů. U optických spojů platí obecně, že čím kratší vzdálenost tím je spoj spolehlivější. Právě hlavním problémem při realizaci laserových spojů je útlum světla v atmosféře, který se zvyšuje smogem, mlhou, sněžením a deštěm, proto laserové spoje nelze realizovat na velké vzdálenosti. Na naší trase nelze tuto možnost použít z důvodu velké vzdálenosti mezi oběma body.

10.1.2 Varianta 2. - Kabelové vedení optické a metalické

Vybudování kabelové trasy by znamenalo velkou a velmi nevýhodnou počáteční investici. V tomto případě bylo zjištěno, že mezi oběma body je zastavěná oblast, takže před samotným zahájením výkopových prací by bylo třeba vypracovat projektovou dokumentaci a získat souhlasy od správců stávajících sítí. Následuje dlouhé správní řízení a stavba se může ještě prodražit o nájem za vedení kabelu přes soukromé pozemky. V případě použití optické kabeláže máme k dispozici sice velmi vysoké přenosové rychlosti a odolnost proti rušení, ale i v tomto případě není tato možnost realizovatelná. Kabelové vedení metalické musíme zcela vyloučit, protože kromě vysokých nákladů, které se shodují s optickým vedením, je v tomto případě ještě nemožnost použití z důvodu velké vzdálenosti mezi jednotlivými body. Tato možnost je tedy nevyhovující.

10.1.3 Varianta 3. - Wi-Fi

Pro úplnost uvedu jako jednu z možností použití mikrovlnného zařízení Wi-Fi tedy spoje v pásmu 2,4 Ghz a 5 Ghz. Pojítka pod označením Wi-Fi jsou primárně konstruována pro připojení zákazníka do sítě a nedají se označit za profesionální řešení. Navíc kvůli nedostatečné šířce pásma není vhodné použít toto řešení pro přenos hlasu a není nám zaručena požadovaná ochrana proti rušení, a proto není možné toto řešení použít.

10.1.4 Varianta 4. - RR spoj ve volném pásmu

Zařízení fungující v tomto pásmu jsou schopna přenášet datová, hlasová i obrazová data, proto jsou pro tuto trasu technologicky vhodné. Tato varianta by byla za vhodných podmínek nejvýhodnější, protože se jedná o volné tzv. nezaplatněné pásmo. V tomto pásmu můžeme libovolně budovat spoje bez nutnosti povolení ČTÚ, stačí dodržet všeobecné podmínky pro dané pásmo. Nejčastěji se využívá pásmo 10,5 GHz. Toto pásmo je jako volné pouze v rámci České Republiky a z toho důvodu nabízí technologie výhradně české firmy, což se může jevit při nákupu jako výhoda. V předprojekčním průzkumu bylo zjištěno, že v této oblasti je velký provoz RR spojů a pro provoz dalšího zařízení zde nejsou volné kanály. Spoj by se buď nepodařilo realizovat za dodržení požadované kvality, nebo by mohlo dojít k narušení a zhoršení přenosových podmínek později. Vzhledem k tomu byla tato možnost shledána jako nevhodná.

10.1.5 Varianta 5. - RR spoj v licenčním pásmu

Spoj v licenčním pásmu je ideální řešení v případě, že máme vysoké požadavky na spolehlivost spoje ovšem za cenu vyšších nákladů na realizaci a nutnost platit měsíční poplatky za provoz oproti RR spoji v pásmu bezlicenčním. V tomto případě budeme propojovat dva body,

mezi kterými je přímá viditelnost a budeme žádat ČTÚ o dva kmitočty. Výši měsíčního poplatku si můžeme vypočítat podle rovnice 3. Měsíční poplatky za provoz RR spojů jsou dnes již na velice přijatelné úrovni, například poplatek za provoz v tomto případě bude činit částku okolo 1500 Kč měsíčně. Vzhledem k lokalitě a požadavkům zákazníka byla tato varianta zvolena jako nejlepší a byla použita.

10.1.6 Varianta 6. - Pronájem digitálního okruhu

Varianta pronájmu digitálního okruhu je v tomto případě technicky realizovatelná. Jedná se o profesionální řešení, které nevyžaduje velké počáteční náklady, ovšem musíme platit měsíční poplatky za pronájem a provoz. Pronájem digitálního okruhu je za rozumných finančních nákladů realizovatelný na trasách v rychlostech do 2 Mbit/s. Vzhledem k našim požadavkům na linku s rychlostí 8 Mbit/s je ale tato možnost poměrně drahá, a proto nevýhodná.

10.2 Výsledek analýzy

	Pořizovací náklady	Provozní náklady/měsíc	Přenosová rychlost	Použitelná vzdálenost	Přenos hlasu
Metalická kabeláž	6 000 000 Kč	20 000 Kč *	1 Gbit/s	do 0,2 km	ano
Optická kabeláž	6 000 000 Kč	20 000 Kč *	do 60 Gbit/s	do 15 km	ano
Laserový spoj	120 000 Kč	5 000 Kč *	do 2,5 Gbit/s	do 1 km	ano
Wi-Fi pojitko	10 000 Kč	5 000 Kč *	56 Mbit/s	3 km	ne
Placené pásmo	350 000 Kč	10 000 Kč *	64 Mbit/s	40 km	ano
Neplacené pásmo	250 000 Kč	5 000 Kč *	32 Mbit/s	40 km	ano
Pronajatý okruh	0 Kč	50 000 Kč	do 8Mbit/s	do 100 km	ano

*** Na provozní měsíční náklady má vliv spotřeba elektrické energie daného zařízení a pronájem za umístění antén. První částka se pohybuje v řádech stokorun měsíčně, ale poplatek za pronájem se může lišit dle lokality od 500 Kč měsíčně až po částku přesahující 10 000 Kč.**

Z analýzy můžeme vyčíst, že nejlevnější možnost, kterou by v tomto případě bylo Wi-Fi pojitko nemůžeme použít, protože nesplňuje hlavní požadavek na přenos hlasu. Dalším finančně výhodným řešením by bylo nasazení laserového spoje. Přednosti laserového spoje jsou hlavně ve vysokých přenosových rychlostech a bezplatném provozu, ale v tomto případě jsme omezeni vzdáleností bodů trasy. Další možností je nasazení RR spoje v bezlicenčním pásmu. Tato možnost je finančně výhodná, ale vzhledem k lokalitě není možné nasazení z důvodu velkého provozu RR spojů ve volném pásmu 10,5 GHz a možnosti zarušení provozu. Jediná vhodná metoda, která splňuje všechny požadavky trasy a je realizovatelná v rámci únosných finančních nákladů je RR spoj v licenčním pásmu. Další varianty není možné použít buď z důvodu velké vzdálenosti mezi body trasy nebo z důvodu neúnosných finančních nákladů.

11 Projekt rádiové datové trasy

V loňském roce jsem pracoval na projektu rádiové datové trasy. Jednalo se o vybudování trasy za účelem připojení zákazníka do sítě ČRa pomocí radioreléového spoje. Po provedené analýze bylo zvoleno zařízení Alcatel v kmitočtovém placeném pásmu 23 GHz.

10.1 Požadavky a základní údaje

V rámci požadované služby 6 Mbit Ethernet a 1×E1 byl vybudován mikrovlnný spoj mezi objekty FEMAT s.r.o. Praha, ulice Vrážská 1562 a RO Cukrák. Byla provedena instalace mikrovlnného zařízení Alcatel v pásmu 23 GHz s přenosovou rychlostí 8×2 Mbit/s, ovšem v tomto případě využíváme pouze 1×8 Mbit/s s možností pozdějšího upgrade na plnou rychlost. Rádiová trasa je vybudována za účelem obousměrného přenosu dat. Trasa bude napojena do sítě ČRa.

10.1.1 Působení na životní prostředí

Výkon mikrovlnného zařízení Alcatel je 16 dBm (35 mW). Použité zařízení vyzařuje velmi malý výkon úzce směrovou anténou, takže neohrožuje životní prostředí a ve smyslu vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 480/2000 Sb. ze dne 29. 12. 2000 nedojde v blízkém okolí objektů trasy k překročení limitních hodnot.

10.1.2 Základní údaje

Druh spoje	Point to Point
Stanoviště A	Femat Praha, Vrážská 1562/24a
Stanoviště B	RO Cukrák Praha
Druh a typ zařízení	ALU 9423 AWY 16 QAM
Šířka zabraného pásma	7 Mhz
Výstupní výkon zařízení	16 dBm (35mW)
Polarizace	Vertikální
Konfigurace	1+0
Kvalita přenosu	MG třída X3

Tabulka 5 – Základní údaje

10.2 Projekt bodu trasy Femat Praha – bod A

Zařízení, která jsou nainstalována:

- Anténa s vnější jednotkou (ODU)
- Vnitřní jednotka (IDU)

Anténa s vnější jednotkou zařízení Alcatel byla upevněna na nový anténní držák, který je připevněn do stěny budovy na ploché střeše objektu (obr 19). Vnitřní jednotka Alcatel je nainstalována do datové skříně zákazníka (obr. 20).

Zem. souřadnice (systém WGS-84): 14°22'13'' v.d. 49°59'22'' s.š.

Nadmořská výška: 205 m

Vysílací kmitočet (Tx): 23 208,50 MHz

Přijímací kmitočet (Rx): 22 200,50 MHz

Azimut: 190,16°

Vysílaný výkon: 16 dBm (35 mW)

Anténní systém: Parabolická anténa 0,6 m s vnější jednotkou

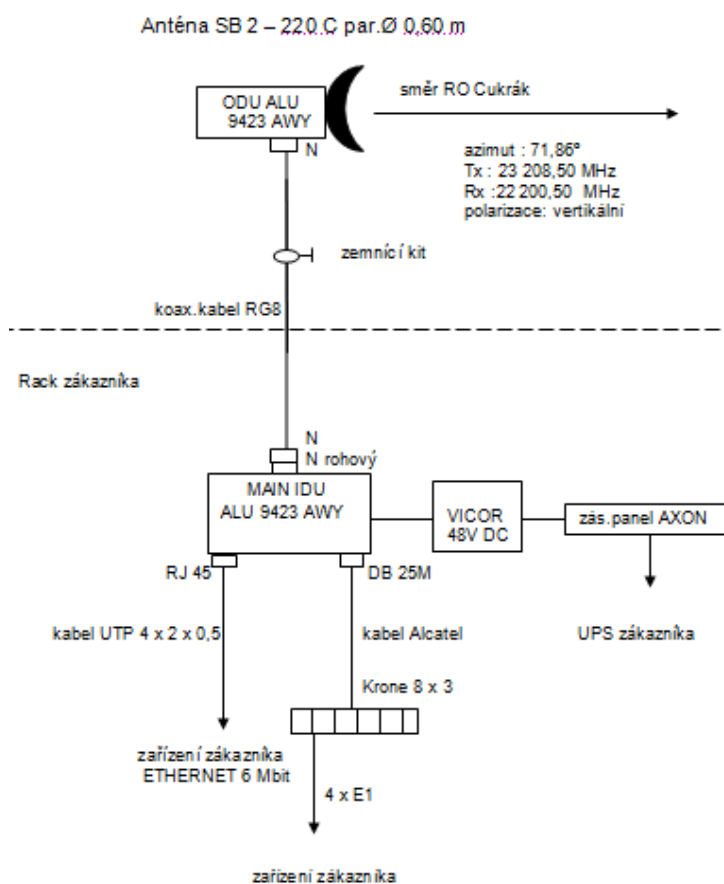


Obr. 19 - Umístění antény s ODU v objektu Femat Praha

Vnější jednotka s parabolickou anténou, na obou stranách spoje, je spojena vodičem CYA 16 s konstrukcí anténního držáku, který je též propojen s hromosvodovou soustavou objektu. Zemní bod odpovídá požadavkům ČSN 34 13 90. Celková ochrana antén před úderem blesku a před nebezpečným napětím odpovídá požadavkům ČSN 34 28 20. Před vstupem do objektu bylo provedeno uzemnění vnějšího vodivého pláště kabelu. Vnitřní jednotka radioreléového zařízení Alcatel je připojena k rozvodu napětí 48V. Příkon instalované technologie je 40W, spotřeba elektrické energie při provozu 8760 hod/rok činí 350 kWh/rok. Propojení vnější jednotky rr zařízení Alcatel s vnitřní jednotkou je provedeno koaxiálním kabelem RG 8 opatřenými konektory typu N. Port Ethernet z IDU je propojen konektorem RJ 45 (kabel UTP 4x2x0,4) se zařízením zákazníka. Port E1 je ukončen kabelem Alcatel na Krone LSA pásek dle trasovací tabulky. Propojení technologie bude provedeno podle blokového schématu (Obr. 21).



Obr. 20 – Umístění zdroje, IDU, Krone pásky v objektu Femat Praha



Obr. 21 - Blokové schéma Femat Praha

10.3 Projekt bodu trasy RO Cukrák – bod B

Zařízení, která jsou nainstalována:

- Anténa s vnější jednotkou (ODU)
- Vnitřní jednotka (IDU)

Anténa s vnější jednotkou mikrovlnného zařízení Alcatel je upevněna na anténní držák na 3. plošině věže. Konstrukce zařízení Alcatel zajišťuje ochranu před úderem blesku a nebezpečným dotykovým napětím, je použit materiál zamezující vzniku a šíření požáru. Zařízení odpovídá předpisům pro bezpečnost při práci a jeho konstrukce zabraňuje rozptylu elektromagnetického pole a expozici obsluhujících osob. Všechna pracoviště vybavená tímto zařízením jsou nezávadná z hlediska ozáření. Vnitřní jednotka Alcatel je umístěna do skříně Radionet 2 v rádiovém sále objektu (obr. 22).

Zem. souřadnice (systém WGS-84): 14°21'21'' v.d. 49°56'11'' s.š.

Nadmořská výška: 399 m

Vysílací kmitočet (Tx): 22 200,50 MHz

Přijímací kmitočet (Rx): 23 208,50 MHz

Azimut: 10,16°

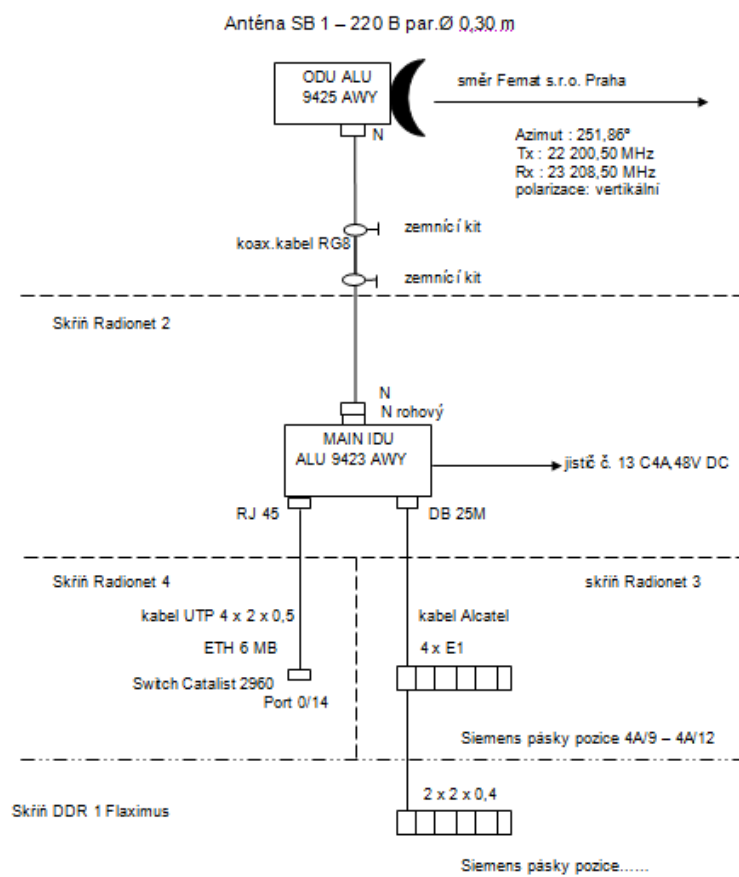
Vysílaný výkon: 16 dBm (35 mW)

Anténní systém: Parabolická anténa 0,3 m s vnější jednotkou



Obr. 22 - Umístění IDU v RO Cukrák

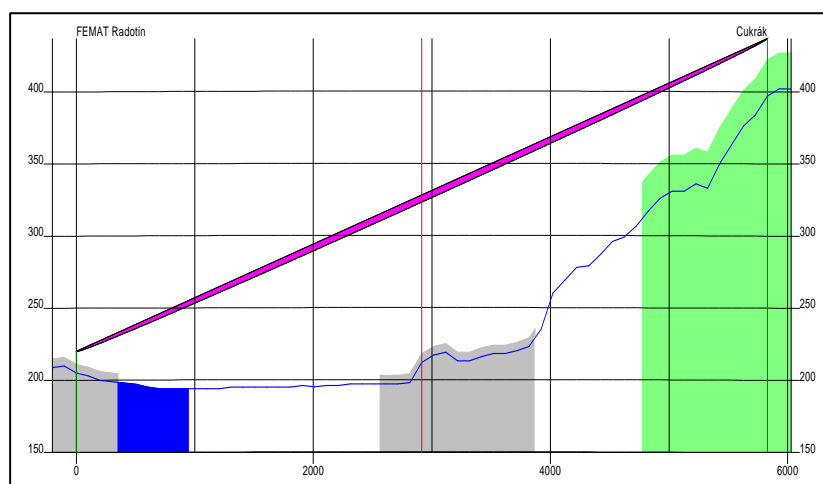
Vnitřní jednotka je vodičem CYA 4 v datové skříně Radionet 2 spojena se zemnicím bodem. Propojení vnější jednotky rr zařízení Alcatel s vnitřní jednotkou bude provedeno koaxiálním kabelem RG 8 opatřenými konektory typu N. Datový výstup Ethernet bude připojen konektory RJ 45 (kabel UTP 4x2x0,4) dle trasovací tabulky. Datové výstupy E1 jsou konektorem DB 25 (kabel Alcatel) zapojeny do pozic dle trasovací tabulky. Propojení technologie je provedeno podle blokového schématu (Obr. 23).



Obr. 23 - Blokové schéma RO Cukrák

10.4 Profil terénu trasy

V rámci předprojekčního průzkumu jsme si pomocí digitální mapy terénu potvrdili přímou viditelnost a volnou první Fresnelovu zónu.



Obr. 24 - Digitální mapa terénu

Vzdálenost stanic: 5829 m

Azimut: 190,16

Stanice A (Femat Praha)

Výška antény: 15 m

Výška profilu: 205 m









Elevační úhel: 2,106°

Stanice B (RO Cukrák)

Výška antény: 40 m

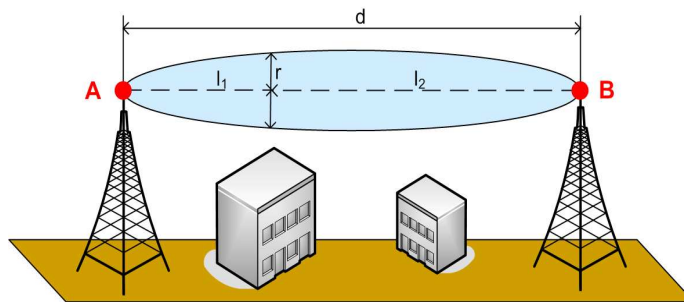
Výška profilu: 397 m

Elevační úhel: - 2,158°

Morfologie	
	Nedefinováno
	Voda
	Les
	Volný terén
	Malá zástavba
	Střední zástavba
	Velká zástavba
	Hranice

10.4.1 První Fresnelova zóna

Při budování bezdrátového spoje je jednou z nutných podmínek přímá viditelnost mezi přijímací a vysílací anténou. To ale není podmínka postačující. Pro kvalitní přenos musí být volná ještě první Fresnelova zóna, tedy určitý prostor kolem spojnice mezi vysílací a přijímací anténou. Fresnelova zóna má doutníkovitý tvar (elipsoid) s nejširším průměrem uprostřed vzdálenosti mezi anténami. Podmínka přímé viditelnosti a volné první Fresnelovy zóny je v tomto případě bez problémů splněna což můžeme vidět na obr. 26 a profilu terénu Obr. 24. Oba body trasy jsou opticky a radiové dosažitelné. Průměr Fresnelovy zóny v určitém bodě vypočítáme podle rovnice 5. Průměr je závislý na vlnové délce a vzdálenosti stanic.



Obr. 25 - první Fresnelova zóna

$$r = \sqrt{\lambda \times \frac{l_1 \times l_2}{l_1 + l_2}} \quad \text{rovnice 5}$$



Obr. 26 - Pohled na RO Cukrák z bodu Femat Praha

10.4.2 Výpočet vlnové délky

Výpočet vlnové délky provedeme dle rovnice 1. K výpočtu potřebujeme znát kmitočtové pásmo, které je v tomto případě 23 GHz a rychlost světla c .

$$f = 23 \text{ GHz} = 2,3 \times 10^{10} \text{ [Hz]}$$

$$v = c = 3 \times 10^8 \text{ [m/s]}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2,3 \times 10^{10}} = 0,01304 \text{ m} \quad \text{rovnice 6}$$

Délka vlny je tedy 0.01304 m.

10.5 Výpočty útlumu trasy

Pro zvolení správné technologie musíme provést výpočty útlumu a rezervy na únik, které musí splňovat požadavky trasy.

10.5.1 Výpočet útlumu šířením

Útlum šíření je útlum, který vzniká samotným šířením signálu prostorem. K výpočtu potřebujeme znát délku trasy a vlnovou délku.

Délka trasy: $R = 5829$ m

Vlnová délka: $\lambda = 0.01304$ m

$$A_0 = 20 \times \log \frac{4\pi R}{\lambda} \text{ rovnice 7}$$

$$A_0 = 136,2 \text{ dB}$$

Útlum šíření je tedy 136,2 dB.

10.5.2 Útlum mezi vysílačem a přijímačem

Útlum mezi vysílačem a přijímačem vypočítáme odečtením zisků antén od útlumu šířením prostorem.

$$A_{rt} = A_0 - Z_1 + Z_2$$

$$A_{rt} = 41 + 35,6 - 136,2$$

$$A_{rt} = - 59,6 \text{ dB}$$

10.5.3 Přijímaná úroveň signálu

Výkon vysílače: 16 dBm

$$N_r = A_{rt} - Z_{tx}$$

$$N_r = - 59,6 - (- 16) = - 43,6 \text{ dBm}$$

10.5.4 Výpočet rezervy na únik

Rezerva na únik (A_{ur}) je velmi důležitý výpočet, který se provádí před výběrem technologie. Jak jsem již psal, spoj je stupně MG (Medium Grade) a patří do skupiny X3. Původně se počítalo s použitím antén s průměrem 0,3 metru na obou stranách spoje. Zjistilo se, že v tomto

případě bude rezerva na únik nedostatečná a tento fakt jsme se rozhodli eliminovat použitím antény s větším ziskem, což se jeví jako nejjednodušší možnost.

Prahová úroveň vztaheno k BER^{-6} : - 80,6 dB

Rezerva na únik BER^{-6} : 32,9 dB

Parabolická anténa (\varnothing 0,6 m): zisk 41,0 dB

Parabolická anténa (\varnothing 0,3 m): zisk 35,6 dB

Aur = Prahová úroveň k BER^{-6} – Přijímaná úroveň signálu (Nr)

Aur = - 80,5 – (- 43,6) = **36,9 dB**

Výpočtem jsme si ověřili, že rezerva na únik je větší než 32,9 a můžeme tedy použít zvolené antény.

10.6 Měření chybovosti BER

Kontrolní měření chybovosti BER (Bit Error Rate) se provádí po samotné realizaci spoje po dobu minimálně 24 hodin. Měření jsem provedl přístrojem SunSet E8 (obr. 28) a nejdůležitější část výsledku, hodnotu BER vidíme na obr. 27. Přístroj měřil chybovost až na úroveň BER^{-12} a nedošlo ke ztracení jediného bitu.

```
START TIME:1909-07-14 16:36:47
CODE: 0
END TIME :1909-07-15 16:50:25
CRC : 0    RATE :

ET: 024:13:17 RT: CONTINU  RATE :
FRM : PCM-30
MFE : 0    RATE : 0.0e-08
BIT : 0    BER : 0.0e-12 |
EBIT: 0    EBER : 0.0e-08
```

Obr. 27 - Výsledek měření BER



Obr. 28 – Přístroj SunSet E8

12 Závěr

Teoretické informace o mikrovlnných přenosech jsem úspěšně dohledal a nastudoval. Získanými informacemi jsem si prohloubil

znalosti o bezdrátových přenosech signálu a možnostech mikrovlnných spojů, které jsem měl předtím pouze z praktických zkušeností. Na začátek jsem se zabýval elektromagnetickými vlnami a jejich využití v jednotlivých částech elektromagnetického spektra. Dále jsem se už zaměřil výhradně na mikrovlnné technologie k přenosu dat a hlasu. Vzhledem k mým předchozím zkušenostem jsem se hlavně věnoval pozemním radioreléovým spojům. Ostatní mikrovlnné technologie jsou zmíněny, ale ve své bakalářské práci se jim detailně nevěnuji. Například jsem zmínil oblíbenou technologii Wi-Fi, ale pouze v okrajové míře, protože nespadá mezi profesionální technologie a neumožňuje přenos hlasu. Navíc na internetu a mezi knižními periodiky můžeme najít mnoho materiálů o této technologii. V praktické části jsem se věnoval návrhu a realizaci konkrétní trasy pro radioreléový spoj. Z provedené technické a finanční analýzy jsou jasné důvody pro nasazení právě spoje ve vybraném licenčním pásmu. V analýze jsem se snažil vysvětlit alternativní možnosti propojení vybrané trasy. Dále následují výpočty útlumů, úrovní a rezervy na únik pro daný spoj a detailní popis zvolené technologie a výstavby spoje. V poslední řadě jsem i pracoval na samotné realizaci radioreléového spoje.

12 Seznam použité literatury

- [1] *Fyzikální seminář ČVUT* [online]. 2009 [cit. 2010-04-09]. Mikrovlny. Dostupné z WWW: <<http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2008/2009/Leto09/proc/mikrovlny.pdf>>.
- [2] Užitečné mikrovlny. *CHEMagazín* [online]. 2005, 15, 1, [cit. 2010-04-09]. Dostupný z WWW: <http://www.chemmagazin.cz/Texty/CHXV_1_cl1.pdf>.
- [3] KOHOUT, Jiří. *Téma "MIKROVLNY" podpořené jednoduchými pokusy* [online]. Plzeň, 2009. 75 s. Diplomová práce. Západočeská univerzita Plzeň.

- [4] *FyzWeb* [online]. 2007 [cit. 2010-04-09]. Elektromagnetické vlny ve vakuu. Dostupné z WWW: <http://fyzweb.cz/materialy/hvizdy/3_elmagvakuum.pdf>.
- [5] *Fyzika - gymnázium Sušice* [online]. 2008 [cit. 2010-04-09]. Elektromagnetické vlny. Dostupné z WWW: <http://www.fyzika.gymsusice.cz/web/data/texty/Elmagneticke_vlny_1.pdf>.
- [6] *eArchiv Jiří Peterka* [online]. 2007 [cit. 2010-04-11]. Bezdrátové přenosové cesty. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a98/a842k180.php3>>.
- [7] *EArchiv Jiří Peterka* [online]. 2007 [cit. 2010-04-11]. Bezdrátové přenosy. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a96/a647k150.php3>>.
- [8] *Elektroservis* [online]. 2002 [cit. 2010-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.elektronikerservis.cz/Public.cin/UntitledFrameset-6.htm>>.
- [9] *Antény pro příjem televize*. Praha : SNTL, 1991. 264 s.
- [10] *Charon.hkfree.org* [online]. 2004 [cit. 2010-04-11]. Antény pro WIFI síť. Dostupné z WWW: <http://charon.hkfree.org/~morse/Wi-Fi/anteny_pro_wifi1.pdf>.
- [11] ZANDL, P. Bezdrátové síť WiFi: Praktický průvodce. Praha: Computer Press, 2003. s. 204.
- [12] *Hps v IT* [online]. 2003 [cit. 2010-04-11]. Bezdrátové síť - WLAN. Dostupné z WWW: <<http://hps.mallat.cz/view.php?cislocianku=2003091101>>.
- [13] *Český telekomunikační úřad* [online]. 2008 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.ctu.cz/>>.
- [14] *Kaiser data* [online]. 2005 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/>>.
- [15] *Microwave* [online]. 2006 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.microwave.cz/>>.

- [16] *KPT Kabel Trade Praha* [online]. 2009 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.ktp.cz/>>.
- [17] *Ovanet* [online]. 2007 [cit. 2010-04-13]. Technická specifikace účastnických rozhraní. Dostupné z WWW: <<http://www.ovanet.cz/Files/UCASTNICKA%20ROZHRANI.pdf>>.
- [18] *Internet pro všechny* [online]. 2.11.2009 [cit. 2010-04-05]. Jak funguje kvadraturní amplitudová modulace. Dostupné z WWW: <<http://www.internetprovsechny.cz/blesk.php?cbl=321>>.
- [19] *Comtel* [online]. 2008 [cit. 2010-04-07]. SDH obecně. Dostupné z WWW: <www.comtel.cz/files/download.php?id=4803>.
- [20] *Telekomunikace* [online]. 2006 [cit. 2010-04-07]. Systémy SDH – Synchronní digitální hierarchie. Dostupné z WWW: <<http://telekomunikace.euweb.cz/sdh/sdh.htm>>.
- [21] *Comtel* [online]. 2008 [cit. 2010-04-07]. PDH. Dostupné z WWW: <<http://www.comtel.cz/files/download.php?id=1718>>.
- [22] *EArchiv Jiří Peterka* [online]. 2002 [cit. 2010-04-08]. Multiplexování. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a96/a651k150.php3>>.
- [23] CALTA, Michal. *PLESIOCHRONNÍ A SYNCHRONNÍ PŘENOSOVÉ KANÁLY* [online]. Plzeň, 2003. 15 s. Seminární práce. Západočeská univerzita Plzeň. Dostupné z WWW: <http://www.kiv.zcu.cz/~simekm/vyuka/pd/zapocety-2003/pdh_sdh/index.htm>.
- [24] *Alcoma* [online]. 2008 [cit. 2010-03-11]. Konfigurace spoje. Dostupné z WWW: <http://www.alcoma.cz/wp/?page_id=31>.
- [25] RR spoje. In *Bulletin bezdrátových komunikací*. Chrudim : [s.n.], 21.10.2001 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.sixense.cz/kard.sro/bulletin3.pdf>>.

13 Seznam zkratek

UV – Ultraviolet

ČTÚ – Český telekomunikační úřad

UHF – Ultra High Frequency

SHF – Super High Frequency

EHF – Extremely High Frequency

GSM - Global System for Mobile communications

DECT - Digital Enhanced Cordless Telecommunications

Wi-Fi - Wireless Fidelity

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

GHz – Gigahertz

MHz - Megahertz

AP – Access Point

IDU - Indoor unit

ODU – Outdoor unit

RFID - Radio Frequency Identification

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

EIRP - equivalent isotropically radiated power

ISM - Industrial Scientific and Medical

DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

FHSS - Frequency Hopping Spread Spektrum

WLAN - Wireless Local Area Network

RR - Radioreléový

LAN - Local Area Network

PDH - Plesiochronous Digital Hierarchy

SDH - Synchronous Digital Hierarchy

RF – Radio frequency

BNC - Bayonet Neill-Concelman

ATM - Asynchronous Transfer Mode

ITU-T - International Telecommunications Union

STM - Synchronous Transport Module

DCE - Data Circuit Equipment

DTE - Data Terminal equipment

BER - Bit Error Ratio

LG – Low Grade

MG – Medium Grade

HG – High Grade

ATPC - Automatic Transmit Power Control

QAM - Quadrature amplitude modulation

FSK - Frequency Shift Keying

PSK – Phase Shift keying

ISO International Organization for Standardization

RO – Radiokomunikační Objekt

ČRa – České Radiokomunikace