RCD Radiokomunikace spol. s r. o.

ŠÍŘENÍ SIGNÁLŮ

Skripta RCD Radiokomunikace spol. s r. o.

Určeno pro

systémové inženýry a projektanty rádiových systémů

OBSAH

1 ÚVOD DO ŠÍŘENÍ SIGNÁLŮ 3

1.1 Volba vhodného anténního systému 3

1.2 Vzájemné rušení rádiových sítí 3

2 TEORIE ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNĚNÍ 3

2.1 Vliv zemského povrchu a terénních překážek 4

2.2 Útlum mezi vysílací a přijímací anténou 4

2.3 Vliv typu terénu 5

2.4 Přímá a odražená vlna 5

2.5 Vliv útlumu těla obsluhy přenosné radiostanice 6

3 PŘÍKLAD ANALÝZY - TRASA „STARÉ HRADIŠTĚ – BÝŠŤ“ 8

4 ŠÍŘENÍ SIGNÁLŮ V MĚSTSKÉ ZÁSTAVBĚ 14

5 ŠÍŘENÍ SIGNÁLŮ V PODZEMNÍCH PROSTORECH 14

6 OMEZOVÁNÍ NEŽÁDOUCÍCH RUŠENÍ 15

1 ÚVOD DO ŠÍŘENÍ SIGNÁLŮ

Pro efektivní využití radiostanic v dané rádiové síti je nutné znát základní vlastnosti z anténní techniky a z oboru šíření elektromagnetických vln.

1.1 Volba vhodného anténního systému

Volbou vhodného typu anténního systému se docílí nejlepší funkce rádiové sítě, zamezí se rušení ostatních sítí, ušetří se energie atd.

Pro některé speciální sítě se musí použít anténní systémy navržené přímo pro tuto síť. Příkladem těchto speciálních sítí a anténních systémů je např. rádiová síť v pražském metru, stuhové sítě pro železnice, antény pro lokomotivy, horské podmínky.

Jiné rádiové sítě vyžadují návrh anténního systému, složeného z určitého počtu anténních zářičů - např. všesměrový anténní systém umístěný na boku rozměrných telekomunikačních věží (Žižkovská věž), vodárny, rozměrné budovy, výškové budovy atd.

Další anténní systémy musí umožnit připojení více radiostanic, aniž by docházelo ke vzájemnému rušení. Proto je nutné znát základní specifikace od všech typů antén jako je použité frekvenční pásmo, šířka pásma, vstupní impedance, zisk, vyzařovací diagram (pokud možno v obou rovinách).

Znalost základních specifikací umožňuje navrhnout anténní systém s maximální využitelností pro danou rádiovou síť.

1.2 Vzájemné rušení rádiových sítí

V současné době dochází k prudkému vzestupu použití radiostanic a přibývá vzájemného negativního rušení. Rádiové sítě se ruší nejen vzájemně, ale dochází i k rušení jiných elektrických zařízení, které používají polovodičové prvky, integrované obvody, mikroprocesory atd., a naopak tato zařízení ruší zpětně i rádiové sítě.

Proto do anténní techniky patří i zařízení, které zabraňují tomuto rušení jako jsou vysoce selektivní filtry na vstupy přijímačů, sdružovací obvody.

Znalost všech těchto zařízení spolu se základními vědomostmi o šíření rádiových vln dává předpoklad úspěšného projektu rádiové sítě. Jednotlivým prvkům anténních systémů, volbě a montáži antén jsou věnovány zvláštní kapitoly.

2 TEORIE ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNĚNÍ

V této části se seznámíme s hlavními vlastnostmi šíření elektromagnetického vlnění.

Teorie šíření elektromagnetického vlnění.je velmi rozsáhlá a na vysokých školách se základům šíření věnuje několik semestrů. Proto je nemožné se s touto problematikou vyrovnat na několika stránkách.

Rádiové vlny jsou částí spektra elektromagnetických vln a podle kmitočtu se rozdělují na vlny dlouhé, střední, krátké,velmi krátké - VKV, ultrakrátké, kam patří

vlnové délky centimetrové a milimetrové. Každý druh rádiových vln má z hlediska šíření své specifické vlastnosti.

2.1 Vliv zemského povrchu a terénních překážek

Na šíření rádiových vln má velký vliv přítomnost zemského povrchu,rovněž i jeho hodnoty elektrických a magnetických parametrů (vodivost, elektrická permitivita, magnetická permeabilita), terénní i stavební překážky, ionosféra a povětrnostní podmínky v atmosféře. Všechny tyto vlivy se projevují v různé míře v závislosti na vlnové délce rádiové vlny.

Vzdálenost země od směru šíření, nebo od antény a velikost překážek je vždy třeba posuzovat relativně k vlnové délce. Např. průměrné budovy jsou podstatně menší překážkou pro šíření dlouhých a středních vln, zatímco pro šíření VKV nebo dokonce pro centimetrové vlny jsou prakticky nepropustnou překážkou. Rovněž tak se musí posuzovat výška antény nad zemí - v oblasti dlouhých až krátkých vln je země vždy součástí anténního systému a její kvalita rozhoduje zásadním způsobem o kvalitě spojení. Přítomnost země ovlivňuje vyzařovací diagramy antény a také má vliv na obvodové vlastnosti antény t.j impedanci. V oblasti VKV a zvláště na kmitočtech vyšších 300 MHz, je možné posuzovat vlastnosti antény jako by byla ve volném prostoru.Čím vyšší kmitočet, tím víc se blíží šíření elektromagnetické vlny vlastnostem světla, neboli geometrické optice. Přesto pro přesnější výpočty se musí geometrická optika doplnit znalostmi z vlnové optiky. Např. pro zjištění čistoty prostředí, které stojí v cestě šíření z antény vysílače na jednom stanovišti do antény na přijímacím stanovišti se musí vzít do výpočtu nejen přímý paprsek mezi oběma anténami, ale celá tzv. Fresnelova oblast, která je tvořena elipsoidem, v jehož ohniscích leží obě antény. Teprve stav čistoty v elipsoidu dá odpověď na kvalitu spojení a hlavně na jeho stabilitu v průběhu celého ročního období. Rozdíl mezi geometrickou a vlnovou optikou je patrný i ze zkušenosti, že rádiové vlny na rozdíl od světla se šíří i za terénní překážky i za horizont zeměkoule. Činnost našeho podniku se soustřeďuje na oblast kmitočtů v pásmu VKV, čili od 30 MHz výše.Proto se nemusíme starat o vlastnosti ionosféry, protože tyto kmitočty většinou procházejí ionosférou a mizí nenávratně v kosmickém prostoru anebo jsou pohlceny ve vrstvách atmosféry.

Rovněž vliv elektrických parametrů země na šíření i na anténní systém není tak rozhodující jako v pásmu krátkých nebo středních vln. Anténní systémy jsou relativně vysoko nad zemí. U rádiové vlny je nutno znát její polarizaci. Je to dáno polohou elektrické složky elektromagnetického vlnění.

V rádiových sítích se používá nejvíce vertikální polarizace s ohledem na přenosné a vozidlové radiostanice, kde použití všesměrové antény s horizontální polarizací je podstatně složitější záležitost.

2.2 Útlum mezi vysílací a přijímací anténou

Dalším základním pravidlem pro šíření elektromagnetických vln v reálných podmínkách rádiových sítí je to, že útlum mezi vysílací a přijímací anténou roste rychleji než uvádí vztah pro šíření volným prostorem (viz majáková rovnice)

$$P_{RX} = P_{TX} \frac{G_{TX} G_{RX} \lambda^2}{16\pi^2 r^2}$$

P_{rx} - přijímaný výkon [W]

P_{tx} - vysílaný výkon [W]

λ - vlnová délka [m]

G_{rx} - absolutní zisk vysílací antény

G_{px} - absolutní zisk přijímací antény

r - vzdálenost mezi vysílací a přijímací anténou [m]

Podle této rovnice na zdvojnásobení dosahu stačí zvětšit výkon o 6 dB (tzn. 4x).

Již na krátké vzdálenosti v rozmezí 1-2 km se musí výkon zvětšit minimálně o 8-11 dB pro zdvojnásobení dosahu a při vzdálenostech vozidla od základnové radiostanice kolem 20 – 30 km se musí výkon zvednout o 15 - 18 dB pro zdvojnásobení dosahu. Závisí to na kmitočtu a na typu terénu.

2.3 Vliv typu terénu

Typem terénu se rozumí rovinný terén s různou vodivostí a dielektrickou konstantou. Obecně platí, že čím vlhčí a vodivější terén, tím je útlum šíření povrchové vlny menší. Čím více je terén rovinný, tím více se tento vliv uplatňuje. Při kopcovitém nebo hornatém terénu se může při vhodné poloze vysílací a přijímací antény dosáhnout spojení na podstatně větší vzdálenost než je tomu v rovinatém terénu. Je to dáno tím, že hlavní svazek energie se šíří více nad zemí než v rovinatém terénu. Proto umísťujeme antény na nejvyšších místech nebo na kopcích na přivrácených stranách svahu.

Při šíření rádiových vln přichází z vysílače antény na přijímací anténu jednak přímý svazek, dále svazek odražený a rozptýlený od země, v případě terénních překážek svazek daný difrakcí (zde je nutné prověřit první Fresnelovu zónu) a ve větších vzdálenostech přichází na přijímací anténu kromě slábnoucího hlavního svazku i velké množství odražených svazků od okolních předmětů (stromy, budovy, velké konstrukce, věže, hory...)

Při bližším rozboru odraženého svazku je vidět, že síla elektromagnetického pole je závislá na výšce antén a že s měnící se výškou jedné nebo druhé antény síla elektromag-netického pole osciluje.

Proto v některých případech spojení se anténa základnové radiostanice s větší výškou může jevit horší než anténa s výškou nižší.

Při mobilním provozu však platí, že vyšší anténa základnové radiostanice zaručuje větší intenzitu elektromagnetického pole.

2.4 Přímá a odražená vlna

Při větších vzdálenostech vozidla od základnové radiostanice vlivem zakřivení země, zastínění terénními překážkami a mnohonásobným odrazem od okolních i vzdálených předmětů dochází k tzv. MOBILNÍMU EFEKTU , kdy síla pole prudce kolísá s pohybem vozidla.

Maxima resp. minima v síle signálu se objevují ve vzdálenostech 0,5 λ a rozdíl v jejich úrovních se pohybuje v rozmezí 3 – 30 dB v závislosti na zastínění.

V případě, že na vozidlo nedopadá přímá vlna, nebo nějaká dominantní vlna z některého směru, platí pro popsání tohoto jevu pravděpodobnostní kriterium Rayleighova zákona.

Podle tohoto kriteria lze velmi přesně spočítat, kolik poklesů dané úrovně se v daném úseku objeví (za předpokladu statisticky stacionárního pole), jak budou tyto poklesy široké atd.

Pro zmírnění tohoto jevu se používají dvě základní metody (obě dosti složité). U první metody se přijímá či vysílá na řadu antén rozmístěných v určitých vzdálenostech (nekorelačních). Signály z těchto antén se směšováním přemění na společnou fázi a pak se logicky sčítají.

Druhá metoda spočívá v použití tzv. energetické antény tj. takové, která přijímá vertikální složku elektrického pole a dvě horizontální složky magnetického pole. Sečtením všech těchto složek s určitými koeficienty se získá celková energie vysílaného signálu, která se nemění tak, jako vlastní intenzita elektrického pole (přelévání elektrické energie na magnetickou a naopak).

V praxi tyto diverzitní způsoby řešení omezují kolísání z hodnot 30 dB na 10 – 11 dB, což odpovídá 100 x zvýšení výkonu.

Poznámka: Pro zajímavost uvádím, že byl proveden rozbor signálu šíření elektromagnetických vln v pásmech 80 a 160 MHz v Pardubicích na sídlišti Polabiny, na železniční stanici v Plzni, v tunelu pražského metra, kde přímá vlna neexistovala a ve všech případech počet minim s určitou hodnotou pod mediánem souhlasil s Rayleighovým kriteriem s přesností 1-2%.

Pro šíření kmitočtů nad 300 MHz, hraje důležitou roli zastínění mezi anténami. Při spojení mezi dvěma základnovými anténami je nutné zjistit čistotu první Fresnelovy zóny. Je to vlastně elipsa jakožto geometrické místo bodů, od kterých přichází na přijímací anténu odražená vlna po dráze o λ/2 větší, než po přímé spojnici obou antén.

Existují metody kreslení této elipsy do profilu rádiového spoje s použitím 4/3 poloměru země pro tzv. standardní lom a na základě buď úplné čistoty, zastínění spoje 30 % resp. 60 % se volí rezerva rádiového spoje.

Při úplné čistotě 1. Fresnelovy zóny lze předpokládat, že šíření bude nezávislé na roční době (opadané listí, napadlý sníh) na vykácení lesa atd.

2.5 Vliv útlumu těla obsluhy přenosné radiostanice

Do problematiky šíření patří i vliv a útlum v těle obsluhy při provozu přenosných radiostanic.

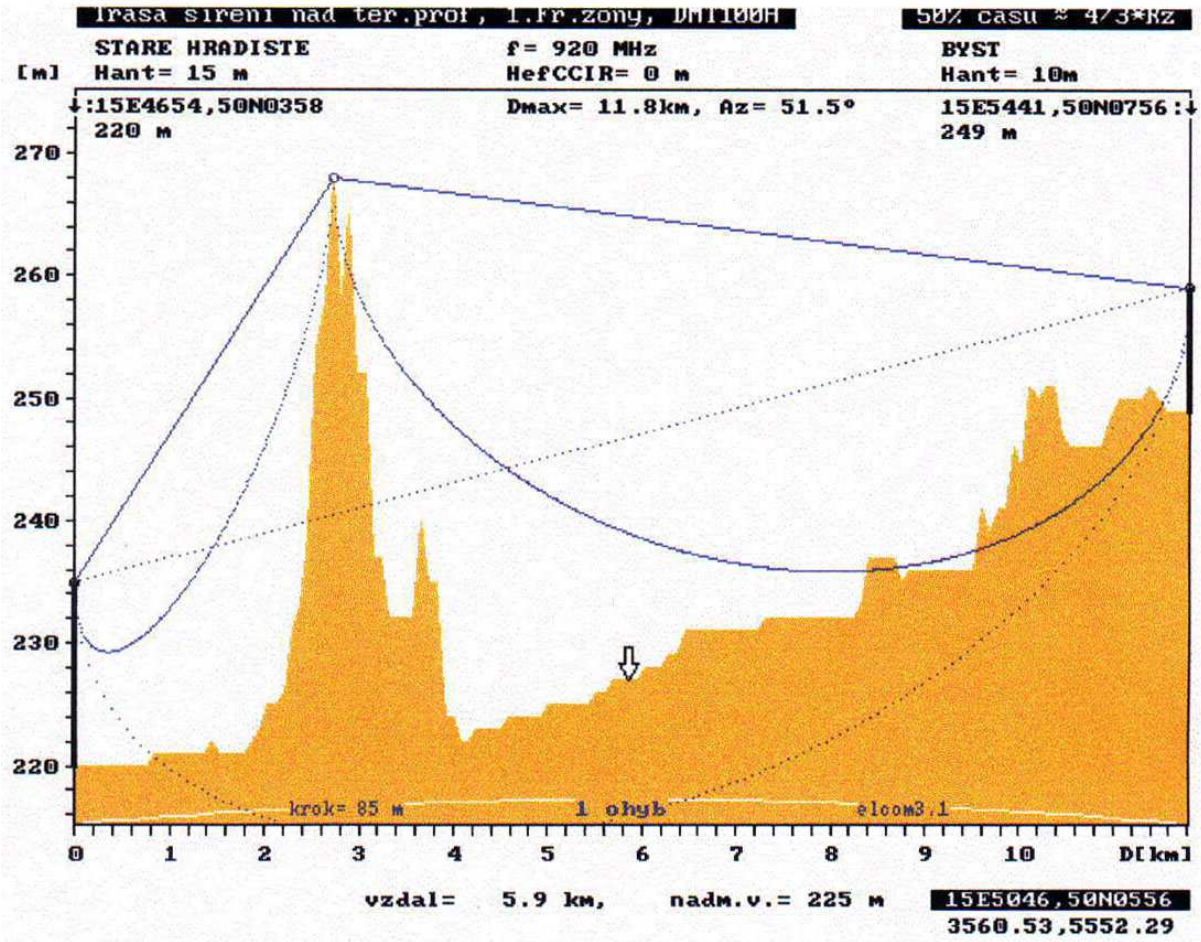
Je nutné si uvědomit, že v pásmu 35 MHz vzniká vlivem těla útlum 25-30 dB - což znamená, že se vyzařuje jen 1/1000 výkonu. Všechna ostatní energie otepluje tělo obsluhy. Útlum silně závisí na umístění radiostanice na těle. Navíc lidské tělo působí jako ztrátový direktor, takže v případě držení radiostanice před obličejem je max. dosah spojení ve směru dozadu.

Při zvyšujícím se kmitočtu klesá tento přídavný útlum asi na 10 dB v pásmu 80 MHz a asi na 3-5 dB v pásmu 160 MHz. V pásmu 160 MHz již tělo pracuje jako ztrátový reflektor a proto max. spojení je ve směru umístění radiostanice.

Radiostanice umístěná na boku respektive ještě pod rukou má nižší vyzařovací účinnost než radiostanice držená v ruce.

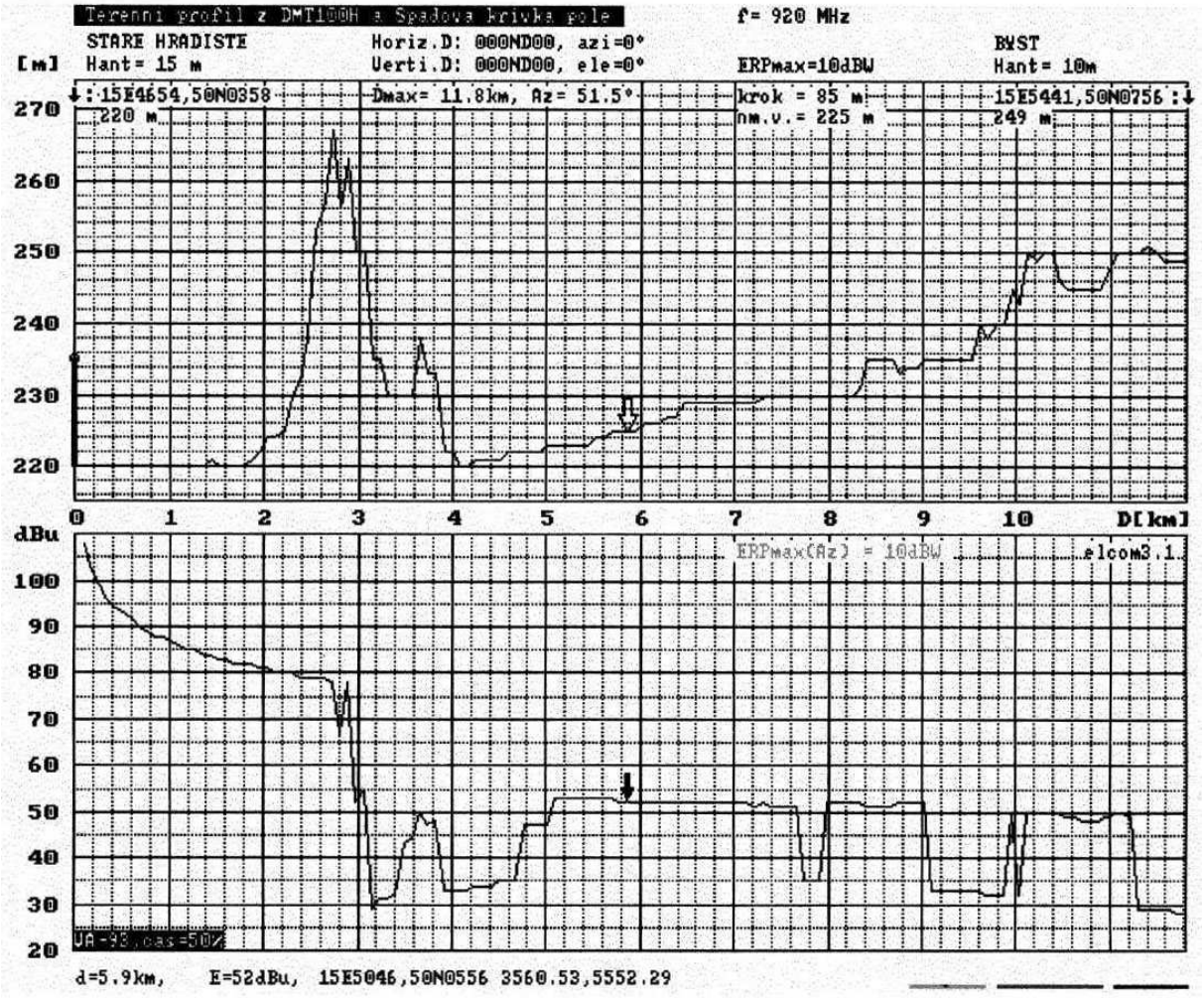
3 PŘÍKLAD ANALÝZY - trasa „STARÉ HRADIŠTĚ – BÝŠŤ“.

Obr. 1



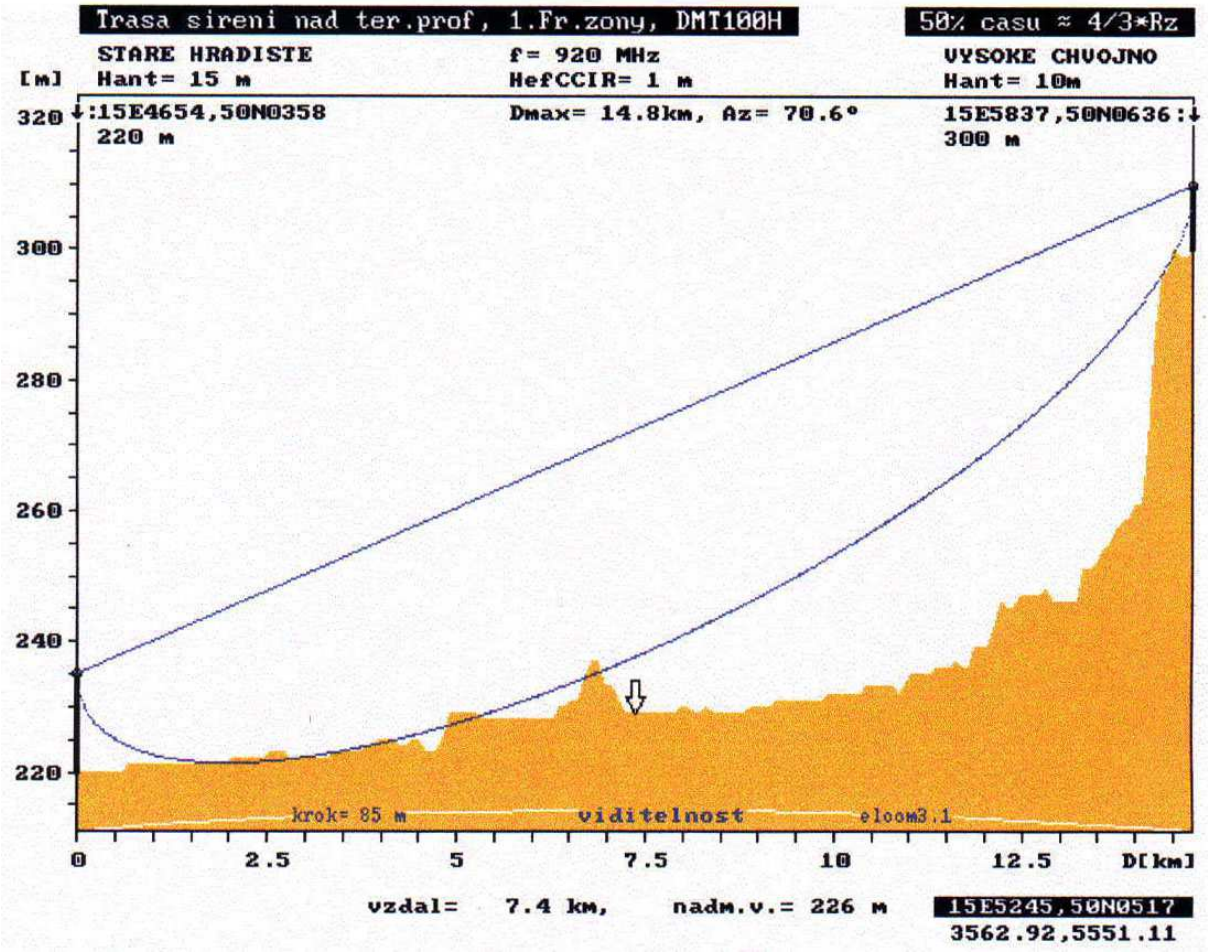
Obrázek znázorňuje průběh elipsy 1. Fresnelovy zóny, která je na kmitočtu 920 MHz zcela zastíněna Kunětickou Horou ve vzdálenosti 3 km a také v dalších vzdálenostech je zastíněna skoro do 50%. Antény jsou vysoké 15 m ve Starém Hradišti a 10 m v Býšti.
Takto navržená trasa by vykazovala velké kolísání signálu v závislosti na ročním období, klimatických podmínkách, a také na průmyslové a stavební činnosti podél trasy.

Obr. 2



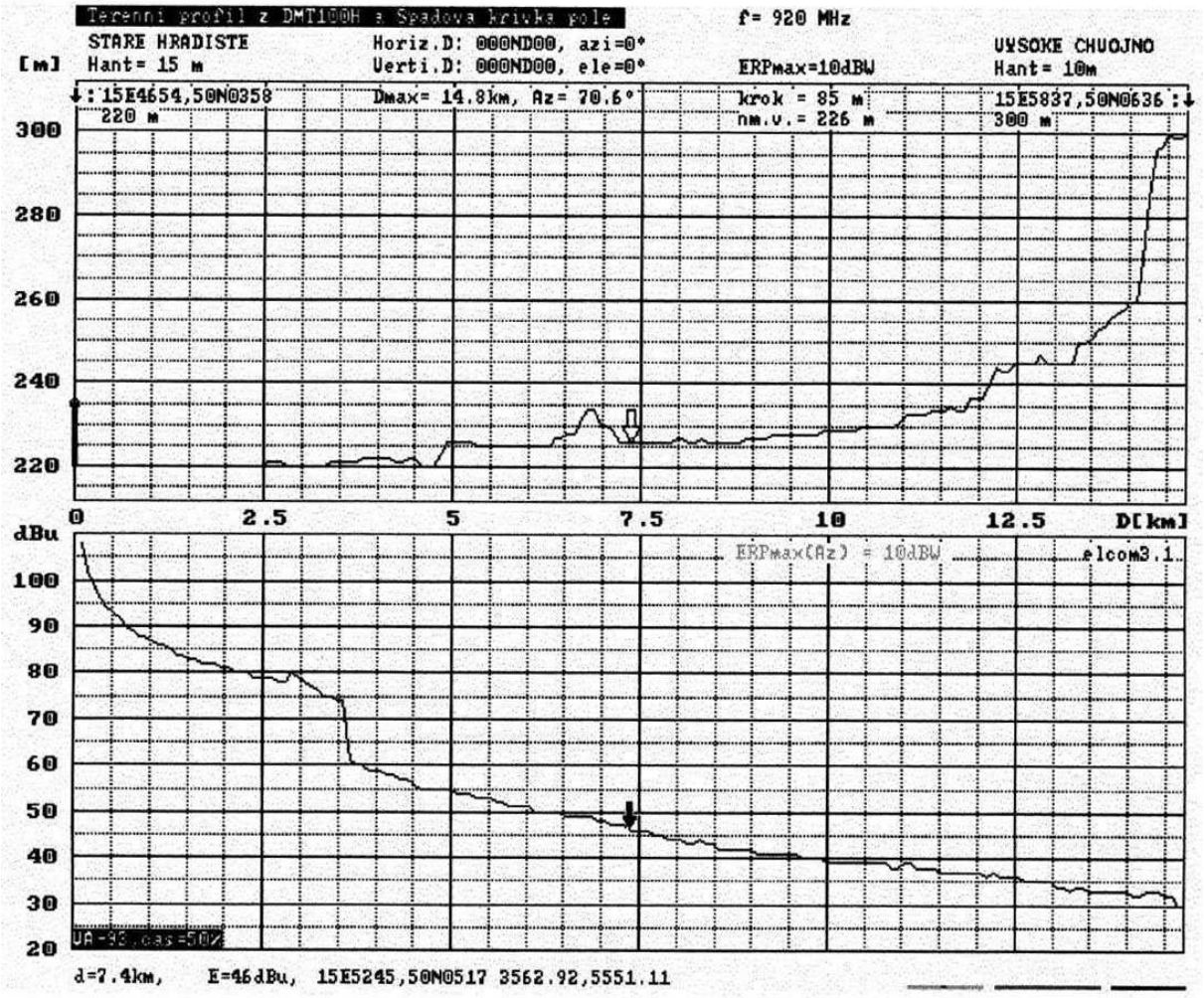
V dolní části obrázku je vidět prudký pokles signálu za Kunětickou Horou zhruba o 50 dB, což odpovídá jako by snížení výkonu 100 000x.

Obr. 3



Obrázek znázorňuje profil a Fresnelovu zónu na trase „Staré Hradiště – Vysoké Chvojno“, která se vyhýbá Kunětické Hoře. Zde je patrný rozdíl v čistotě Fresnelovy zóny a tato trasa bude mít stabilní chování pro šíření signálu 920 MHz.

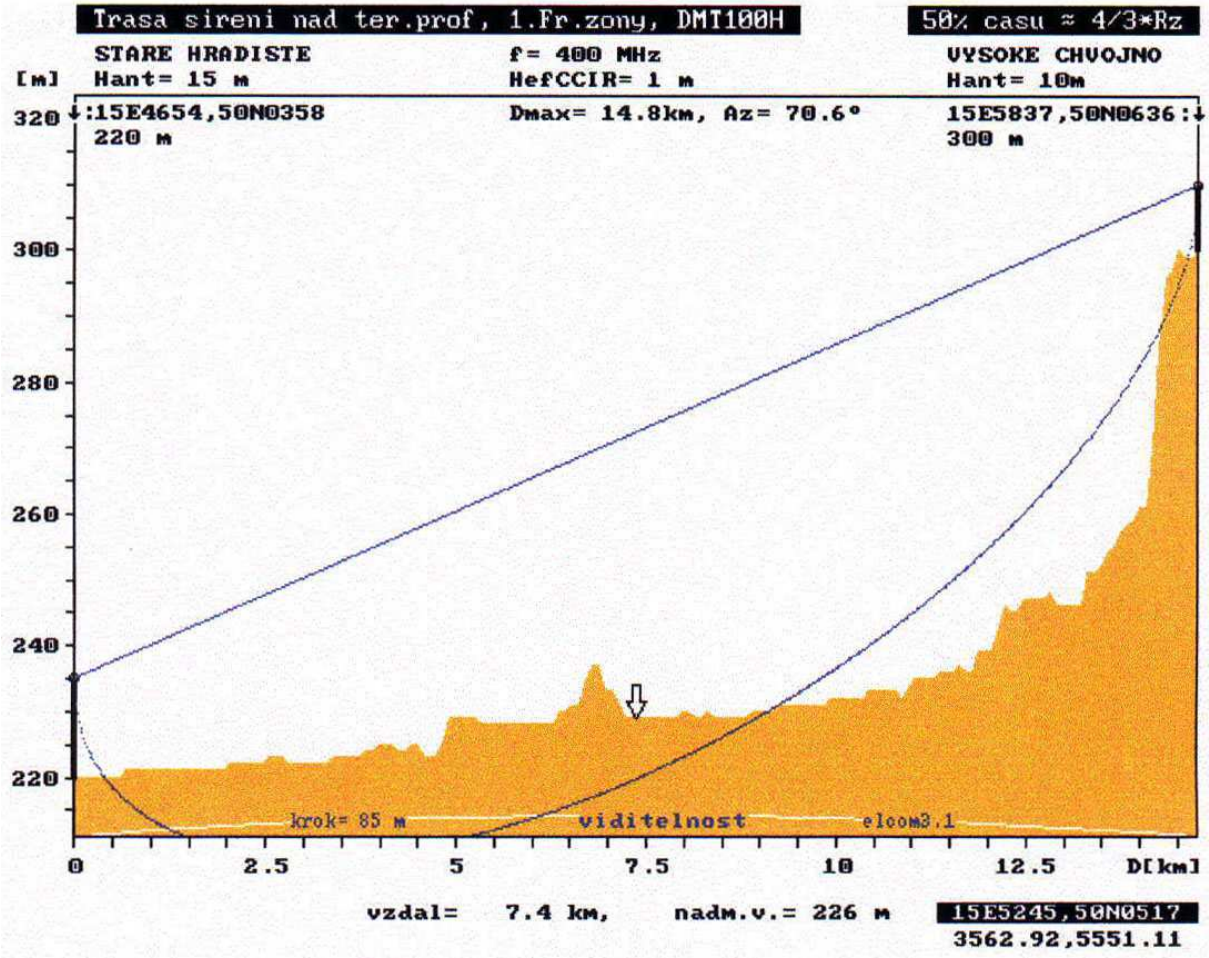
Obr. 4



Na obrázku je vidět, že pokles signálu je hladký.

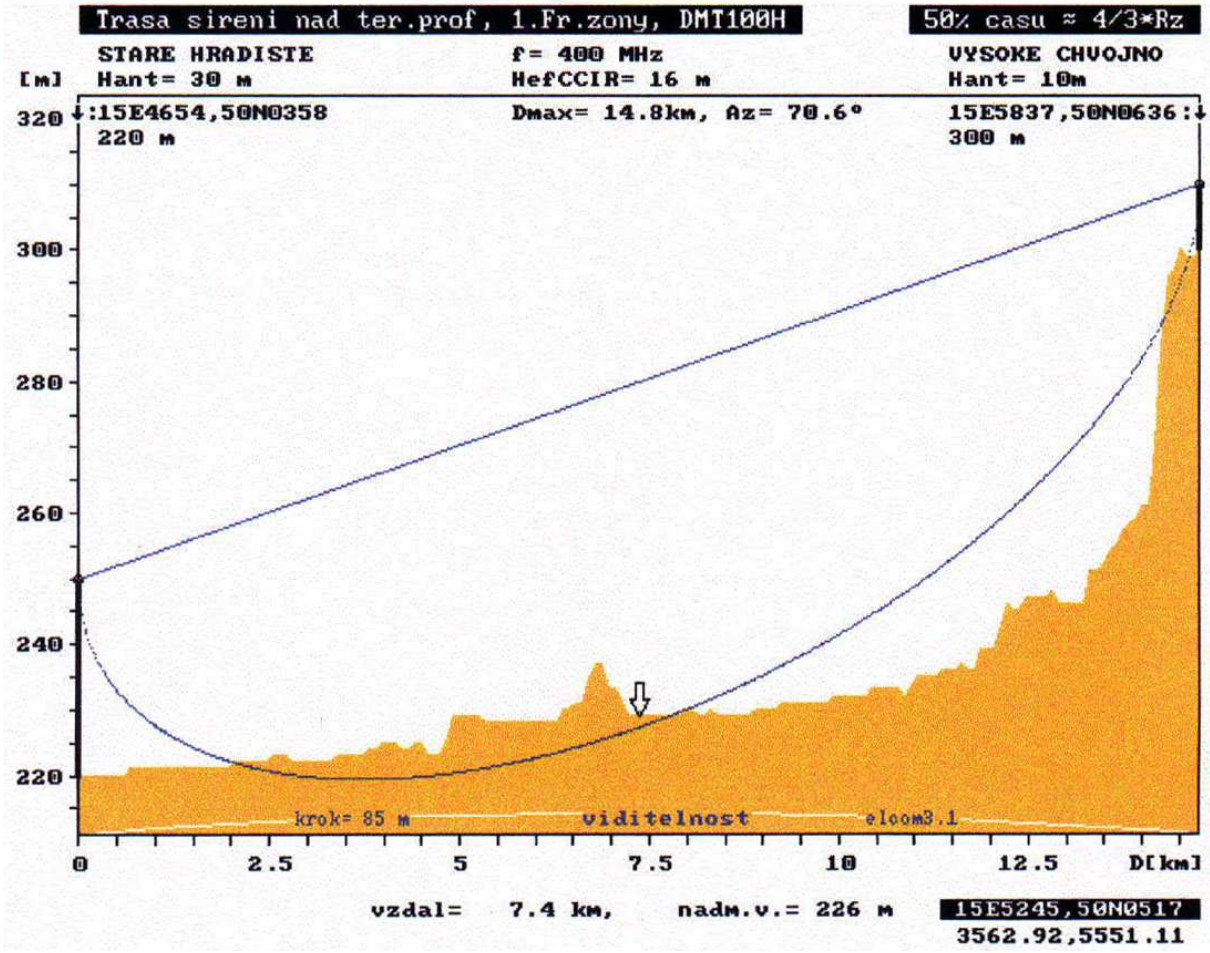
V anténní technice i v šíření všechny vzdálenosti je nutné vztahovat k vlnové délce. Proto uvádím, jak se tato trasa „Staré Hradiště – Vysoké Chvojno“ chová jinak, změní-li se kmitočet na 400MHz. Výšky antén se relativně vůči zemi sníží a zároveň se paprsek šířícího se signálu přiblíží zemi.

Obr. 5



Obrázek ukazuje, jak 1. Fresnelova oblast bude v některých svých místech zaplněna až do 40% - 50%.

Obr. 6



Obrázek ukazuje vylepšení této situace zvýšením výšky antény ve Starém Hradišti na 30 m.

Závěry analýzy:

Fresnelova zóna se značně vyčistila na 15% a navíc ve své větší části je zcela čistá. Dalším řešením by bylo hledání jiné výhodnější lokality na Vysokém Chvojně.

4 ŠÍŘENÍ SIGNÁLŮ V MĚSTSKÉ ZÁSTAVBĚ

Při mobilním spojení v městské zástavbě (v úzkých městských uličkách) se rádiové signály ve vyšších pásmech šíří lépe, než tomu bylo např. v pásmech 40 a 80 MHz. Je nutné dosáhnout toho, aby město, nebo daný prostor byl ozářen z co největší výšky. Šíření v úzkých uličkách pak probíhá s menším útlumem, protože tyto uličky působí jako vlnovody, které pro delší vlny mají malý rozměr.

Např. kritická vlnová délka u obdélníkového vlnovodu pro dominantní vid TÉ 10 musí být menší než dvojnásobek jeho šířky. (Zjednodušeně řečeno je TÉ 10 největší vlnová délka, která se může vlnovodem šířit).

Navíc v těchto pásmech velmi rychle ubývá intenzita průmyslového rušení, takže se může více využít citlivosti přijímačů.

Výhoda vyšších pásem je také v tom, že směrové antény i s vysokým ziskem mají přijatelné rozměry ve srovnání s anténami v pásmech 30,40,80 MHz. Nevýhodou šíření na těchto kmitočtech je menší schopnost ohýbat se za rozměrné překážky (údolí, stín vysokých budov atd).

5 ŠÍŘENÍ SIGNÁLŮ V PODZEMNÍCH PROSTORECH

Zvláštní pozornost zasluhuje šíření elektromagnetické energie v podzemních prostorech, jako jsou např. tunely, kanalizace, metro, doly atd.

Zde velmi záleží na použitém kmitočtu a příčném průzoru tunelu. Opět jde o podkritický rozměr vlnovodu. Zde skutečně dochází ke známému výroku, "vidím Tě, ale neslyším".

Pro zajištění spojení se zavádí do tunelu vf vedení, přímo napájené ze základnové radiostanice, které mírně vyzařuje. Jako typický představitel tohoto vedení je vf. dvoulinka, koaxiální kabel podélně rozříznutý (asi 1/3 obvodu vnějšího vodiče schází) a koaxiální kabel s vyříznutými štěrbinami, které působí jako magnetické dipólky. Vyzařovaný výkon tohoto vedení je -25 až -35 dB

Proč se musí v tomto případě použít pro pokrytí celého prostoru vf. vedení a ne obyčejného vodiče? Obecně platí že prochází-li přes nějaký objekt střídavý proud, vzniká v cestě proudu úbytek napětí úměrný ohmickému odporu objektu. Zvyšujeme-li kmitočet, ohmický odpor se zvětšuje v důsledku skin efektu, totiž, že proud se soustřeďuje jen do vnějších částí objektu. Při dalším zvyšování kmitočtu se ohmický odpor dále zvýší - vzniká vyzařování z objektu - objekt se stává anténou. Je to dáno relativní velikostí objektu k vlnové délce. V případě, že velikost objektu je srovnatelná s vlnovou délkou, nebo dokonce i se zlomkem vlnové délky, potom objekt dostává novou vlastnost, tzn. vyzařuje.

Proto použití jednoduchého vodiče pro pokrytí tunelu v pásmu VKV není možné. Proto je nutné použít vf. vedení, které dokáže vf. energii přenášet na větší vzdálenosti. Vedení je navrženo tak, že jenom velmi malá část energie se vyzáří (např. u dvoulinky 1/100 až 1/1000) a ostatní se rozvádí po celém tunelu. Ta malá část vyzářené energie stačí na spojení s objektem, který má anténu v prostorách tunelu.

Kvalitu vf vedení určuje tzv. podélný útlum. Přenosné nebo vozidlové radiostanice mají s tímto vedením vazební (příčný) útlum, který je závislý na typu přenosné antény a hlavně na vzdálenosti této antény od vedení.

Samozřejmě, že platí důležité zásady pro návrh vf vedení, aby nedocházelo k tzv. filtrovému efektu, kdy nosné elementy vedení se svojí kapacitou respektive indukčností přičítají (ve vzdálenosti A/2).

Do vedení bývají zařazeny dvousměrné zesilovače, které hradí podélné ztráty vf vedení v dlouhých tunelech.

Další zajímavou částí je šíření elektromagnetické energie v zemi, což se využívá k vyhledávání zasypaných objektů nebo předmětů. Pro podrobnější rozbor zde není dostatek místa.

6 OMEZOVÁNÍ NEŽÁDOUCÍCH RUŠENÍ

Do problematiky antén a šíření patří rovněž odstraňování nežádoucích rušení různých služeb. Např. radiostanice ruší TV, nebo naopak silný TV nebo FM rozhlasový vysílač zahltí příjem radiostanice tak, že kvalitní základnová anténa na střeše je nepoužitelná a pro spojení je podstatně horší, než anténa náhražková v nižší výšce.

Dále sem patří omezení vzájemného rušení více radiostanic v téže síti - na základě výpočtu intermodulačních produktů se musí správně navrhnout kmitočty jednotlivých radiostanic.

Současný provoz více vysílačů a přijímačů do společné antény se realizuje pomocí , sdružovačů, ve kterých jsou použity hybridní obvody, dutinové rezonátory, cirkulátory, duplexery, pre-selektory atd. Jak zde bylo naznačeno, problematika šíření a správného použití anténních systémů zabírá široký rozsah a správně navržený projekt rádiové sítě se stává jedinečným v použití antén, filtrů a ostatních vf obvodů.