



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Pedagogická fakulta  
Katedra aplikované fyziky a techniky

Diplomová práce

# Měření rádiové sítě v závislosti na profilu krajiny

Vypracoval: Bc. Pečinka Miroslav  
Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý, Ph.D.

České Budějovice 2014

# **Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta – Katedra aplikované fyziky a techniky

## **Měření rádiové sítě v závislosti na profilu krajiny**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Šerý, Ph.D.

Autor:

Bc. Miroslav Pečinka

## **Abstrakt**

Diplomová práce popisuje stručnou historii radiotechniky a elektromagnetické vlnění z fyzikálního hlediska. Zaměřuje se hlavně na rádiové vlnění v pásmu VKV a následnou výstavbou rádiové sítě v tomto pásmu. Využívá znalostí pisatele v oblasti této vlnové délky. Diplomová práce má sloužit jako manuál pro kolegy autora.

## **Abstract**

This thesis describes a brief history of radio and electromagnetic waves from a physical point of view. It focuses mainly on radio waves in the VHF and subsequent construction of a radio network in this band. It uses the knowledge of the writer of this wavelength. This thesis is intended as a guide for fellow author.

## **Klíčová slova**

Elektromagnetické vlnění, Radio Mobile, anténa, GPS, rádiové pokrytí.

## **Keywords**

Electromagnetic waves, Radio Mobile, antenna, GPS, radio coverage.

Prohlašuji, že svoji diplomovou 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 diplomové práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách (kromě začerněných částí v kapitole 8. a kapitole 9., které podléhají zákonu o utajovaných informacích), a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

Podpis studenta

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Šerému, Ph.D., dále děkuji svým přátelům a kolegům za poskytnutí rad a materiálů použitých při zpracování této diplomové práce.

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>HISTORIE RADIOTECHNIKY</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>STRUČNÝ PŘEHLED DĚJIN RADIOTECHNIKY</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>PRVNÍ ROZHLASOVÉ VYSÍLÁNÍ NA ÚZEMÍ ČECH</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>VZNIK ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNĚNÍ</b>	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>VZTAHY PLATNÉ PRO ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>ELEKTROMAGNETICKÝ OSCILÁTOR</b>	<b>18</b>
<b>4.3</b>	<b>ELEKTROMAGNETICKÝ DIPÓL</b>	<b>20</b>
<b>4.4</b>	<b>ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNĚNÍ PROSTŘEDÍM</b>	<b>21</b>
<b>4.4.1</b>	<b>ODRAZ ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNĚNÍ</b>	<b>23</b>
<b>4.5</b>	<b>ŠÍŘENÍ VKV</b>	<b>25</b>
<b>4.5.1</b>	<b>VLASTNOSTI PŘENOSU VKV</b>	<b>25</b>
<b>4.5.2</b>	<b>FRESNELOVA ZÓNA</b>	<b>26</b>
<b>4.5.3</b>	<b>ODRAZ VLN VE FRESNELOVĚ ZÓNĚ</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>SPRÁVA RÁDIOVÉHO SPEKTRA</b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD</b>	<b>30</b>
<b>5.2</b>	<b>STATUT ČESKÉHO TELEKOMUNIKAČNÍHO ÚŘADU</b>	<b>30</b>
<b>5.3</b>	<b>PLÁN VYUŽITÍ RÁDIOVÉHO SPEKTRA</b>	<b>31</b>
<b>5.4</b>	<b>PLÁNOVÁNÍ SÍTÍ PODLE ČTÚ</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>TYPY POUŽÍVANÝCH ANTÉN</b>	<b>34</b>
<b>6.1</b>	<b>ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ANTÉN</b>	<b>34</b>
<b>6.2</b>	<b>VŠESMĚROVÁ ANTÉNA</b>	<b>35</b>
<b>6.3</b>	<b>SMĚROVÁ ANTÉNA</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE</b>	<b>39</b>
<b>7.1</b>	<b>DIGITÁLNÍ MULTIMETR METRAHIT X-TRA</b>	<b>39</b>
<b>7.2</b>	<b>TRANSCEIVER ALINCO DJ-596 MK2</b>	<b>40</b>
<b>7.3</b>	<b>TESTER AKUMULÁTORŮ ACT GOLD IBT PLUS</b>	<b>41</b>
<b>7.4</b>	<b>MĚŘIČ SWR SX – 400N DIAMOND</b>	<b>43</b>
<b>7.5</b>	<b>ANTÉNNÍ ANALYZÁTOR RIGEXPERT AA – 520</b>	<b>44</b>
<b>7.6</b>	<b>MONITOROVACÍ MODEM M5000 LUX</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>NÁVRH A VÝPOČET POKRYTÍ RADIOVÝM SIGNÁLEM</b>	<b>47</b>
<b>8.1</b>	<b>VYZNAČENÍ MÍSTA BEZ SIGNÁLU V MAPĚ</b>	<b>47</b>
<b>8.2</b>	<b>PRVOTNÍ PRŮZKUM TERÉNU</b>	<b>48</b>
<b>8.3</b>	<b>PROGRAM RADIO MOBILE</b>	<b>49</b>

8.3.1 PRÁCE S PROGRAMEM RADIO MOBILE .....	50
<b>8.4 VYHLEDÁNÍ NEJVYŠŠÍHO BODU V TERÉNU PROGRAMEM RADIO MOBILE .....</b>	<b>50</b>
<b>8.5 INSTALACE VYSÍLAČE PRO MĚŘENÍ.....</b>	<b>53</b>
8.5.1 VÝPOČET POKRYTÍ Z JEDNOHO VYSÍLACÍHO BODU .....	54
<b>8.6 ZOBRAZENÍ TERÉNNÍHO PROFILU MEZI RADIOSTANICEMI.....</b>	<b>61</b>
8.6.1 SIMULACE RÁDIOVÉHO SPOJENÍ CHURÁŇOV - LIBÍN .....	61
8.6.2 SIMULACE RÁDIOVÉHO SPOJENÍ CHURÁŇOV – KLOSTERMANOVA VĚŽ .....	64
8.6.3 SIMULACE RÁDIOVÉHO SPOJENÍ KLOSTERMANOVA VĚŽ – BRANTLŮV DVŮR .....	65
8.6.4 VYHODNOCENÍ SIMULACE PŘENOSOVÝCH TRAS .....	66
8.6.5 RÁDIOVÉ SPOJENÍ V OKOLÍ CHURÁŇOVA .....	67
<b>8.7 SHRnutí PROVEDENÝCH SIMULACÍ V PROGRAMU RADIO MOBILE .....</b>	<b>70</b>
<b>8.8 MĚŘENÍ MONITOROVACÍM MODEMEM M5000 LUX .....</b>	<b>71</b>
8.8.1 MĚŘENÍ VYSÍLAČE CHURÁŇOV .....	71
8.8.2 MĚŘENÍ V OBCI STACHY, VACOV A ZDÍKOV .....	72
<b>9 TECHNICKÁ REKONSTRUKCE VYSÍLAČE.....</b>	<b>76</b>
9.1 ZJIŠTĚNÍ ZÁVADY NA RÁDIOVÉM VYSÍLAČI.....	77
9.2 VÝMĚNA ANTÉNY A ANTÉNNÍHO SVODU .....	79
9.3 MĚŘENÍ MODEMEM M5000 LUX VYSÍLAČ LIBÍN .....	83
<b>10 ZÁVĚR.....</b>	<b>85</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>86</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>89</b>
<b>Seznam použitých zkratk .....</b>	<b>90</b>
<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>92</b>

# 1 ÚVOD

Téma diplomové práce, Měření rádiové sítě v závislosti na profilu krajiny, jsem zvolil z toho důvodu, že jsem zaměstnán jako technik u PČR, kde mimo jiné navrhuji, plánuji a obsluhuji rádiovou síť na frekvenci 160 MHz, která je Českým telekomunikačním úřadem přidělena ozbrojeným složkám ČR. Kromě tohoto čistě profesního důvodu je zde i můj osobní zájem o tento obor. Ten se při psaní diplomové práce ještě více zvětšil, a moje znalosti např. v oblasti navrhování rádiové sítě se významně prohloubily. Jako příklad mohu uvést to, že jsem přestal používat zastaralý software pro navrhování rádiové sítě v terénu, založený na bázi operačního systému MS-DOS a začal jsem šíření rádiových vln navrhovat v novém, volně přístupném programu Radio Mobile. Tento program umožňuje vkládání vypočtených hodnot vyzařovací charakteristiky vysílače do aktuálních satelitních map. V mém případě to jsou mapy z programu Google Earth.



## 2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Mezi hlavní cíle diplomové práce patří vytvoření jednoduchého popisu práce s programem Radio Mobile, který bude sloužit jako příručka pro mé kolegy, ale i například pro vedoucí technických kroužků. Těm může sloužit jako pomůcka při výuce elektromagnetického vlnění se zaměřením na rádiové spektrum.

Mezi dílčí cíle diplomové práce patří:

- Seznámení se stručnou historií radiotechniky ve světě i na našem území.
- Přehled právních předpisů a legislativy rádiového vysílání v ČR.
- Základní rozdělení antén používaných v radiotechnice.
- Realizace pokrytí území rádiovým signálem.
- Praktické měření rádiového signálu v kopcovitém terénu Šumavy.

### 3 HISTORIE RADIOTECHNIKY

#### 3.1 Stručný přehled dějin radiotechniky

Již v prvopočátcích lidské civilizace se člověk snažil urychlit předání důležité informace z bodu A do bodu B. Ať se již jednalo o informaci vojenskou, zajišťující strategickou výhodu, nebo například obchodní, kdy držitel této informace byl takřkajíc o krok napřed před svými rivaly. Vždy se jednalo o velice důležité a svým způsobem ne všem přístupné technologie přenosu dat. Jako příklad můžeme uvést ohňové signály, které vlastně rychlostí světla nesly například informaci o napadení území nepřitelem. Tohoto přenosu dat bylo použito při ohlášení dobytí Tróje v roce 1184 před naším letopočtem řeckým vojskem do jejich vlasti.

Dalšími historickými nosiči dat byli cvičení běžci v antické kultuře, jmenujme slavného Pheidippidese, který bez zastávky předal svému králi zprávu z Maratónu do Atén o vítězství jeho armády nad Peršany v roce 490 před naším letopočtem. Tento voják, na obr.3.1, však po předání své 1 bitové informace zemřel na celkové vysílení organismu. Později převzali funkci posílů jezdci na koních, kteří převáželi utajované informace, jenž byly zašifrovány jednoduchým, ale na svou dobu velice průkopnickým systémem kódů a klíčů k nim.



Obr.3.1 Socha Pheidippidese v Řecku, převzato a upraveno [1]

Avšak ani v dnešní době se způsob přenášení dat příliš nezměnil. Opomeneme-li množství přenesených dat, změnila se jen forma nosičů, na které se informace ukládají. Když se nebudeme zmiňovat o potištěném papíru, který má co do ukládání dat analogii již v sumerských hliněných destičkách, máme k nabídce hned několik typů nosičů dat. A to magnetické pásky, diskety, výměnné disky, magnetické karty, CD, flash disky apod. To, že i taková věc jako je nosič dat, může mít inspiraci v módním světě, dokazuje disketa, která se stále zmenšovala, až dosáhla velikosti kapsičky u pánské košile, do které se přesně vešla.

Má práce však nemá za úkol popisovat tuto historii, ale zaměřím se pouze v důležitých datech na dějiny související s radiotechnikou a to od druhé poloviny 19. století.

V roce 1865 James Clark Maxwell představil veřejnosti rovnice, které popisují vlastnosti elektromagnetického pole. Navázal tak na práci Michaela Faradaye, jenž objevil magnetickou indukci. Z těchto rovnic byla teoreticky odvozena existence elektromagnetického vlnění. Dva roky na to německý vědec Hertz prokázal svými pokusy existenci rádiových vln. Dále sestavil první vysílací anténu. Jednalo se o jednoduchý dipól s parabolickým reflektorem. V roce 1887 vynalezl oscilátor, jímž vybudil elektromagnetické vlny. Vypočítal rychlost šíření rádiových vln v prostoru. Mimo jiné dokázal, že světlo a teplo je také elektromagnetické vlnění.

V roce 1896 přichází na světovou scénu italský vynálezce Marches Guglielmo Marconi, na obr.3.2, se svým bezdrátovým telegrafem. V tomto roce si nechal svůj vynález patentovat v Londýně, aby následně během roku dokázal přenést rádiový signál z původních 1,6 km na vzdálenost 29 km mezi pobřežím a obchodní lodí. V roce 1899 probíhala již čilá komerční rádiová komunikace mezi Francií a Anglií. Roku 1901 se mu podařilo přenést přes Atlantický oceán tři tečky, což je písmeno S. Od roku 1905 již probíhala bezdrátová rádiová korespondence mezi Evropou a Amerikou. Mimo jiné, díky vynálezu pana Marconiho, bylo zachráněno mnoho pasažérů z potopené lodi Titanic.

Roku 1904 německý vědec Christian Hulsmeier předvedl princip radaru. Jednalo se o zařízení pro zjišťování objektů na principu odrazu rádiových vln. Stejněho roku představil J. A. Fleming vakuovou diodu a o tři roky později vynalezl Lee de Forest triodu. Ta se používala jako nízkofrekvenční zesilovač za krystalkou. Přijímač s krystalovým detektorem a vícestupňovým triodovým nf zesilovačem byl používán do roku 1918, kdy skončila 1. světová válka. Roku 1922 byl spuštěn první rozhlasový vysílač v západní Evropě, jenž se nacházel ve Velké Británii. Ihned následující rok začalo první rozhla-

sové vysílání na území tehdejšího Československa. Jednalo se o památné vysílání *Radio-jurnálu*.



Obr.3.2 Marches Guglielmo Marconi se svým bezdrátovým telegrafem, převzato a upraveno [2]

Vynález nepřímého žhavení elektronky v roce 1928 umožnil jednodušší napájení zařízení ze střídavé sítě. Do této doby se přístroje většinou napájeli z baterií. V roce 1930 se rozjela sériová výroba výkonových a vysokofrekvenčních pentod. Současně se vyráběly elektronky se žhavicím vláknem pro větší napětí a stejný proud do přijímačů bez síťového transformátoru.

V roce 1931 byl poprvé použit radar v lodní dopravě. Roku 1933 začala sériová výroba mnohomřížkových elektronek hexod, heptod a oktod. Také se začaly vyrábět selektody - exponenciální pentody a indikátory vyladění známé jako „magické oko“. Je spuštěna výroba rozhlasového přijímače superhet. Roku 1934 byl sestrojen radar na sledování pohybu lodí. Radar pracoval v pásmu metrových vln.

Již roku 1935 bylo v Evropě zavedeno jednotné značení elektronek. Začínají lampy řady A, kryté zlatým lakem. Používá se lamelová patice. Kvůli nutnosti přechodu

na vyšší kmitočty nastává v roce 1939 miniaturizace lamp, hlavně zkrácení přívodů od systému k patici. Sloupková patka končí.

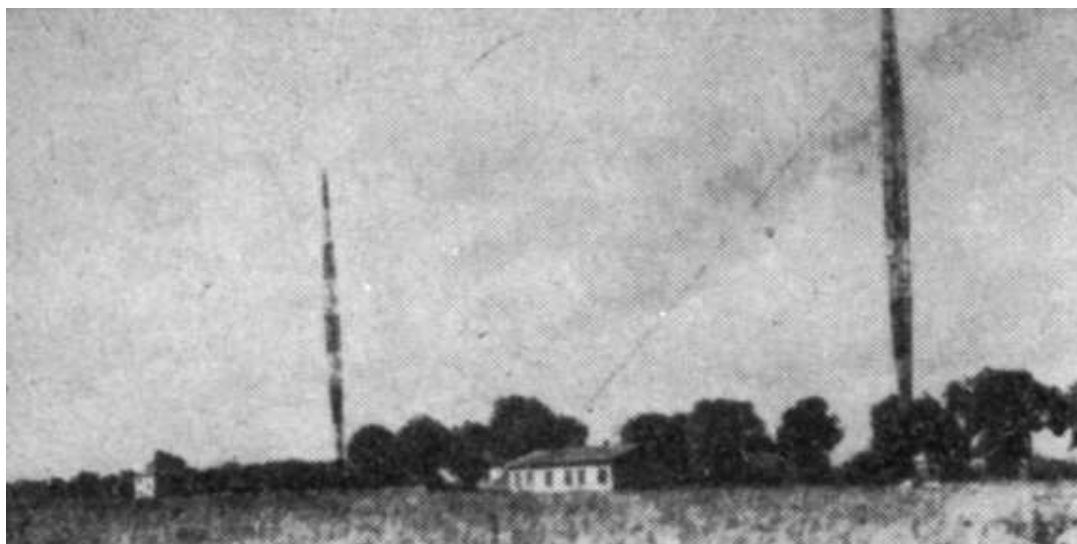
Během 2. světové války nastává bouřlivý rozvoj elektroniky. Vývoj a nasazení celoskleněných lamp. V Anglii za války vzniká řada Rimlock Ex40, v dalších Evropských zemích oktalové lampy Ex21. V USA miniaturní lampy heptalové.

V roce 1940 byla vynalezena lampa řady D pro bateriové žhavení napětím 1,4 V. V tom samém roce byl na Birminghamské univerzitě vynalezen magnetron. V provozu byl předveden radar pracující na *cm* vlnách délky 9,7 cm. Tento přístroj pomohl Britům vyhrát bitvu o Anglii. Roku 1947 byl vynalezen tranzistor, který otevřel do té doby zcela netušené možnosti v elektronice. [3]

### 3.2 První rozhlasové vysílání na území Čech

„Haló, zde rozesílací stanice Radiojournalu, instalovaná v žárovkárně Elektra Hloubětín, 9 kilometrů od Prahy.“ Tímto hlášením zahajovalo od 1. června 1923 každodenní večerní vysílání amatérských nadšenců z vysílače o výkonu kolem 50 W na vlně 900 metrů. Předtím ovšem již od 18. května ve 20.15 hodin vysílala pravidelné pořady *Radiojournalu* poštovní kbelská radiostanice s výkonem 1 kW. Nadšenci použili dřevěnou boudu, obr.3.3, na letišti v Kbelích jako zázemí pro techniku vysílače. Za vysílací studio jim sloužil skautský stan s několika židlemi a zapůjčeným klavírem. Toto vysílání vzniklo z popudu Spolku českých žurnalistů v Praze, jenž zřídil v tehdejší kině *Sans-sousi* přijímací stanici, která zachycovala vysílané pořady a reprodukovala je do sálu. Naše vlast se tak hned po Velké Británii stala druhou zemí v meziválečné Evropě, která měla pravidelné rozhlasové vysílání.

Vůbec první radiofonní vysílání uskutečnil vynálezce triody, doktor Lee de Forest z Metropolitní opery v New Yorku, v lednu 1910. V té době již po světě pracovaly tisíce telegrafních vysílačů. Jedno z prvních stabilních rozhlasových vysílání v Evropě bylo zahájeno v září roku 1920 choldynskou radiofonní stanicí v Moskvě, zachycenou i v Berlíně. 2. listopadu 1920 byla dána do provozu první vysílací stanice ve Spojených státech, a to stanice Westinghouse Electric Co., která oznámila výsledky prezidentských voleb. Jen v USA bylo k 1. lednu 1923 registrováno celkem 21 065 vysílačů, z toho 16 828 amatérských a 569 rozhlasových.



Obr.3.3 Kbelský vysílač *Radiojournalu* v roce 1923, převzato a upraveno [4]

V době zahájení pokusného vysílání *Radiojournalu* byly v Čechách již desítky posluchačů, mnozí s amatérskými aparáty. Ti přijímali různé zahraniční radiotelegrafní a radiofonní vysílače jako např. pařížskou Eifelovku aj. i přesto, že povolení vlastnit či zřizovat vlastní amatérské radiostanice ještě neexistovalo a tehdejší četnictvo je zabavovalo. Teprve 23. března roku 1923 byl Ministerstvem pošt a telegrafů vydán základní zákon o telegrafii č. 60/23. Avšak až 10. října téhož roku bylo vydáno prvních deset koncesí k provozování radiopřijímačů a 20. prosince 1923 byl vydán zákon č. 9/24 o výrobě, prodeji a přechovávání radiotelefonických zařízení. [3]



Obr.3.4 Koncese pro volací znak OK1AA, převzato a upraveno [5]

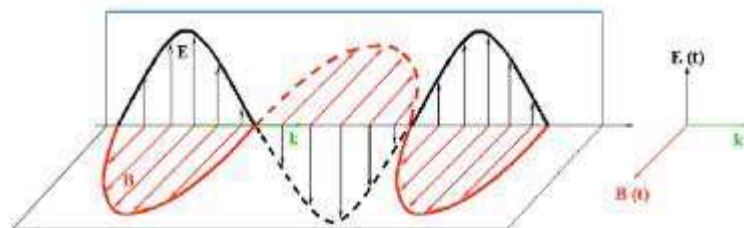
První radioamatér na českém území byl Ing. Karel Ort z Koštic nad Ohří. Mezi lety 1899 až 1902 se snažil postavit vysílací a přijímací stanici. V té době však neustále narážel na úřednickou byrokracii rakousko-uherské monarchie. Nakonec vystavěl anténu v místě svého rodiště. První koncesovaní vlastníci vysílače byli ing. M. Schäferling z Prahy s volacím znakem OK-1AA, obr.3.4, a P. Motyčka z Bráníku u Prahy s volacím znakem OK-1AB [5].

## 4 VZNIK ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNĚNÍ

Pro člověka nejznámějším elektromagnetickým vlněním je světlo. Podstatu elektromagnetického vlnění vyložil ve 2. polovině 19. století J. C. Maxwell. Z jeho teorie elektromagnetického pole vyplývá, že kolem částic s nábojem, které jsou ve zvolené vztažné soustavě v klidu, je elektrostatické pole. Jestliže se tyto částice pohybují rovnoměrným pohybem, vzniká kromě elektrického pole ještě pole magnetické. Intenzita  $E$  elektrického pole a magnetická indukce  $B$  magnetického pole se však v čase nemění. To znamená, že v těchto případech elektromagnetické vlnění nevzniká.

Když se částice s nábojem (např. elektrony ve vodiči) pohybují se zrychlením, vzniká časově proměnné elektrické pole, a to je příčinou vzniku pole magnetického. Výsledné pole má dvě navzájem neoddělitelné složky a to elektrickou a magnetickou, které tvoří elektromagnetické pole. Jeho existence je podmíněna vzájemným vztahem mezi oběma složkami. Změnami elektrické složky pole vzniká pole magnetické a změnami magnetické složky pole vzniká pole elektrické. Tento děj vzájemných přeměn obou složek se v podobě elektromagnetického vlnění šíří prostorem.

Postupným elektromagnetickým vlněním se přenáší energie elektromagnetického pole. V prostoru mezi vodiči vzniká časově proměnné silové pole, které má jednak složku elektrickou, jednak složku magnetickou. Energie není přenášena samotnými vodiči, ale elektromagnetickým polem mezi nimi.



Obr.4.1 Elektromagnetické příčné vlnění, převzato a upraveno [6]

Elektromagnetické pole mezi vodiči je charakterizované vektory  $E$  a  $B$ , které jsou ve všech bodech elektromagnetického pole navzájem kolmé a současně jsou kolmé na směr šíření postupné elektromagnetické vlny. Jestliže kmitá zdroj elektromagnetického



vlnění, má postupná elektromagnetická vlna průběh, který je vyobrazen na obr.4.1. Elektromagnetické vlnění je vlnění příčné. [6]

#### 4.1 Vztahy platné pro elektromagnetické vlnění

V libovolném bodě oscilačního vedení ve vzdálenosti  $x$  od zdroje je mezi vodiči napětí, které je vyjádřeno vztahem 4.1

$$u = U_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (4.1)$$

kde  $U_m$  je amplituda napětí,  $T$  je perioda napětí a  $\lambda$  je vlnová délka elektromagnetické vlny. Tato rovnice se nazývá rovnice postupné elektromagnetické vlny.

Pro vlnovou délku elektromagnetické vlny platí vztah 4.2

$$\lambda = vT = \frac{v}{f} \quad (4.2)$$

kde  $f$  je frekvence oscilátoru a  $v$  je rychlost elektromagnetického vlnění.

Rychlost elektromagnetického vlnění je závislá na prostředí, kterým se toto vlnění šíří. Ve vakuu se elektromagnetické vlnění šíří rychlostí o velikosti

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 2,997924 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.3)$$

Rychlost  $c$  byla naměřena ještě před nalezením elektromagnetického pole. A to jako rychlost světla. To dovedlo Maxwella na myšlenku, že světlo je elektromagnetické vlnění.

Protože platí, že

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0 \quad (4.4)$$

a

$$\mu = \mu_r \mu_0 \quad (4.5)$$

kde  $\varepsilon_r$  a  $\mu_r$  jsou relativní permitivita a permeabilita prostředí, pak platí

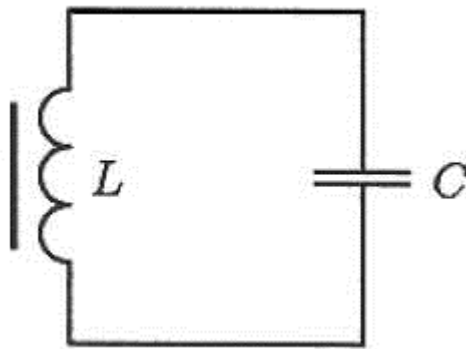
$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}} \quad (4.6)$$

Tento vztah pro rychlost elektromagnetického prostředí platí pro nižší frekvence [6].

## 4.2 Elektromagnetický oscilátor

Pro názornost si předvedeme elektromagnetický oscilátor, který je nejběžnějším zdrojem elektromagnetického vlnění. Jde o nejdůležitější obvod v radiotechnice. Využívá se ke generování střídavých proudů a napětí, které nazýváme elektromagnetické kmitání. V elektromagnetickém oscilátoru při kmitání vznikají periodické změny energie. Tato energie však nevyzařuje do okolí oscilátoru. Ve skutečnosti potřebujeme právě ten stav, kdy energie z oscilátoru přechází do okolního prostoru.

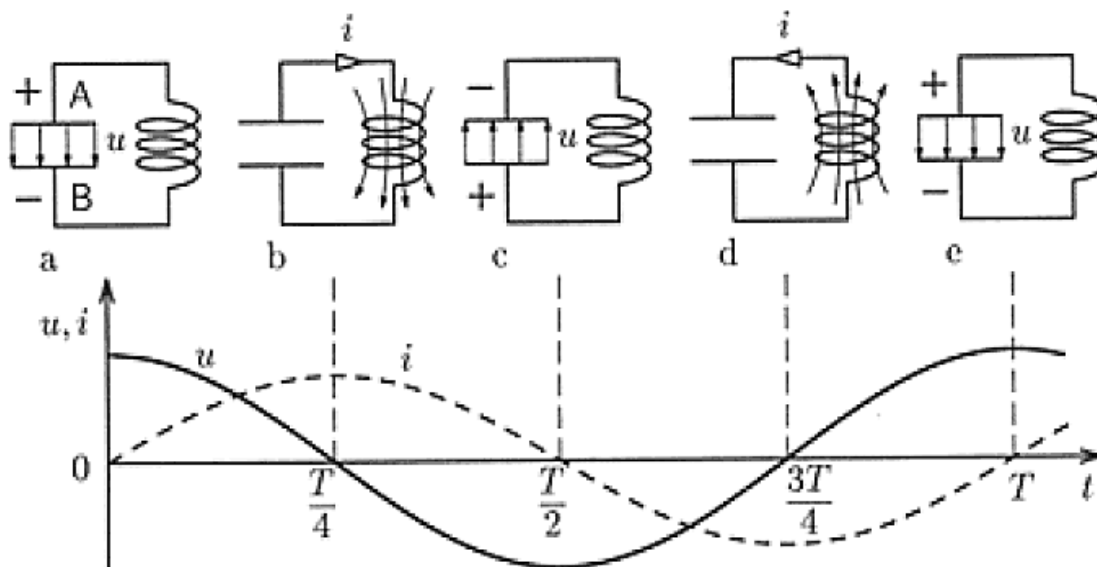
Nejjednodušší elektromagnetický oscilátor si můžeme představit jako LC obvod, který je složen z cívky a kondenzátoru, jak je uvedeno v obr.4.2. Hodnoty tohoto LC obvodu jsou dány indukčností  $L$  a kapacitou  $C$ .



Obr.4.2 Elektromagnetický oscilátor s LC obvodem, převzato a upraveno [6]

Princip elektromagnetického oscilátoru popíšeme následovně. V okamžiku, kdy se nabije kondenzátor ze stejnosměrného zdroje, vznikne mezi jeho deskami elektrické pole. Toto elektrické pole reprezentuje prvotní energii oscilátoru. Jakmile k cívce zapojíme kondenzátor, začne LC obvodem procházet proud. Kondenzátor se následně vybíjí a energie elektrického pole se zmenšuje. Současně se zvětšuje proud procházející cívkou a kolem ní se vytváří magnetické pole. Energie magnetického pole kondenzátoru se mění na energii magnetického pole cívky. [6]

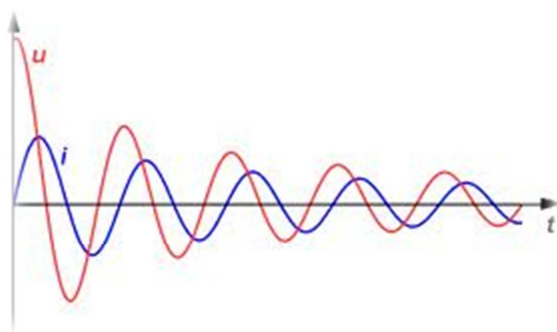
Na obr.4.3 je znázorněn průběh dějů v oscilačním obvodu.



Obr.4.3 Průběh dějů na oscilačním obvodu, převzato a upraveno [6]

Kondenzátor se vybití za jednu čtvrtinu kmitání obvodu LC. V tomto okamžiku dosahuje proud  $i$  největší hodnoty a veškerá energie je proměněna na energii magnetického pole cívky. V další čtvrtině periody prochází obvodem indukovaný proud v důsledku zmenšování proudu při vybití kondenzátoru, jak je znázorněno na obr.4.3b. Indukovaný proud opět nabije kondenzátor, ovšem s opačnou polaritou, obr.4.3c. Celý děj se opakuje ještě jednou v druhé polovině periody s obráceným směrem toku proudu. Tento průběh je zakreslen na obr.4.3 d, e.

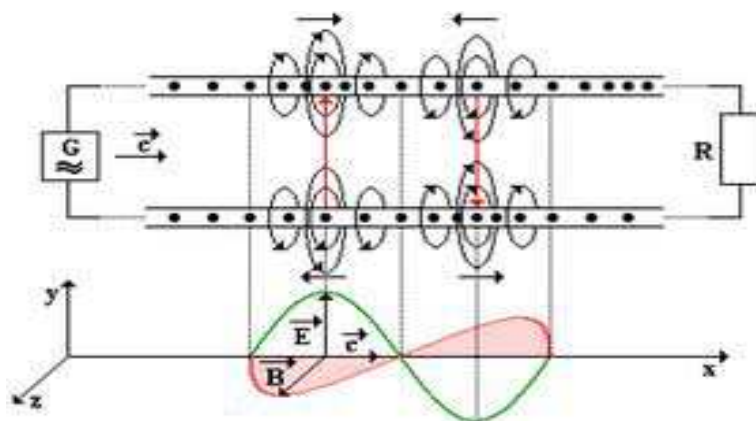
V praxi však výše popsaný případ nenastává. Zejména v důsledku odporu vinutí cívky se část energie oscilačního obvodu přeměňuje ve vnitřní energii vodiče obvodu (vodič se zahřívá) a po určité době oscilace ustává. Elektromagnetické kmitání oscilačního obvodu je tlumené [6].



Obr.4.4 Tlumené kmitání proudu a napětí, převzato a upraveno [6]

### 4.3 Elektromagnetický dipól

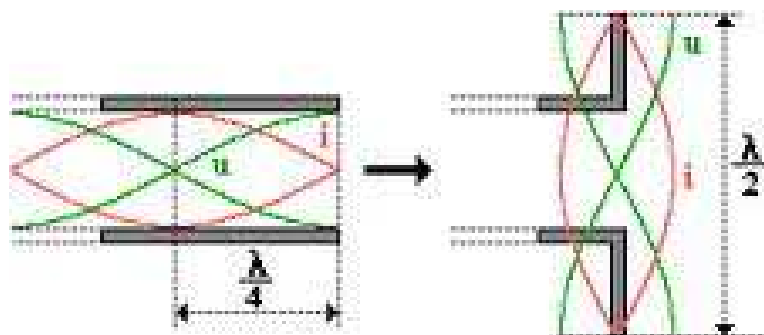
Elektromagnetické vlnění šířící se dvou vodičovým vedením je s tímto vedením spojeno a veškerá energie se nachází mezi těmito vodiči. Jak je patrné z obr.4.5. V radiotechnice je však důležité, aby elektromagnetické vlnění vyzařovalo více do okolního prostoru. Tuto funkci plní v praxi vysílací anténa. Z fyzikálního hlediska se anténa nazývá elektromagnetický dipól. Různé typy používaných antén si ukážeme později v šesté části diplomové práce.



Obr.4.5 Elektromagnetické vlnění mezi dvěma vodiči, převzato a upraveno [6]

Pokud ovšem rozevřeme konce těchto vodičů o délce  $\lambda/4$  kolmo ke směru vlnění, obr.4.6, v zalomených částech vedení se indukují proudy, které mají v každém čase souhlasný směr. Do okolního prostoru dipólu poté zasahuje magnetické pole těchto proudů. Na koncích vodičů dosahuje v dané periodě napětí maximální hodnoty a vzniká elektrické pole, které také vyzařuje do okolí elektromagnetického dipólu. Délka tohoto dipólu se rovná, jak je patrné z obr.4.6, polovině vlnové délky vyzařovaného elektromagnetického vlnění. Tento dipól se nazývá půlvlnný.

Jestliže se směr vektorů  $E$  a  $B$  v elektromagnetické vlně nemění, mluvíme o lineárně polarizované elektromagnetické vlně. Vlnění vyzařované dipólem je polarizované tak, že v rovině dipólu leží vektor  $E$  a v rovině kolmé k dipólu leží vektor  $B$ .



Obr.4.6 Vznik elektromagnetického dipólu, převzato a upraveno [6]

Anténa může být na straně vysílače nebo přijímače. Vysílací anténa vyzařuje do okolí elektromagnetické vlnění. Výše uvedený dipól vyzařuje energii ve směru kolmém k ose dipólu. Ve směru osy dipólu energii nevyzařuje. Naproti tomu anténa přijímače má opačnou funkci než anténa vysílače. Tato anténa je nastavena tak, že zachytí energii elektromagnetického vlnění a vznikne v ní elektromagnetické kmitání, které díky dalším pasivním prvkům v systému přijímače zesílí a umožní příjem vysílaného signálu například z určitého směru [6].

#### 4.4 Šíření elektromagnetického vlnění prostředím

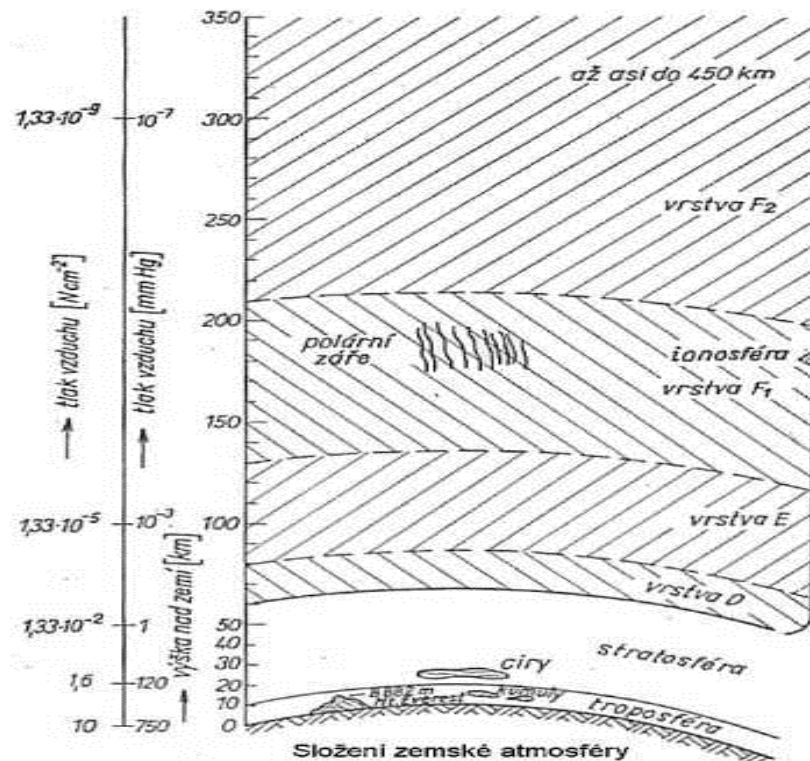
Číslo pásma	Mezinárodní zkratka	Frekvence	Vlnová délka	Český ekvivalent
3	ULF	300 Hz až 3 kHz	1000 km až 100 km	EDV, extrémně dlouhé vlny
4	VLF	3 kHz až 30 kHz	100 km až 10 km	VDV, velmi dlouhé vlny
5	LF	30 kHz až 300 kHz	10 km až 1 km	DV, dlouhé vlny
6	MF	300 kHz až 3 MHz	1 km až 100 m	SV, střední vlny
7	HF	3 MHz až 30 MHz	100 m až 10 m	KV, krátké vlny
8	VHF	30 MHz až 300 MHz	10 m až 1 m	VKV, velmi krátké vlny
9	UHF	300 MHz až 3 GHz	1 m až 10 cm	UKV, ultra krátké vlny
10	SHF	3 GHz až 30 GHz	10 cm až 1 cm	SKV, super krátké vlny
11	EHF	30 GHz až 300 GHz	1 cm až 1 mm	EKV, extrémně krátké vlny

Tab.4.1 Označení frekvenčních pásem pro rádiový přenos dle ČSN IEC 60050-713

Šíření elektromagnetického vlnění provází podobné jevy jako při mechanickém vlnění. Elektromagnetické vlnění se šíří od vysílače přímočaře a ve formě kulových vln.

To znamená, že energie vyzářená zdrojem v jednom okamžiku, je po určité době rozprostřena na kulové ploše s poloměrem vzdálenosti, kterou urazí světlo za tuto dobu. Plocha koule je úměrná druhé mocnině poloměru, takže plošná hustota energie ubývá s druhou mocninou vzdálenosti.

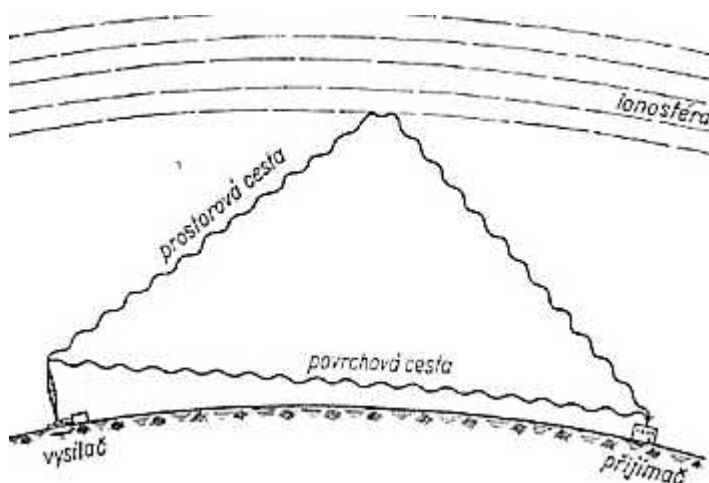
Šíření tohoto vlnění prostorem není ideální jako ve vakuu, ale je ovlivňováno řadou okolností. Nejvýznamnější vliv na toto šíření má atmosféra, která se skládá z vrstev: D, E, F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub>, které ovlivňují šíření zejména dlouhých, středních a krátkých vln ve výjimečných případech i TV signálů, obr.4.7. Ionosféra tvoří nejvyšší část atmosféry, kde se kvůli nízkému tlaku a ozáření slunečními paprsky uvolňují elektrony, které způsobují vodivost vrstvy a odrazy elektromagnetického vlnění zpět. Stupeň ionizace závisí nejvíce na sluneční aktivitě a roste s výškou vrstvy. Odrazivost od jednotlivých vrstev závisí na délce vlny – dlouhé vlnění se odráží od nižších vrstev a se zkracující se vlnovou délkou od vyšších. Velmi vysoké kmitočty se neodráží a pronikají do volného prostoru. Odražené elektromagnetické vlnění dopadá na zem s velkou intenzitou, že často přehluší i silné místní vysílače. Intenzita ionizace má podle sluneční aktivity pravidelné jedenáctileté a stodesetileté období, které trvají delší dobu a je při nich možno dosahovat příjmu velmi vzdálených stanic.



Obr.4.7 Výškové vrstvení atmosféry pro elektromagnetické vlnění, převzato a upraveno [14]

Vlnění se šíří z vysílací antény do prostoru dvěma cestami jak je zobrazeno na obr.4.8 a to:

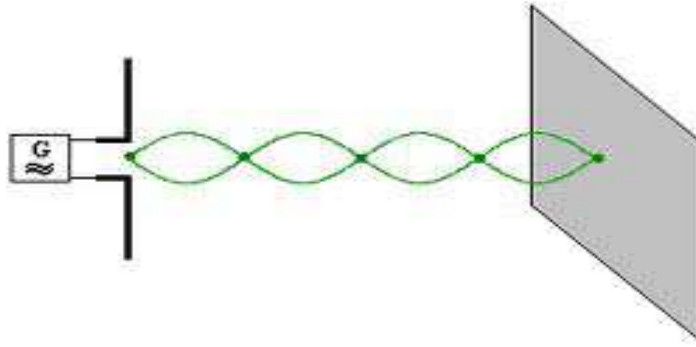
- Povrchovou cestou (kolem zemského povrchu). Šíří se v blízkosti zemského povrchu, který svým tvarem a vodivostí ovlivňuje šíření. Vlnění je tlumeno tím více, čím je vyšší jeho kmitočet. Dlouhé a střední vlny se ohýbají podél zemského povrchu. Krátké vlny se ohýbají hůře a VKV se šíří přímočaře jako světlo – pro kvalitní příjem je nutná přímá viditelnost. Vlna se skládá z vlny přímé a odražené. Odrazy jsou způsobeny vyvýšenými překážkami a ohybem kolem horských hřebenů.
- Prostorovou cestou se vlny šíří šikmo vzhůru do prostoru. Ve výšce 100-400 km narazí na vrstvy ionosféry, kde se odráží (záleží na stupni ionizace) zpět k zemi.



Obr.4.8 Šíření vlnění prostorem, převzato a upraveno [14]

#### 4.4.1 Odraz elektromagnetického vlnění

Pokud elektromagnetické vlnění vyzářené anténou do okolí dopadne na vodivou překážku kolmo, odrazí se od ní zpět k vysílači. Toto odražené vlnění interferuje s postupujícím vlněním a v prostoru mezi anténou a překážkou vzniká stojaté vlnění, jak je znázorněno na obr.4.9.



Obr.4.9 Vznik stojatého elektromagnetického vlnění, převzato a upraveno [6]

Jestliže na stejnou vodivou překážku dopadá elektromagnetické vlnění pod určitým úhlem, dochází k jeho odrazení podle zákona odrazu. Čím je vlnová délka elektromagnetického vlnění kratší, tím výrazněji se vlna odráží.

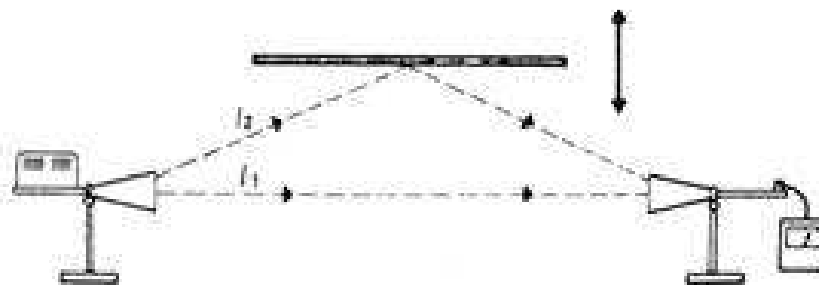
V případě, kdy k dipólu přijímače dorazí elektromagnetická vlna přímo a současně po odrazu od vodivé překážky, jak je vidět na obr.4.10, nastane jev, kdy přímá i odražená vlna spolu interferují a amplituda výsledného vlnění je závislá na dráhovém rozdílu obou vlnění. Pokud platí, že

$$\Delta l = \frac{2k\lambda}{2} \quad (k = 0,1,2, \dots) \quad (4.7)$$

Vlnění se stejnou fází se setkávají a amplituda výsledného vlnění se zvětší. Pokud však platí, že

$$\Delta l = (2k + 1)\lambda/2 \quad (4.8)$$

Vlnění se setkávají s opačnou fází a výsledné vlnění má menší amplitudu.



Obr.4.10 Interference elektromagnetického vlnění, převzato a upraveno [6]



## 4.5 Šíření VKV

Jelikož tato diplomová práce je zaměřena hlavně na kmitočty 160 MHz, budeme se zabývat VKV pásmem. Vlnová délka má podstatný vliv na závislost elektromagnetických vln na prostředí, i když fyzikální zákony nemění svou platnost. Vliv vlnové délky se projevuje především na zvláštnostech šíření. I v samotném rozsahu VKV se setkáváme s velkými rozdíly, od metrových do milimetrových vln.

### 4.5.1 Vlastnosti přenosu VKV

Každý, kdo se někdy prakticky seznámil s vlastnostmi velmi krátkých vln, jistě se již přesvědčil o tom, že jakost spojení dvou určitých VKV stanic není vždy stálá, i když se vlastní zařízení nemění. K přenosu vysokofrekvenčních kmitů vyrobených vysílačem z jeho výstupních svorek na svorky přijímače je nutno překonat celkem složitou cestu. Této cestě se říká přenosová cesta a přenášeným kmitům se říká signál. Celá přenosová cesta, tj. všechno mezi svorkami vysílače a svorkami přijímače, určitým způsobem ovlivňuje přenos signálů, a proto nás zajímají přenosové vlastnosti. Nejdůležitější údaj o přenosových vlastnostech vyjadřuje, jak velkou část z výkonu vysílače dopravíme na svorky přijímače. Nebo také, jak velký je útlum signálu na přenosové cestě.

Hodnota útlumu v decibelech se vyjadřuje logaritmem poměru hodnoty výkonu na začátku a na konci spoje:

$$b = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (4.9)$$

V případě napětí na začátku a konci spoje:

$$b = 20 \log \frac{U_1}{U_2} \quad (4.10)$$

V přijímači je slyšet mimo přenášený signál ještě šum, hluk pozadí a rušení a při posuzování přenosových vlastností nás zajímá odstup signálu od šumu, hluku pozadí nebo rušení, který se rovněž vyjadřuje v decibelech. Třetím údajem o přenosových vlastnostech je šířka pásma propustnosti, pro kterou platí udávané hodnoty útlumu a odstupu od šumu a hluku pozadí.

Uvedené přenosové vlastnosti ovlivňuje řada činitelů. Některé vlivy se nemění, jsou závislé na uspořádání a stavu zařízení a můžeme je početně stanovit nebo změřit a některé se mění a jejich působení můžeme prakticky jen předpovídat.

Přenosová cesta se skládá ze tří částí:

1. Přívodní vedení k anténám má za prvé vlastní útlum vedení, zpravidla koaxiálního kabelu, za druhé útlum způsobený nepřesným přizpůsobením vedení k anténě a za třetí útlum v přepínacím zařízení, pokud se používá.
2. Vlastní antény mají zpravidla zisk (negativní útlum).
3. Vlastní cesta, kterou se šíří elektromagnetické vlny od antény vysílače k anténě přijímače. Ta má vlastní útlum daný vzdáleností, výškou antén a terénem. [7]

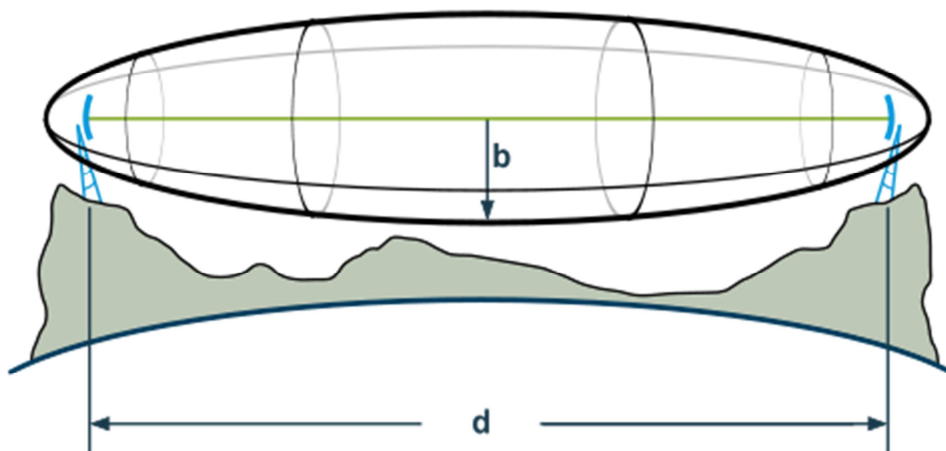
#### 4.5.2 Fresnelova zóna

Zjištěním útlumu šíření zdaleka nekončí ověření podmínek šíření pro VKV. Jednou z nejdůležitějších podmínek pro šíření kvalitního signálu mezi přijímací a vysílací anténou je přímá viditelnost. Není to však postačující podmínka, jak by se na první pohled mohlo zdát. Pro kvalitní přenos musí být bez překážek ještě tzv. Fresnelova zóna. Fresnelova zóna je určitý prostor ve tvaru elipsoidu, který se nachází kolem spojnice mezi přijímačem a vysílačem. V tomto prostoru by se neměla vyskytovat žádná překážka, jako jsou stromy, budovy apod.

Poloměr Fresnelovy zóny v jakémkoliv místě  $b$  se dá vypočítat z jednoduchého vzorce:

$$b = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (4.11)$$

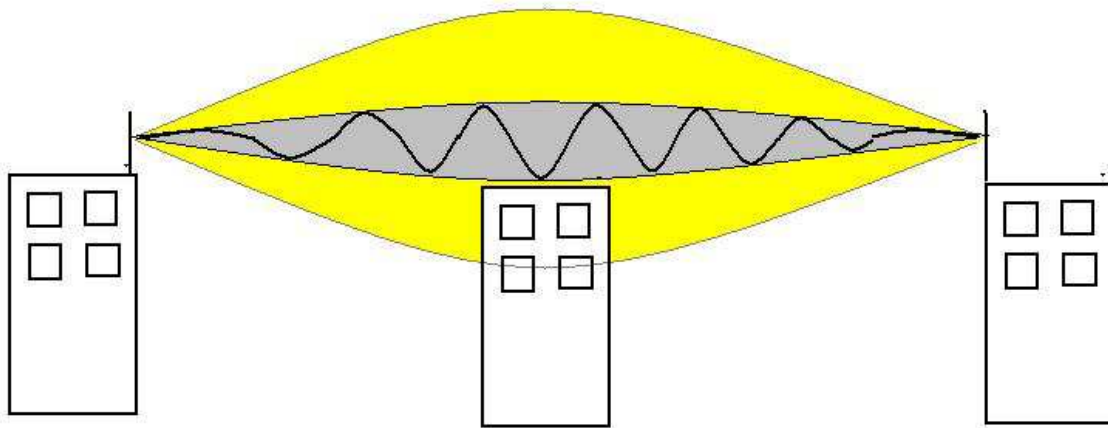
kde  $d_1$  a  $d_2$  je vzdálenost od jedné respektive druhé antény a  $\lambda$  je vlnová délka.



Obr.4.11 Fresnelova zóna mezi anténami, převzato a upraveno [8]

Protože je to elipsoid, je počáteční nárůst průměru poměrně strmý. Např. trasa 1 km dlouhá při frekvenci 160 MHz má maximální poloměr Fresnelovy zóny ve vzdálenosti 500 m, 22 m. Avšak již po prvních 100 metrech je poloměr zóny 13 m. Pokud tedy instalujeme anténu na střechu domu na 1,5 m vysoký stožár a ve vzdálenosti 100 m je stejně vysoký dům, zasahuje už jeho střecha do Fresnelovy zóny. Pro výpočet těchto zón existuje řada počítačových programů jako např. [9]

V 1. Fresnelově zóně se přenáší 90 % energie. Každá překážka v této oblasti zvyšuje útlum přenosu jak je patrné z obr.4.12.



Obr.4.12 Fresnelova zóna narušena budovou, převzato a upraveno [10]

Kromě toho dochází k rušivým odrazům, snižuje se kvalita přenosu dat. Spoj má horší přenosové vlastnosti a je potřeba použít kvalitnější antény a koaxiální kabely. Přesto, že útlum narušením Fresnelovy zóny nemusí být podstatný, měl by se navrhovat spoj tak, aby byla Fresnelova zóna alespoň z 60 % volná.

#### 4.5.3 Odraz vln ve Fresnelově zóně

Nejenom překážky, ale i místa odrazu, například povrch země, mají velký vliv na šíření VKV. Pokud si představíme vysílač, který označíme jak V a přijímač, který označíme jako P, pracující na stejné vlnové délce, vznikne mezi nimi elipsoid. Ten určuje první Fresnelovu zónu. Dotýká-li se elipsoid povrchu zemského a nastává-li v tomto místě odraz, označme ho jako O, přichází do přijímače jak vlny přímé, tak odražené. Odražená vlna má vždy opačnou fázi než vlna před odrazem. Pokud je vzdálenost V - O - P o  $\frac{\lambda}{2}$  delší, než vzdálenost V - P, má vlna odražená od místa O v bodě P stejnou fázi

jako přímá vlna a přičítá se k ní. V bodě P je v tomto případě silnější pole, než by bylo za jinak stejných podmínek ve volném prostoru.

Jiná situace by byla, kdyby odraz nastal v místě, které se dotýká elipsoidu, jenž ohraničuje druhou Fresnelovu zónu. Vzdálenost V – O – P je o  $2 \cdot \frac{\lambda}{2} = \lambda$  větší než přímá a odražená vlna se bude odčítat od přímé. Z toho plyne současně, že všechny odrazy v místech, případně těsné blízkosti lichých elipsoidů, se sčítají s přímou vlnou a odraz v místech sudých elipsoidů se odčítá od přímé vlny.

O tomto poznatku se mohli dříve narození přesvědčit při sledování televizního vysílání ještě před zavedením pozemního digitálního televizního vysílání. V té době, když nad naší střechou přelétalo letadlo, které ani nemuselo být příliš nízko, docházelo ke kolísání kontrastu obrazu. Bylo to způsobeno tím, že letadlo postupně protínalo lichou a sudou Fresnelovu zónu. Na tomto jevu jsme si názorně ukázali, jak nepatrná překážka markantně ovlivňuje podmínky spojení na VKV.

Při plánování rádiového spojení tyto odrazy velmi často způsobují nepříjemné nesnáze. Zejména při spojení na poměrně malé vzdálenosti za jinak příznivých podmínek se mohou zdát některé úkazy nepochopitelné, pokud neznáme tyto jejich příčiny. [7]

## 5 SPRÁVA RÁDIOVÉHO SPEKTRA [11]

Rádiové spektrum patří mezi nehmotná bohatství každého státu, tedy i České republiky. Rádiovým spektrem se podle zákona č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích rozumějí elektromagnetické vlny o kmitočtu od 9 kHz do 3 000 GHz, šířené prostorem bez zvláštního vedení.

Využívání rádiového spektra se na mezinárodní úrovni řídí Radiokomunikačním řádem Mezinárodní telekomunikační unie ITU. Radiokomunikační řád ITU je v České republice aplikován Plánem přidělení kmitočtových pásem – národní kmitočtová tabulka, který určuje přidělení kmitočtových pásem jednotlivým radiokomunikačním službám. Tento plán přiděluje v České republice Český telekomunikační úřad.

Na plán přidělení navazuje plán využití rádiového spektra, ve kterém ČTÚ stanoví technické parametry a podmínky využití radiokomunikačními službami. Při kmitočtovém plánování vychází ČTÚ z právních předpisů Evropské komise a z rozhodnutí a doporučení Konference evropských správ pošt a telekomunikací (CEPT).

Pro využívání rádiových kmitočtů a provozování jakýchkoliv rádiových vysílacích zařízení vyplývají ze zákona pro provozovatele a účastníky bezdrátových sítí tyto základní povinnosti:

1. Využívat kmitočty lze jen na základě individuálního nebo všeobecného oprávnění (§ 9 a násl., § 17 a násl. zákona).
2. Zařízení musí splňovat stanovené požadavky (§ 73 a násl. zákona).
3. Pro obsluhu zařízení v leteckém a lodním provozu, zařízení v pásmu krátkých vln a zařízení pro amatérskou radiokomunikační službu je navíc zapotřebí průkaz odborné způsobilosti.

## 5.1 Český telekomunikační úřad

Český telekomunikační úřad byl zřízen zákonem č.127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o elektronických komunikacích) ke dni 1. května 2005 jako ústřední správní úřad pro výkon státní správy ve věcech stanovených zákonem, včetně regulace trhu a stanovování podmínek pro podnikání v oblasti elektronických komunikací a poštovních služeb.

Působnost Českého telekomunikačního úřadu je dána zejména:

- Zákonem č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o elektronických komunikacích), ve znění pozdějších předpisů.
- Zákonem č. 29/2000 Sb., o poštovních službách a o změně některých zákonů (zákon o poštovních službách), ve znění pozdějších předpisů.
- Zákonem č.206/2005 Sb., o ochraně některých služeb v oblasti rozhlasového a televizního vysílání a služeb informační společnosti, ve znění zákona č. 281/2009 Sb.
- Zákonem č. 69/2006 Sb., o provádění mezinárodních sankcí, ve znění pozdějších předpisů.
- Zákonem č. 634/1992 Sb., o ochraně spotřebitele, ve znění pozdějších předpisů.

Další zákony, předpisy a nařízení jsou k nalezení na [11].

## 5.2 Statut Českého telekomunikačního úřadu

Jak již bylo výše uvedeno Český telekomunikační úřad je ústřední správní úřad pro výkon státní správy, včetně regulace v oblasti elektronických komunikací a poštovních služeb.

Úřad je zřízen zákonem č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů. ČTÚ je ústředním správním úřadem se samostatnou kapitolou státního rozpočtu se sídlem v Praze. Při výkonu své působnosti se ČTÚ řídí právními předpisy, obecně závaznými právními akty orgánů Evropského společen-

ství, mezinárodními smlouvami, kterými je Česká republika vázána a které byly vyhlášeny ve Sbírce zákonů nebo ve Sbírce mezinárodních smluv, tímto statutem, usnesením vlády a opatřeními obecné povahy, která v mezích zákona sám vydává. Při výkonu své působnosti rovněž vychází z příslušných rozhodnutí, doporučení, pokynů a stanovisek vydaných orgány Evropských společenství.

Úřad vykonává státní správu v oblasti elektronických komunikací a poštovních služeb, včetně regulace trhu a stanovování podmínek pro podnikání za účelem nahrazení chybějících účinků hospodářské soutěže a pro ochranu uživatelů a dalších účastníků trhu do doby dosažení plně konkurenčního prostředí. Úřad rovněž zajišťuje ochranu některých služeb v oblasti rozhlasového a televizního vysílání a služeb informační společnosti.

Při výkonu své rozhodovací činnosti ČTÚ prosazuje technický a ekonomický pokrok a dbá o zajištění technické spolupráce mezi podnikateli zajišťujícími sítě elektronických komunikací a podnikateli poskytujícími služby elektronických komunikací za účelem zachování bezpečnosti a integrity sítí a služeb elektronických komunikací a kvality poskytovaných služeb elektronických komunikací.

### **5.3 Plán využití rádiového spektra**

Části plánu využití rádiového spektra vydává Český telekomunikační úřad jako příslušný orgán státní správy podle § 108 odst. 1 písm. b) zákona č. 127/2005 Sb. Plán je tvořen společnou částí plánu využití rádiového spektra pro kmitočtová pásma vymezená dolním a horním mezním kmitočtem.

ČTÚ v plánu využití rádiového spektra stanoví technické parametry a podmínky využití rádiového spektra radiokomunikačními službami. Plán navazuje na plán přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka) a je tvořen společnou částí plánu využití rádiového spektra a částmi plánu využití rádiového spektra pro kmitočtová pásma vymezená dolním a horním mezním kmitočtem.

Společná část plánu využití rádiového spektra byla uveřejněna v Telekomunikačním věstníku 14/2005. Části plánu využití rádiového spektra pro kmitočtová pásma vy-

mezená dolním a horním mezním kmitočtem vycházejí průběžně v Telekomunikačním věstníku.

Jak jsem již dříve psal, vlastní měření a plánování rádiové sítě budu provádět na frekvenci 160 MHz. Tato frekvence je v plánu využití rádiového spektra č. PV-P/03.2012-3 pro kmitočtové pásmo 146-174 MHz. Jako každé kmitočtové pásmo je pásmo 146-174 MHz využíváno jak pro civilní službu (označení *c*) tak pro necivilní službu (označení *nc*). U necivilních složek se jedná většinou o složky obrany státu.

Přidělené služby v tabulce rozdělení kmitočtového pásma mohou být pevná, pohyblivá, námořní pohyblivá, radioastronomická nebo družicová pohyblivá. Síť se pak dá využít např. v komunikaci plavidel, radioastronomii, pro komunikaci s meteorologickými sondami, v součinnosti organizací zdravotnické záchranné služby, simplexní režim stanic pro přenos dat u AČR, PČR a HZS ČR.

V civilním využití je kmitočtové pásmo 146-174 MHz využitelné především pro pohyblivou službu. Hlavně pro námořní pohyblivou službu a komunikaci na vnitrozemských vodních cestách. Další využití je civilní družicová pohyblivá služba, radioastronomická služba a pomocná meteorologická služba.

#### **5.4 Plánování sítí podle ČTÚ**

Při plánování sítí vychází Český telekomunikační úřad z následujících parametrů:

- minimální užitečná intenzita elektromagnetického pole 20 dB $\mu$ V/m;
- přípustná rušivá intenzita elektromagnetického pole 12 dB $\mu$ V/m;
- plánovací maximální efektivní výška antény je 35 m;
- plánovací efektivní výška antény základnové stanice je 10 m nad terénem;
- plánovací výška antény pohyblivé stanice a terminálu dálkového ovládání a signalizace nad terénem je 3m;
- jmenovitá opakovací vzdálenost kmitočtové sítě je 90 km;
- maximální provozní dosah je 20 km;
- není-li uvedeno jinak, maximální e.r.p. je 10 W;



- zabraná šířka pásma je maximálně 11 kHz, resp. 16 kHz, pro kanálovou rozteč 12,5 kHz, resp. 25 kHz;
- při retranslaci přísluší vyšší kmitočet vysílači retranslační stanice;
- při retranslaci je držitel individuálního oprávnění povinen vhodnými technickými prostředky zamezit vzniku škodlivé interference, ke které by mohlo dojít vlivem mimořádných okolností při šíření elektromagnetických vln;
- pro vnitrostátní koordinaci se přiměřeně aplikují ustanovení Dohody HCM;
- v sítích určených pro dálkové ovládání a signalizaci se za terminál dálkového ovládání a signalizace považují taková koncová nepohyblivá vysílací rádiová zařízení, která vysílají s klíčovacím poměrem menším než 1 % a zároveň doba trvání jejich jednoho vysílání nepřesáhne 1 s a jejichž maximální e.r.p. nepřesahuje 10 W.

Koordinaci civilního a necivilního pásma provádí ČTÚ.

## 6 TYPY POUŽÍVANÝCH ANTÉN

Anténa je jednou z nejdůležitějších součástí radiokomunikačního řetězce. Základními parametry antény jsou její typ, zisk, vysílací charakteristika, polarizace, impedanční přizpůsobení (PSV) a fyzické rozměry. Hlavním úkolem antény je na straně vysílače vyzářit vlnu vedenou na vedení nebo kabelu do okolního prostoru. Naopak na straně přijímače anténa šířící se vlnu prostorem opět převede na vedenou vlnu. Oba způsoby přeměny jsou reciproké, a proto při posuzování vlastností antény nezáleží, jedná-li se o anténu na straně vysílače nebo přijímače.

### 6.1 Základní rozdělení antén

Základní dělení antén:

1. Podle způsobu použití:

- vysílací antény;
- přijímací antény;
- kombinované vysílací/přijímací antény.

2. Podle použití pro vlnovou délku:

- antény pro DV a SV;
- antény pro KV;
- antény pro VKV a terestriální televizi;
- antény pro telekomunikaci, satelitní televizi.

3. Podle účinné šířky frekvenčního pásma:

- úzkopásmové antény;
- širokopásmové antény.

4. Podle směrovosti:

- všesměrové;
- směrové;

- vícesměrové (radioreléové spoje).

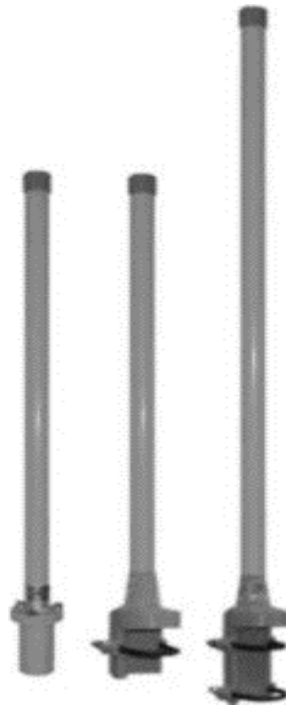
#### 5. Podle konstrukce:

- prutové, drátové a tyčové;
- dipóly – čtvrtvlnné, půlvlnné;
- antény typu Yagi;
- antény typu Backfire;
- feritové antény;
- parabolické antény.

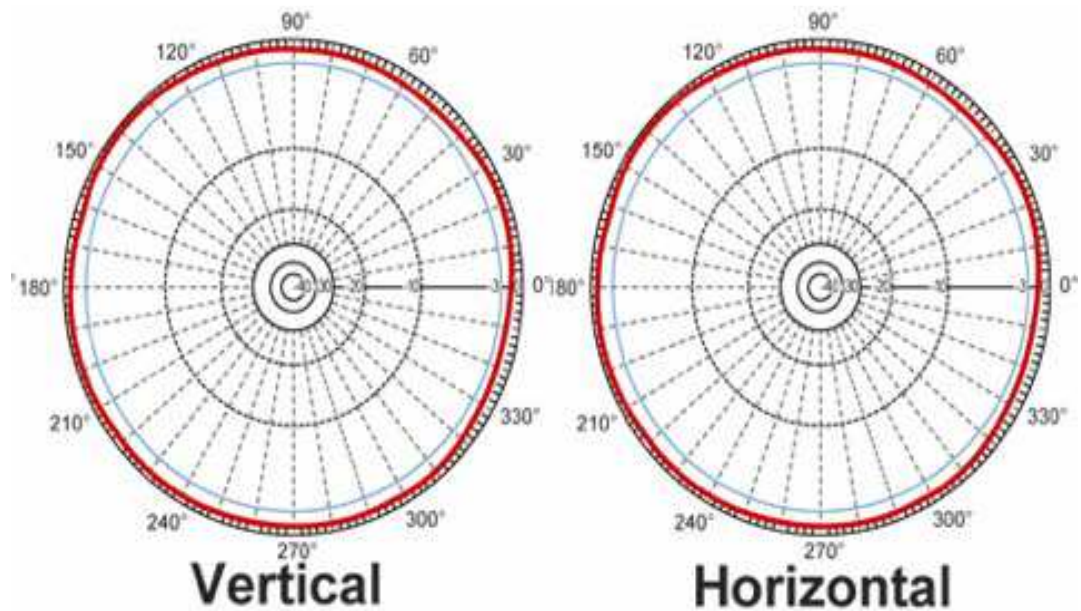
V praxi však při konstrukci antén dochází většinou ke kombinaci výše uvedených parametrů. Tím se dosahuje lepších vlastností antén jako je hlavně zisk a směrovost. [14]

### 6.2 Všesměrová anténa

Všesměrová izotropická anténa je považována za idealizovanou anténu, která vyzařuje elektromagnetické vlnění do všech směrů o stejné amplitudě, fázi i polarizaci. Naproti tomu reálná všesměrová anténa také vyzařuje rádiové vlnění do všech směrů, ale s rozdílnou intenzitou. Anténa usměrňuje signál *do* nebo *z* určitého směru. Čím více signál anténa usměrní, tím větší má zisk. Jako zisk se udává největší zesílení signálu v daném směru oproti izotropické anténě. Jednotkou zisku jsou decibely (dBi). Na obr. 6.1 jsou zobrazeny všesměrové antény ZAE-31 použitelné pro frekvenci od 150 MHz do 174 MHz se šířkou pásma 8 MHz a na obr.6.2 je znázorněna vyzařovací charakteristika této antény.



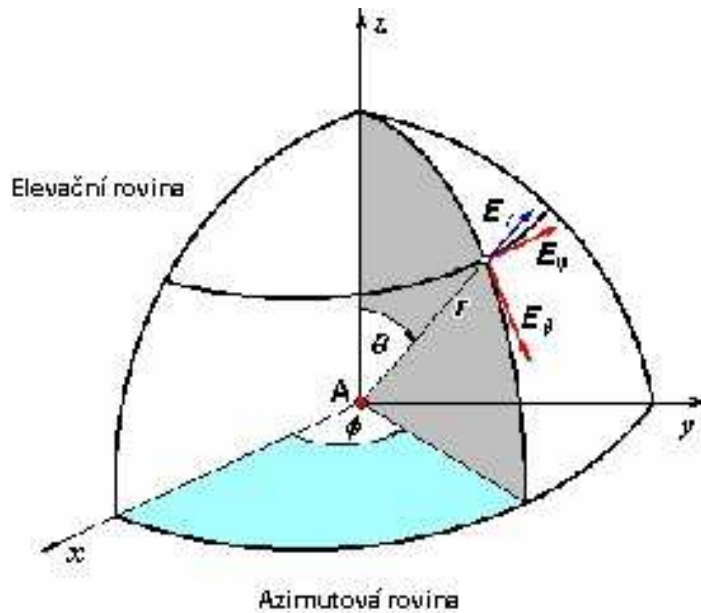
Obr.6.1 Všesměrové antény ZAE-31, převzato a upraveno [12]



Obr.6.2 Vyzařovací charakteristika všesměrové antény, převzato a upraveno [13]

### 6.3 Směrová anténa

Směrové antény se používají pro spojení bod – bod. Mají větší zisk a jeden hlavní úzký lalok. Velmi důležitým parametrem antén je směrová charakteristika. Směrová charakteristika je grafickým vyjádřením směrové funkce antény  $F(\theta, \varphi)$ , která charakterizuje její vyzařování. Pro zobrazení se používá sférická souřadnicová soustava, která je znázorněna na obr.6.3.



Obr.6.3 Sférická souřadná soustava, převzato a upraveno [14]

Směrová funkce antény je definovaná jako:

$$F(\theta, \varphi) = r^2 |\vec{E}(\theta, \varphi) \times \vec{H}(\theta, \varphi)| = r^2 S(\theta, \varphi) \quad (6.1)$$

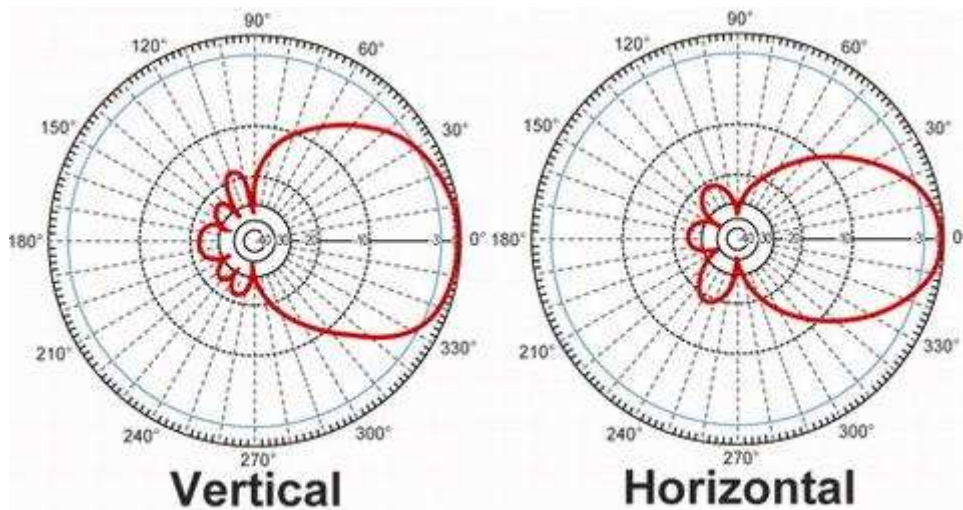
kde  $E$ ,  $H$  jsou anténou vyzářené složky elektrického a magnetického pole v zóně vyzařování a  $S$  je velikost Poyntingova pole.

Protože veličiny  $E$  a  $H$  elektromagnetického pole jsou závislé na hodnotě  $1/r$ , koeficient  $r^2$  v rovnici (6.1) tuto závislost eliminuje. Směrová charakteristika je útvar prostorový. Grafické znázornění vyzařovací charakteristiky směrové antény typu YAGI pro vysílací pásmo 150 MHz až 168 MHz, obr.6.4, je znázorněno na obr.6.5.



Obr.6.4 Směrová antény typu YAGI

Mezi hlavní parametry, které určují elektrické vlastnosti směrových antén, patří vyzařovací a vstupní impedance, směrovost, zisk, účinnost, efektivní délka a šířka pásma.



Obr.6.5 Směrová charakteristika antény YAGI ve V a H pohledu,

převzato a upraveno [15]

## 7 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

V této kapitole si představíme několik základních měřicích přístrojů a zařízení, které budou použity v praktické části diplomové práce. Tyto přístroje využíváme jako náhradu za starší typy zařízení, které již svou funkčností nestačily plně pokrýt současné nároky.

### 7.1 Digitální multimetr METRAHIT X-TRA

Univerzální digitální multimetr Gossen Metrawatt METRAHIT s  $4\frac{1}{2}$  místním displejem je zobrazen na obr. 7.1. Systém je plně kompatibilní s IR a paměťovým rozhraním. Pracuje s rozlišením 12 000 bodů a má 23 funkcí. Multimetr využíváme pro kontrolní měření přívodního napájení k zařízení, pro měření napětí zdroje u přenosového zařízení a další níže uvedené elektronické parametry.



Obr.7.1 Digitální multimetr METRAHIT X-TRA

Technické parametry:

- měření DC, AC napětí: 10  $\mu$ V až 1000 V ( $\pm 0,05\%$  + 3d,  $\pm 0,05\%$  + 9d);
- měření DC, AC proudu: 10 nA až 10 A ( $\pm 0,05\%$  + 5d,  $\pm 1,5\%$  + 30d);
- TRMS AC, AC+DC;
- měření odporu 0,01  $\Omega$  až 40 M $\Omega$  ( $\pm 0,2\%$  + 5d);
- měření teploty: -270°C až +850°C;
- měření frekvence: 0,001 Hz až 1 MHz;
- zkouška diod: 5,1 V;
- zkouška propojení: Ano;
- šířka pásma: 20 kHz;
- kategorie měření: CAT III 1000 V;
- rozměry (Š x V x H) je 87 x 200 x 45 mm.

## 7.2 Transceiver ALINCO DJ-596 MK2

Dvoupásmová radiostanice na obr.7.2 je určena pro radioamatérský provoz v pásmech 2 m a 70 cm s výkonem 5 W, 100+2 paměti, každá s 15-ti ukládanými parametry, alfanumerika, přímá volba kmitočtu. Dvě šířky pásma a přepínatelný zdvih pro kanál 12,5 kHz i 25 kHz. Možnost digitální modulační s otevřeným kódem a možnost digitálního utajení řeči.

Technické parametry:

- kmitočtový rozsah (po úpravě) Rx 136 – 173,995 / 400 – 512 MHz a Tx 136 – 173,995 / 410 – 460 MHz;
- kroky ladění: 5,10,12.5,15,20,25 a 30 kHz;
- impedance anténního výstupu je 50 $\Omega$ , asymetrický, BNC;
- modulace: F3 (úzkopásmová FM);
- napájecí napětí externí: 6 - 13,8 V<sub>ss</sub> ;
- napájecí napětí z aku: 6 -13,8 V<sub>ss</sub>;
- rozměry (Š x V x H): 56 x 124 x 40 mm;
- výstupní výkon: Hi= 5 W při 13,8 V<sub>ss</sub>, Lo=0,8 W.





Obr.7.2 Radiostanice ALINCO DJ-596 MK2

### **7.3 Tester akumulátorů ACT GOLD IBT PLUS**

Jedná se o inteligentní tester 6V a 12V olověných akumulátorů s kapacitou 1,2 – 100Ah, který dokáže během dvaceti vteřin změřit kapacitu akumulátoru. Tuto kapacitu baterie poté zobrazí na podsvíceném LCD displeji. Během měření se zobrazuje napětí a teplota baterie. Tento tester je vyobrazen na obr.7.3.

Tester ACT GOLD IBT PLUS je napájen testovanou baterií a je chráněn proti prepólování. Ochrana je indikována pomocí LED diod. Na zadní straně testeru je znázorněna tabulka s hodnotami, při kterých je nutné baterii vyměnit.

Tester baterií nalezne využití v požárních a zabezpečovacích systémech EPS, EZS. Pro měření záložních zdrojů UPS, v telekomunikacích aj.



Obr.7.3 Tester akumulátorů ACT GOLD IBT PLUS

## 7.4 Měřič SWR SX – 400N DIAMOND

SWR metr SX – 400N DIAMOND, na obr.7.4, slouží pro měření stojatých vln SWR (Standing Wave Ratio) ve frekvenčním pásmu 140 – 525 MHz s výkonem do 200 W.



Obr.7.4 Měřič SWR SX – 400N DIAMOND

Technické parametry:

- frekvenční rozsah: 140 – 525 MHz;
- impedance: 50Ω;
- maximální výkon: 200 W;
- rozsahy měření výkonu: 5/20/200 W;
- tolerance měření: 5 – 15 %;
- konektor: N;
- rozměry: (Š x V x H), 155 x 63 x 103 mm.

## 7.5 Anténní analyzátor RIGEXPERT AA – 520

Anténní analyzátor RIGEXPERT AA - 520 je měřicí přístroj pro kontrolu, testování, ladění a opravu antén a anténních svodů v rozsahu 100 kHz až 200 MHz. Možnost grafického zobrazení PSV a impedance, měření SWR, srovnání parametrů měření před a po specifické meteorologické události jako je déšť, mráz, vítr atd. Dále je RIGEXPERT AA - 520 schopen lokalizovat poruchu kabelového vedení.

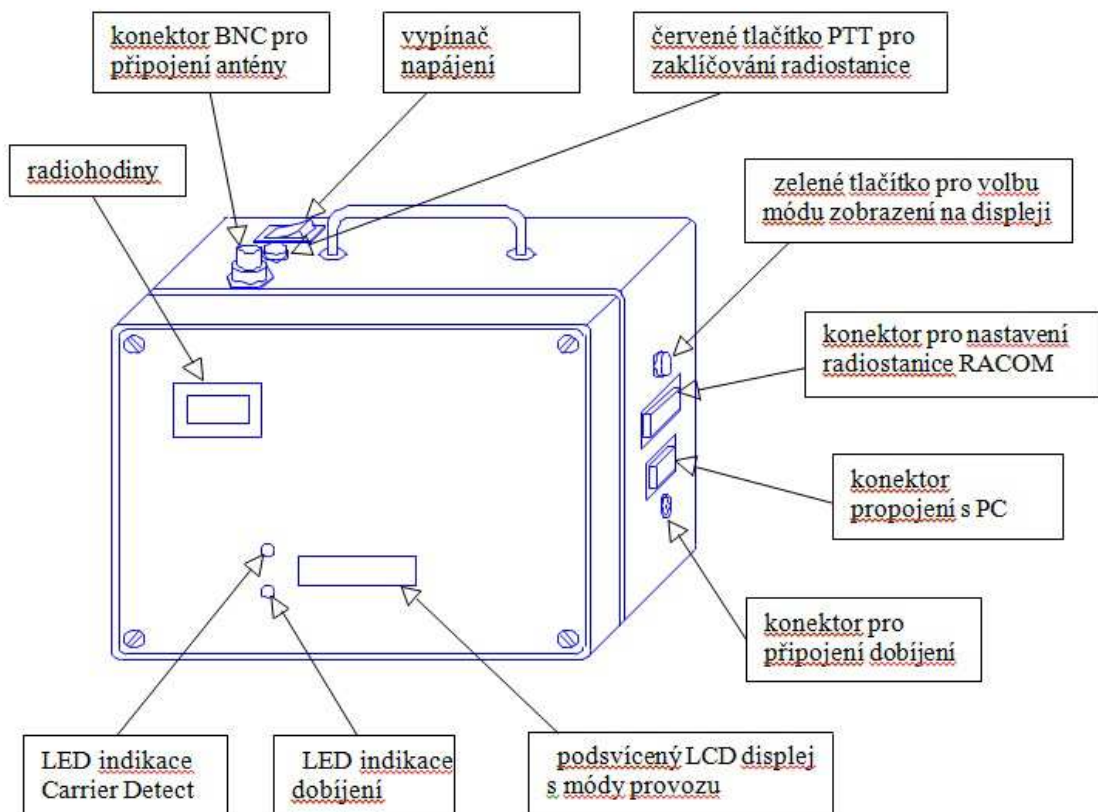


Obr.7.5 Anténní analyzátor RIGEXPERT AA – 520

Technické parametry:

- kmitočtový rozsah 1 až 520 MHz;
- frekvenční rozlišení: 1 kHz;
- referenční impedance: 50  $\Omega$ ;
- 16 bit A/D převodník;
- zobrazení stavu baterie na displeji;
- rozsah SWR: 1 – 10;
- zobrazení SWR: 50 $\Omega$ ;
- 100 pamětí pro uložení a opětovné vyvolání grafů;
- rozměry (V x Š x H) 230 x 100 x 55 mm.

## 7.6 Monitorovací modem M5000 lux



Obr.7.6 Monitorovací modem M5000 lux, převzato a upraveno [16]

Měřicí a monitorovací modem M5000 lux slouží ke sledování vysílacích relací v rádiové síti. Modem M5000 lux je opatřen radiostanicí s vhodným frekvenčním pásmem a také záložní baterií o velikosti 7 Ah a napětí 12 V. Baterie umožňuje použití modemu pro měření síly rádiového signálu ve volném terénu, bez nutnosti přívodu elektrické energie.

Modem M5000 lux zaznamenává jednotlivé vysílací relace a to včetně času přijetí, čísla rádiové sítě, zdroje a cíle vysílání, síly signálu ve zvolených jednotkách, povely v relaci a také data. Pomocí monitorovacího modemu je také možné zjistit, zda lze přijímací nebo vysílací objekt napojit na anténu, na které provádíme monitorování. Pokud neměříme signál v terénu, ale přímo na místě budoucího vysílače, je vhodné monitorování sítě provést na takové anténě, kterou na daném vysílači chceme použít a to i třeba provizorně nainstalované. U vnitřních antén, jako je např. závěsná anténa nebo prutová anténa s výložníkem, však musíme dávat pozor na okolní vlivy. Signál se totiž markantně mění např. podle toho, kam anténu v místnosti umístíme. Rušivým vlivem je i to kam se v místnosti postavíme.

## 8 Návrh a výpočet pokrytí rádiovým signálem

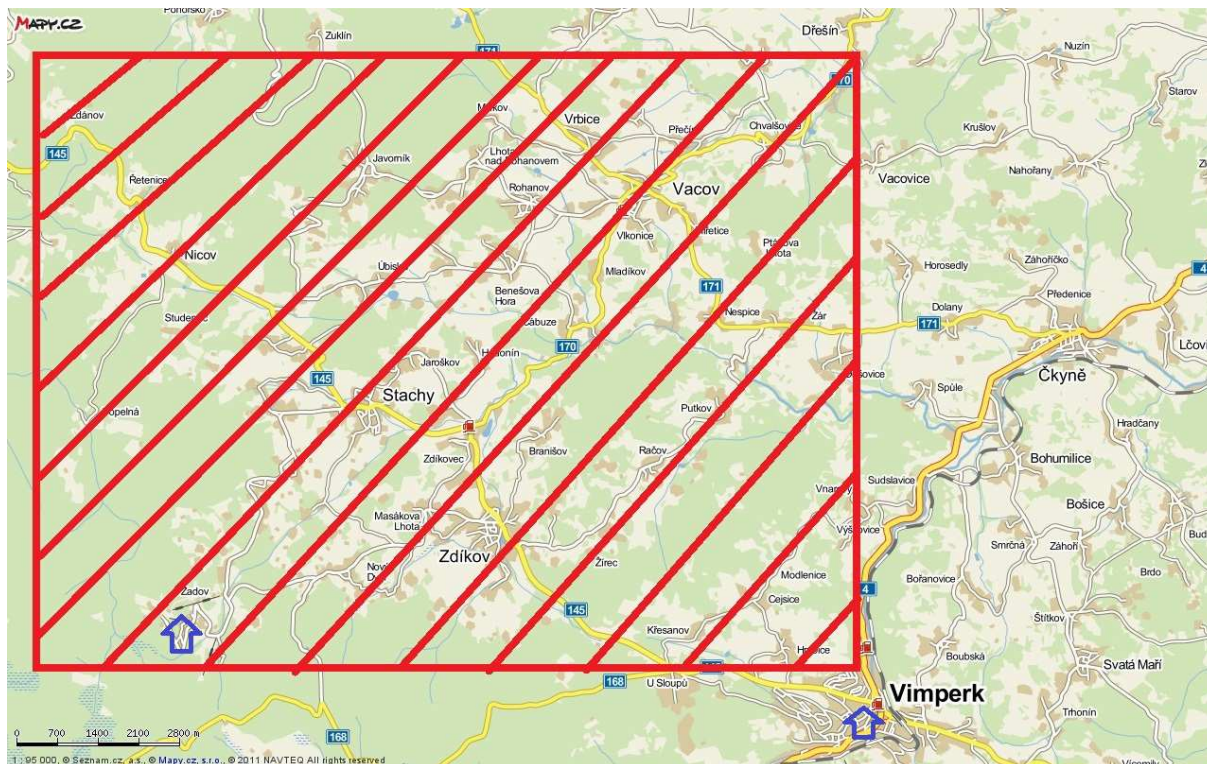
Nové pokrytí rádiovým signálem je většinou vyžádáno v souvislosti s nově budovanou rádiovou sítí, případně s nedostatečným nebo žádným signálem v dané územní lokalitě. Zvyšováním požadavků na pokrytí ze strany uživatelských radiostanic, musíme vytvořit strategický plán pro nalezení vhodné lokality na vybudování retranslačního vysílače, který by uvažovanou lokalitu vykryl rádiovým signálem. Cesta od prvotního zadání k samotné výstavbě retranslačního bodu je dlouhá a fyzicky i časově náročná. V následujících podkapitolách se pokusím popsat samotný proces vyhledávání vhodné lokality pro retranslační bod. Dále budu prezentovat návrh rádiového spojení na trase bod-bod v programu Radio Mobile, potvrzené reálným měřením v terénu s měřicím přístrojem M5000 lux. Na závěr popíši montáž a kontrolní měření antény a anténního svodu na nově vybudovaném retranslačním vysílači.

### 8.1 Vyznačení místa bez signálu v mapě

Dříve, než dojde k samotnému vyhledávání vhodného místa pro montáž vysílacího zařízení, musí tomuto aktu předcházet informace o nedostačujícím pokrytí území rádiovým signálem na frekvenci 160 MHz. Tuto informaci získáváme, jako technici krajské složky PČR, od svých kolegů z okresních pracovišť. Po konzultaci s těmito pracovníky zakreslíme do mapy plochu, která má být pokryta rádiovým signálem. Vytyčíme důležité body, jako jsou například města, ve kterých můžeme následně vytvořit další retranslátor na některé z budov MV. Tímto krokem můžeme pokrýt větší část území, včetně problematické městské zástavby.

Po vyznačení prostoru v mapě, obr.8.1, začíná samotné vyhledávání nejvhodnějšího místa pro retranslační vysílač. K tomu slouží jak místní znalost tak samozřejmě výpočetní technika. Na stránkách českých mobilních operátorů a Českých radiokomunikací zjistíme, zda se v daném prostoru nachází jejich vysílač. Ten bývá většinou umístěn na strategickém místě. Nejčastěji na nejvyšším kopci nebo budově v městské zástavbě. Další cesta k nalezení vhodného místa je i možnost použití vlastních budov MV, které jsou rozmístěny na různých místech v kraji. Této varianty se využívá hlavně z ekonomických důvodů, neboť v případě, že využíváme objekt, který je v soukromém

vlastnictví, je uzavřena smlouva mezi PČR a vlastníkem objektu o částečném užívání stavby. Toto užívání je samozřejmě zpoplatněno. Jedná se o měsíční nebo roční poplatky, které v případě montáže na vlastním objektu odpadají.



Obr.8.1 Vyznačení prostoru bez rádiového pokrytí v mapě

## 8.2 Prvotní průzkum terénu

Po nalezení vhodného vysílače, nyní není důležité, zda se jedná o soukromý nebo vlastní objekt, vyšleme techniky z okresního pracoviště na místo, kde se tento vysílač nachází. Technici jsou vybaveni radiostanicí ALINCO DJ-596 MK2. Pomocí této stanice jsou schopni odposlechnout rádiový signál na předem určené frekvenci. Radiostanice jim podá základní informace o síle signálu a současně slyší tzv. „cvrkot sítě“, což jsou specifické zvukové projevy při komunikaci mezi radiostanicemi připojených v rádiové síti.

Tento postup se opakuje na všech předem vytipovaných místech. Po tomto prvotním odměření příjmu rádiového signálu si určíme, který z vybraných vysílacích bodů



můžeme použít. V dnešní financemi svázané době se bohužel zohledňuje spíše využití vlastních objektů před lépe umístěnými soukromými vysílači. Není to však pravidlem. V okamžiku, kdy jsme vybrali několik vhodných míst pro vybudování retranslačního bodu, technici nasimulují rádiové spoje a pokrytí signálu z vybraných lokalit. Následně změří sílu rádiového signálu z nového vysílače v terénu s modemem M5000 lux.

### 8.3 Program Radio Mobile

Program Radio Mobile je bezplatný systém pro navrhování, simulaci a vizualizaci šíření rádiového signálu nad zemským povrchem. Je navržený jako pomocník pro radio-amatérské techniky při stavbě rádiové sítě. Jedná se o inženýrský systém pro řešení jednoduchých úloh při analýze a návrhu radiokomunikačního systému pro plošné pokrytí systému point to point nebo point to multipoint a mikrovlnných směrových spojů.

Základní vlastnosti:

- software je bezplatný;
- zobrazení terénního profilu spolu s dalšími důležitými informacemi, jako je např. Fresnelova zóna, viditelné překážky atd.;
- výškopisná mapa, pro výpočet pokrytí a plošné intenzity s uvedenou silou signálu v definovaném odstupu;
- plošnou intenzitu lze vykreslit i ve 3D zobrazení;
- používá digitální mapy GIS (geografické informační systémy), stejně jako jakékoliv jiné digitální mapy;
- kontroluje přímou viditelnost a automaticky vypočítává ztráty z důvodu překážek;
- analýza odrazů a vícecestného šíření nad terénem;
- databáze stanovišť obsahují data pro další zpracování;
- výpočty a zobrazení rádiové viditelnosti z bodu do bodu;
- výpočty a zobrazení plošné intenzity signálu pro zadaný vysílač;
- standardní verze instalace je v angličtině.

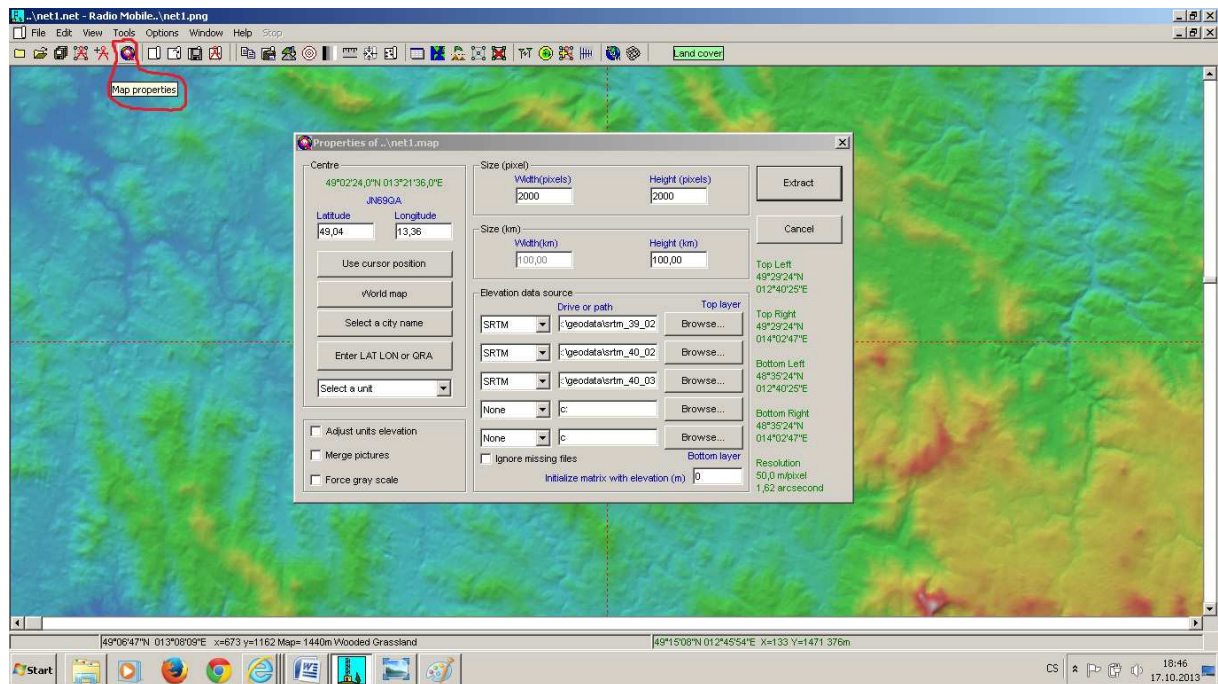
### 8.3.1 Práce s programem Radio Mobile

Systém Radio Mobile je na našem pracovišti používán jako náhrada za dosluhující program ELCOM, který je založen na operačním systému MS-DOS. Jako adekvátní náhrada se mi původně jevil program Radio Lab. S tímto programem pracují také technici PČR, ale pouze na centrálním pracovišti v Praze, neboť pořizovací cena systému Radio Lab je velmi vysoká. Z těchto finančních důvodů a také z důvodů vlastní nezávislosti na centrálním pracovišti jsem začal hledat jiné možnosti jak plnohodnotně plánovat a simulovat rádiové pokrytí. Po vyzkoušení několika bezplatných systémů jsem si nejvíce oblíbil program Radio Mobile, který se svými vlastnostmi, podle mého názoru, nejvíce přibližuje k systému Radio Lab.

### 8.4 Vyhledání nejvyššího bodu v terénu programem Radio Mobile

Pokud se navrátíme k řešení problému s pokrytím rádiovým signálem v oblasti znázorněné na obr.8.1, je možné nyní využít pro hledání nejvyššího bodu v terénu program Radio Mobile. Pomocí např. volně přístupných mapových serverů si zjistíme GPS souřadnice oblasti, kterou máme vyznačenou na obr.8.1. Tyto souřadnice použijeme při určení místa v mapových podkladech systému Radio Mobile. Po spuštění samotného programu stiskneme levým tlačítkem myši ikonu *Map properties*, která je označena na obr. 8.2. V následující nabídce vyplníme GPS souřadnice prostoru, ve kterém budeme zadávat polohy retranslačních vysílačů. Tuto zemskou délku a šířku zadáme do kolonek *Latitude* a *Longitude*. Maximální povolená šířka a výška zobrazované mapy v pixelech je 2 000 a zadává se do kolonek *Size (pixel)*. Do okénka *Height (km)* se zapisuje hodnota, která určuje vzdálenost našeho oka nad terénem. V podstatě jde o to, z jaké výšky se na mapu díváme. Toto číslo doporučuji zadávat podle velikosti území, které chceme zobrazit. Mám vyzkoušeno, že kdybychom chtěli pokrýt celou Českou republiku, zadáme hodnotu 400 km se středem oblasti kolem Kutné Hory. V našem případě bude stačit zadat hodnotu 100 až 200 km.

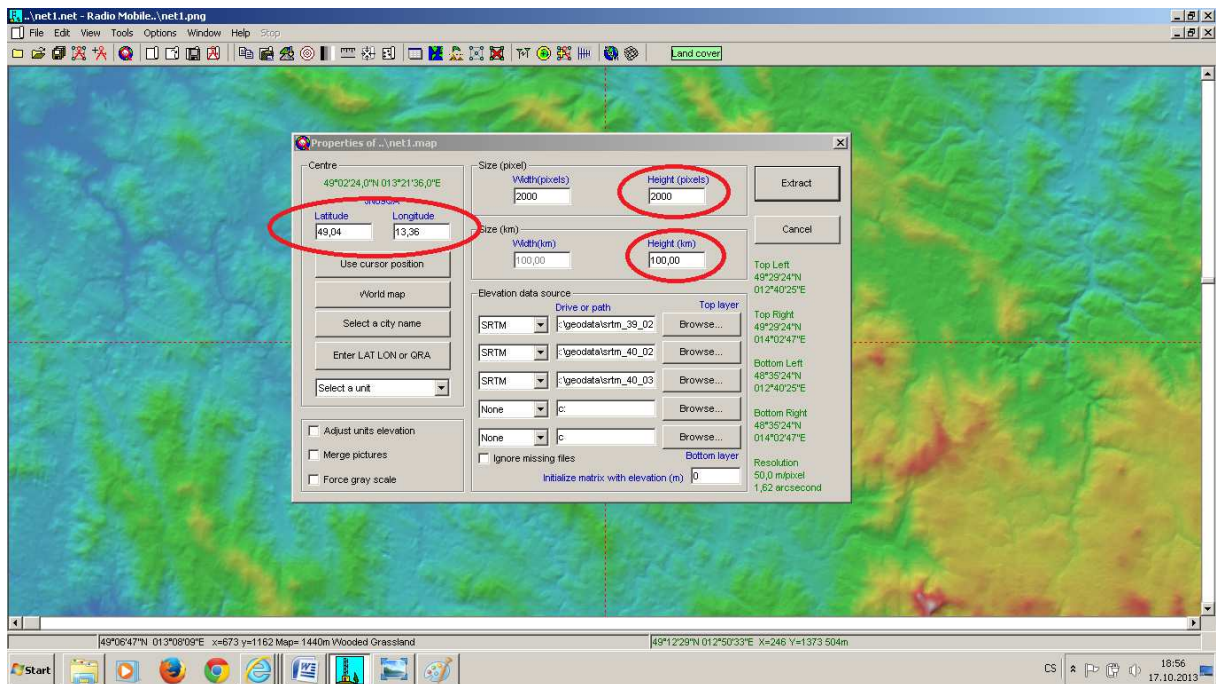
V podmenu *Elevation data source* zadáme cestu k uloženým mapovým podkladům, které jsme si předem uložili do počítače. Použijeme mapy typu SRTM. Tyto mapy jsou volně přístupné na webových stránkách americké NASA.



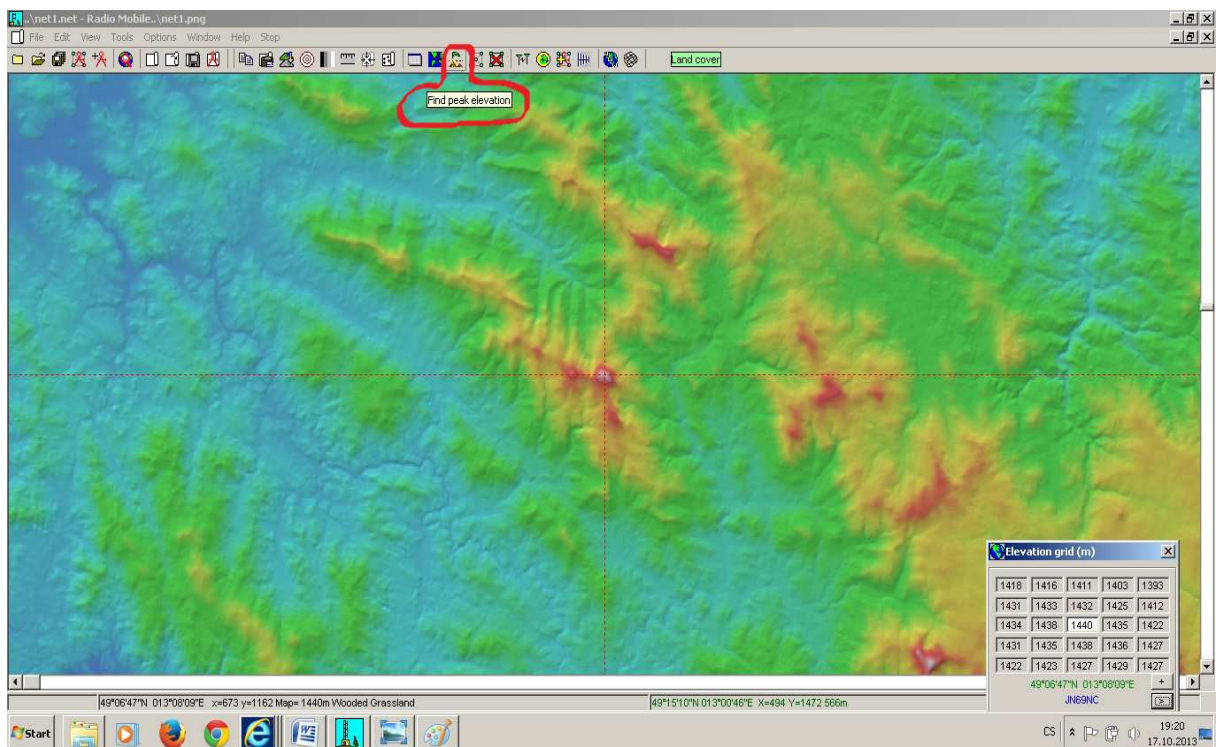
Obr.8.2 Nastavení souřadnic GPS v systému Radio Mobile

Na obr.8.3 jsou zvýrazněny výše popsané oblasti, do kterých zadáváme požadované hodnoty.

Pokud nemáme předem vytipovaná místa pro výstavbu retranslačního vysílače, můžeme využít příkaz *Find peak elevation* z nástrojové lišty, který je patrný z obr.8.4. Tento příkaz nalezne bod s největší nadmořskou výškou v oblasti. Pokud zobrazíme celou Českou republiku, najde nám tento příkaz Sněžku. V pravém spodním rohu se nachází tabulka nadmořských výšek v okolí aktuální pozice kurzoru. Tuto tabulku můžeme vyvolat také příkazem *Elevation grid*.



Obr.8.3 Nastavení hodnot v menu *Map properties*



Obr.8.4 Nalezení nejvyšší nadmořské výšky v zobrazené mapě

Výšky jsou umístěny v reálném směru a po kliknutí na vybranou výšku se kurzor ve tvaru kříže posune ve směru, v jakém se nachází zvolená hodnota od středu tabulky.

Slouží k jemnému doladění pozice vysílací stanice. Stiskem > v tabulce, zobrazíme detailní náhled povrchu mapy v okolí kurzoru.

V našem případě však vytipovaná místa pro umístění retranslačního vysílače již máme. Proto se budeme nyní věnovat samotnému měření radiového signálu a výpočtu radiového pokrytí na konkrétních souřadnicích.

### 8.5 Instalace vysílače pro měření

Jak jsem již jednou uvedl, při hledání vhodného místa pro stavbu vysílače jsme mnohdy limitováni omezenými finančními prostředky a je nutné vytipovat vlastní budovy MV, které jsou vhodnější jak z hlediska bezpečnosti, tak i přístupu. Právě tato možnost nastala i v našem případě. Na obr.8.5 je vidět rekreační zařízení MV na Churáňově. Protože se nachází téměř na vrcholu Churáňova, vyzkoušeli jsme provizorně umístit zařízení s anténou na tuto budovu. V pozadí obr.8.5 je patrné, že za touto budovou se nachází stožár, který je v majetku nejmenovaného mobilního operátora. Ten nám může sloužit v případě nedostatečného radiového pokrytí z budovy MV jako další varianta pro umístění antény do větší výšky.

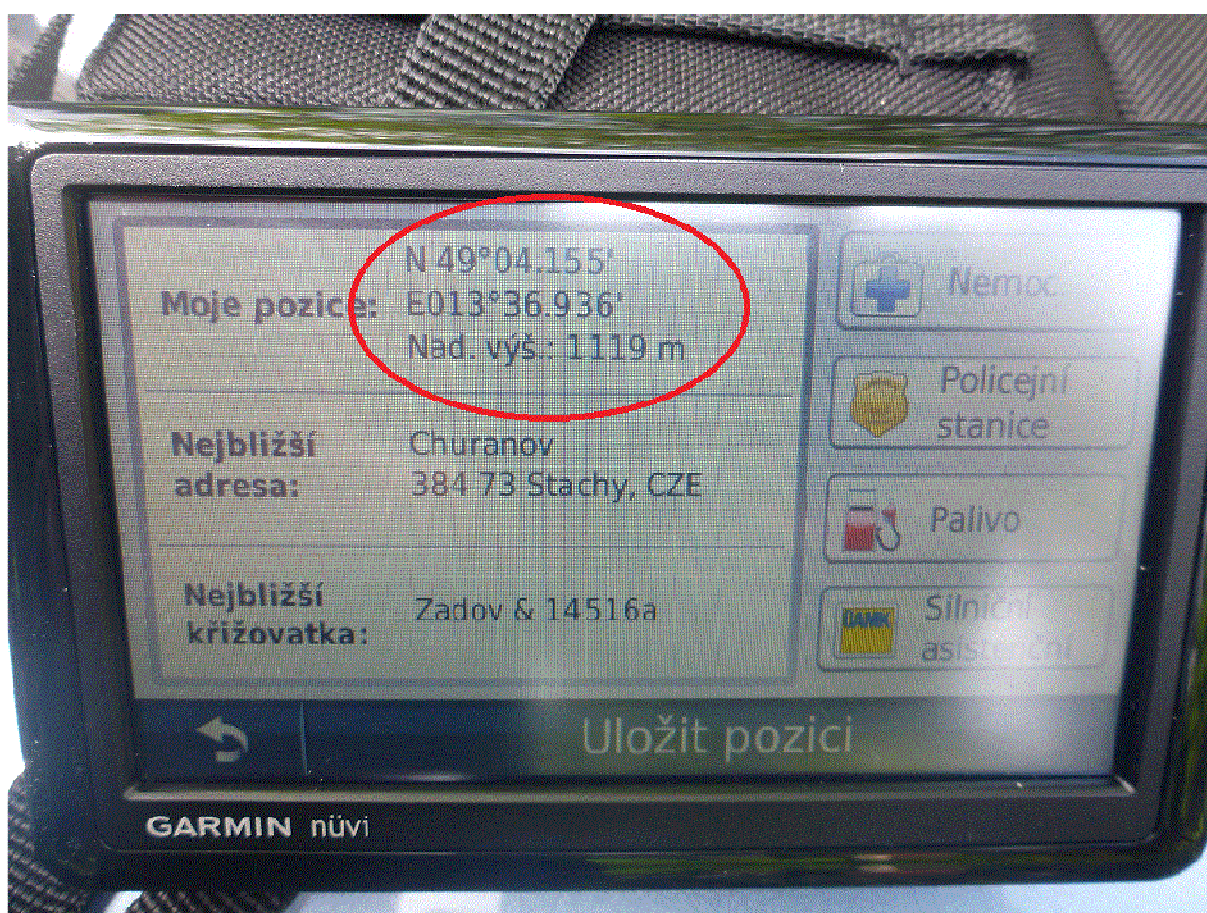


Obr.8.5 Provizorní umístění antény pro vlastní měření

V okamžiku, kdy máme anténu s anténním svodem a vysílacím zařízením na této budově, můžeme provést fyzické měření rádiového signálu s měřicím přístrojem M5000 lux a zjistit tak skutečnou sílu vysílaného signálu.

### 8.5.1 Výpočet pokrytí z jednoho vysílacího bodu

Před samotným měřením v terénu je vhodné využít program Radio Mobile k nasimulování vysílací charakteristiky v okolí vysílače Churáňov. Z obr.8.6 snadno získáme GPS souřadnice místa, kde se nachází budova MV. Pro zjištění těchto souřadnic byla použita GPS navigace Garmin.



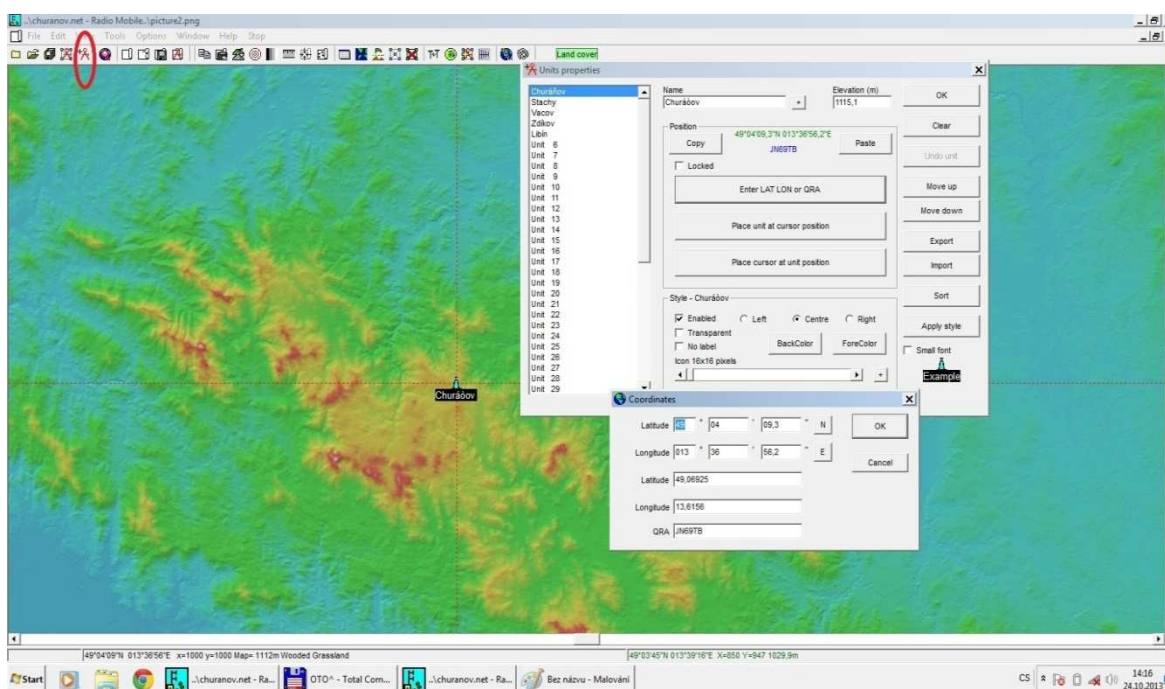
Obr.8.6 GPS navigace s pozicí Churáňova

System výpočtu viditelnosti pokrytí slouží pro detailní analýzu oblasti přímé viditelnosti. Jedná se o výpočtový komponent systému Radio Mobile umožňující výpočet a následnou vizualizaci kruhového diagramu viditelnosti. Vypočítané diagramy je možné zobrazit ve výškopisné mapě i v mapových serverech.

Mezi základní funkce, které poskytuje tento komponent uživateli, patří:

- výpočet diagramu viditelnosti;
- vizualizace diagramů v mapových systémech;
- možnost nastavení barev pro viditelnou i neviditelnou oblast;
- možnost načítání a ukládání dat vysílače z/do souboru.

Před samotným výpočtem je třeba zadat parametry výpočtu. Jde o parametry vysílače, analyzované oblasti, přesnosti výpočtu atd. Nejdříve zadáme zeměpisnou polohu místa vysílače. Na obr.8.7 je zobrazeno zadávání těchto parametrů.



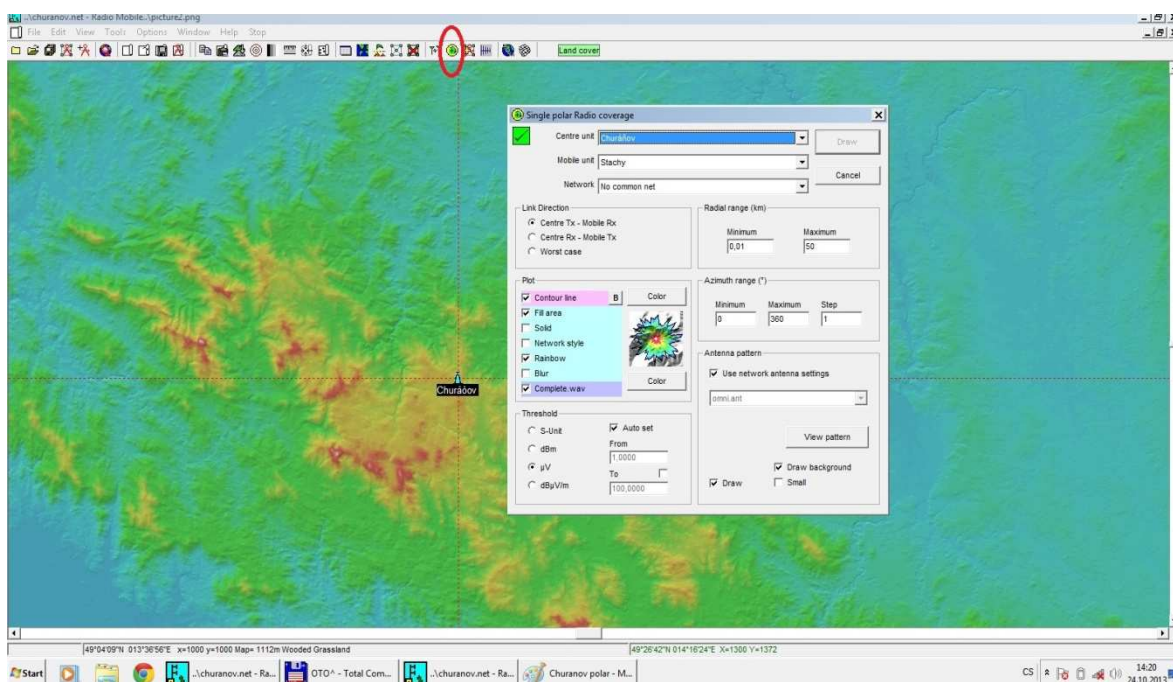
Obr.8.7 Zadání polohy vysílače v menu *Units properties*

Po vyvolání menu, znázorněné na obr.8.7, z nástrojové lišty dostaneme nástroj pro samotné zadávání souřadnic budoucího vysílače. Po stisknutí tlačítka *Enter LAT LON or QRA*, můžeme zadávat předem zjištěné GPS souřadnice. Potvrzením tlačítka *OK* je uložíme. Další možnost jak zadat zemské koordináty je využití souřadnicového kříže v mapě a stisknutí tlačítka *Place unit at cursor position*. Po stisknutí tohoto tlačítka se uloží GPS souřadnice místa, kde se nachází souřadnicový kříž. Do políčka *Name* zadáme název vysílače. Současně se nám po potvrzení souřadnic zobrazí v políčku *Elevation* nadmořská výška místa, kterou jsme si vybrali. V dolní části menu ještě můžeme

změnit styl ikony vysílače. Tato ikona se bude zobrazovat v mapě a bude reprezentovat samotné umístění jak vysílače tak také následných přijímačů ve zvolené síti.

Další možnost načtení polohy vysílače je využití již uložených hodnot jak z programu Radio Mobile tak také např. z mapového serveru Google Earth. Stiskem tlačítka *Import* můžeme vyhledat uložená data v souboru s koncovkou *kml*. Stejně tak máme možnost nově vytvořený vysílač uložit do počítače i s jeho daty po stisknutí tlačítka *Export* do předem připraveného adresáře.

Nyní, kdy máme zadány hodnoty pro umístění vysílacího bodu, můžeme přikročit k samotnému zobrazení rádiového pokrytí ve výškopisné mapě programu Radio Mobile. Na obr.8.8 je znázorněné menu, které zobrazíme po stisku ikony *Polar radio coverage*.

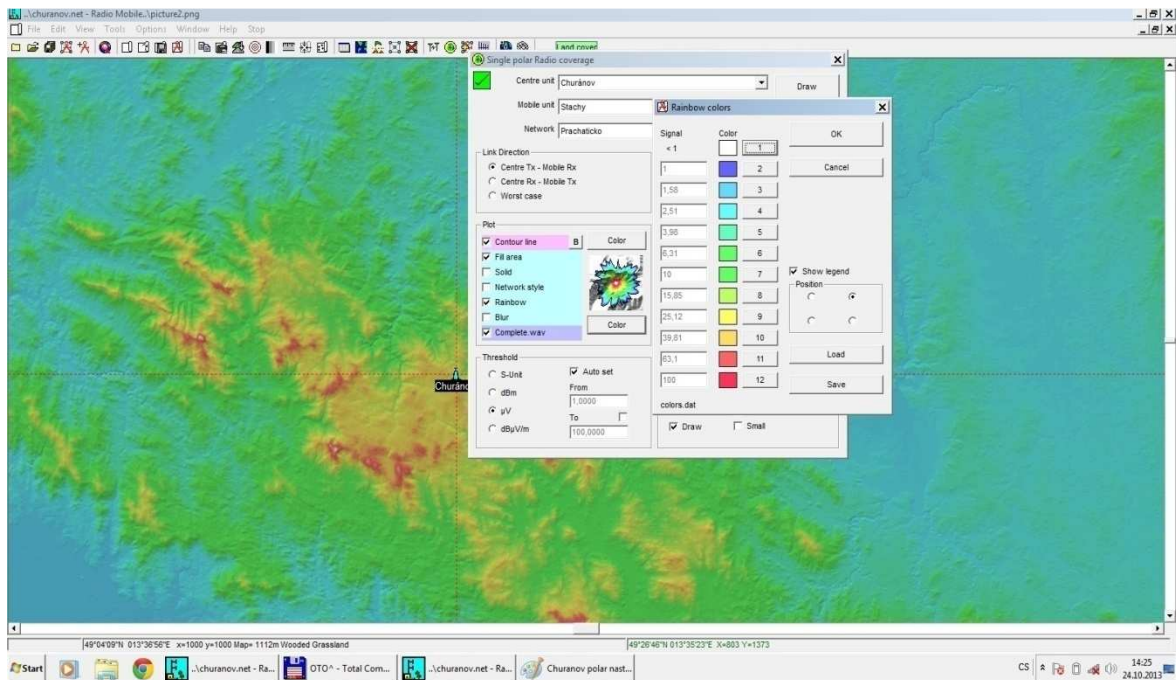


Obr.8.8 Zobrazení nabídky příkazu *Polar radio coverage*

Do políčka *Centre unit* zadáme středovou stanici, v našem případě Churáňov. Do *Mobile unit* vložíme přijímací stanici v oblasti rádiového pokrytí, kterou jsme zadali předem v menu *Units properties*. Obě tyto stanice musejí být sdruženy do jedné sítě. Tuto síť jsem podle územní příslušnosti nazval Prachaticko. Položka *Link Direction* určuje směr spojení a položka *Plot* nám udává styl zobrazení pokrytí. Vzdálenost, na kterou se má vysílat zadaným výkonem 5 W, se zapisuje do *Radial Range*. Kam má spojení



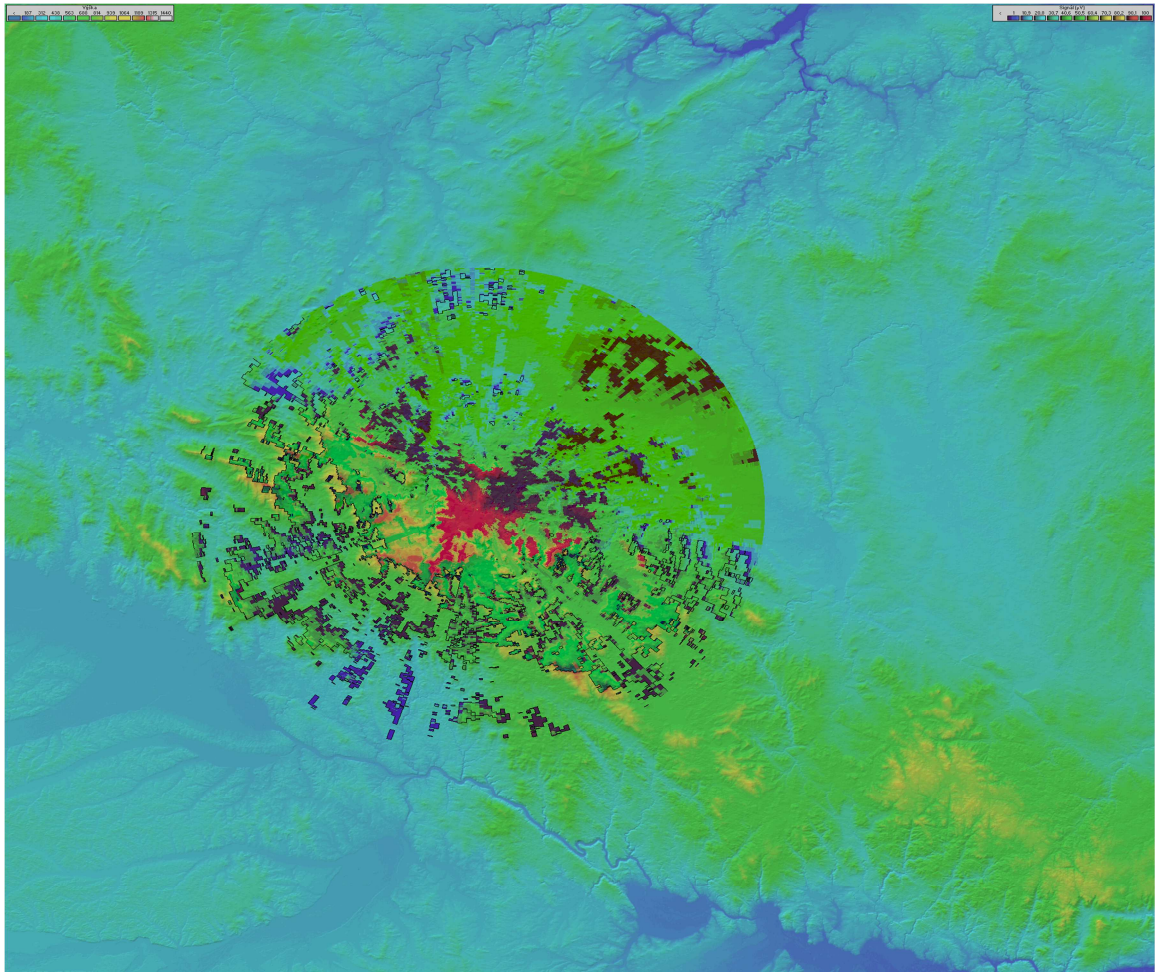
směřovat se vkládá do *Azimuth Range*. Po stisku tlačítka *View pattern* se nám zobrazí vysílací charakteristika zadané antény v menu *Antenna pattern*. *Use network antenna settings* použije nastavení antény podle zvolené sítě. V menu *Threshold* zadáváme jednotky, které se budou zobrazovat v barevném rozlišení radiového pokrytí v mapě. Jak je vidět na obr.8.9, po stisknutí tlačítka *Color* v menu *Plot*, se nám zobrazí barevná škála, která je přiřazená k hodnotám síly radiového signálu.



Obr.8.9 Barevná škála přiřazená k hodnotám radiového signálu

Po výběru všech parametrů potřebných pro výpočet se samotný výpočet provede stiskem tlačítka *Draw*. Výpočet se dá předčasně ukončit pomocí tlačítka *Stop*. Po ukončení výpočtu se zobrazí kruhový diagram s barevným odlišením síly signálu ve výškopisné mapě programu Radio Mobile. Dále se zobrazí nabídka *Keep coverage in picture* pro uložení výsledku do nového nebo současného obrázku.

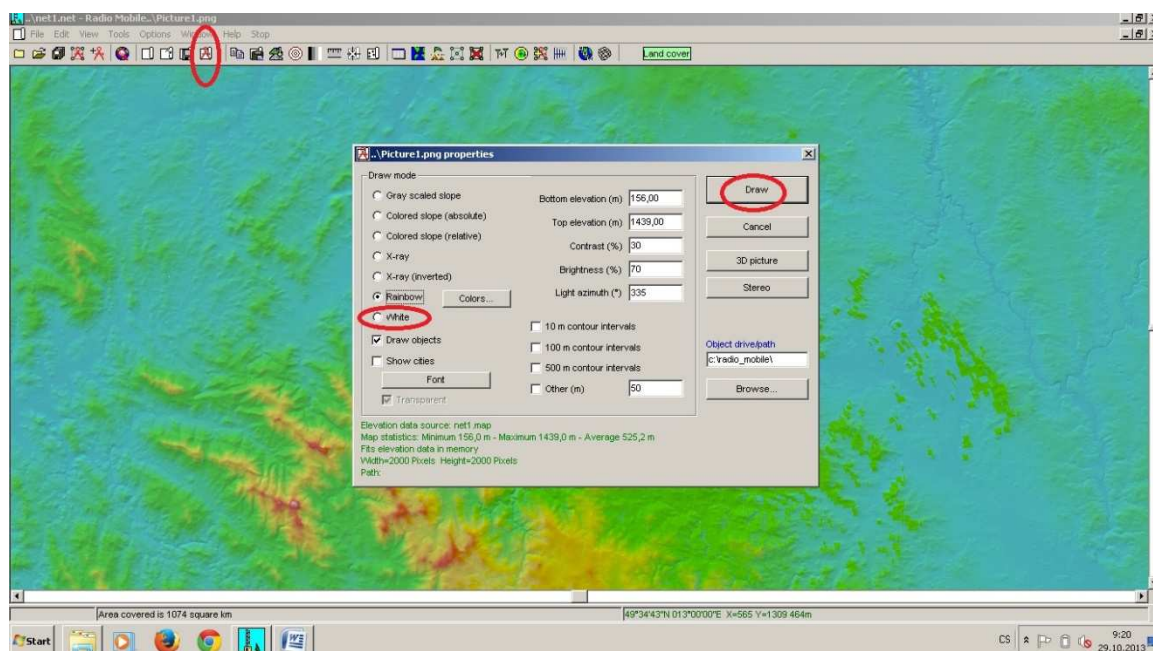
Toto kruhové pokrytí radiového signálu je znázorněno na obr.8.10. Na obrázku je patrné pokrytí radiovým signálem ve výškopisné mapě programu Radio Mobile z výšky 200 km. Střed kruhu se nachází v bodě vysílače Churáňov.



Obr.8.10 Zobrazení radiového pokrytí ve výškopisné mapě

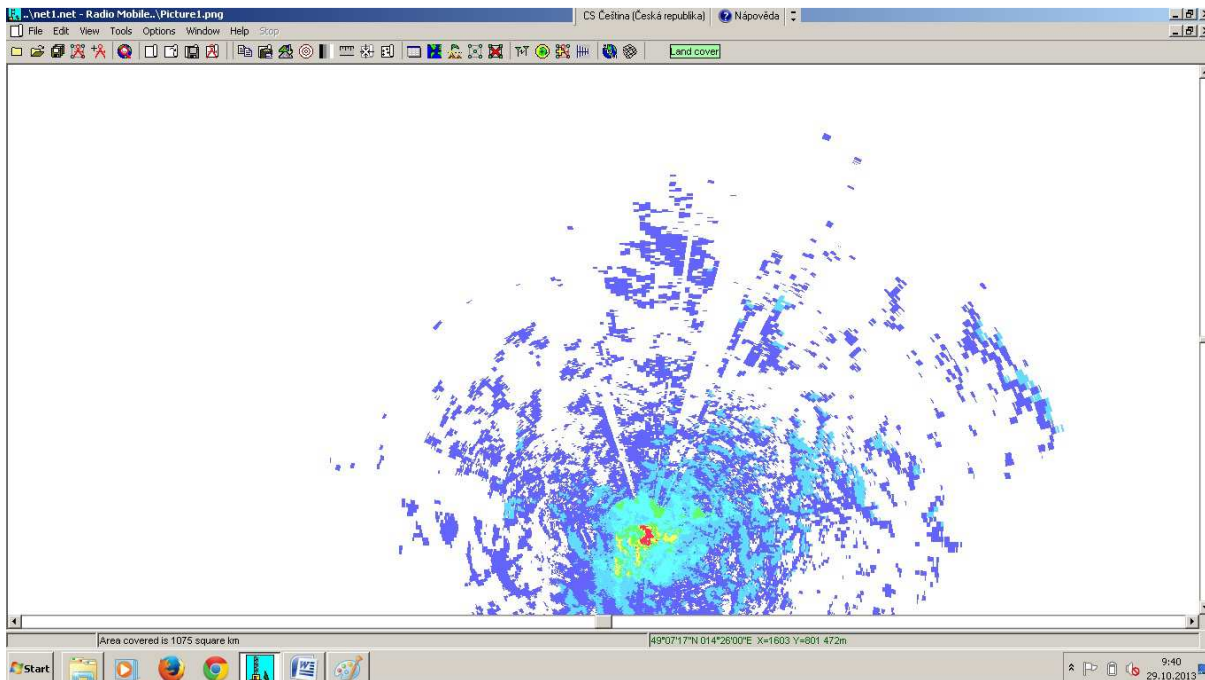
Jestliže chceme toto kruhové zobrazení přenést do jiného mapového serveru, musíme nejprve definovat v menu *Picture properties* zobrazení povrchu mapy.

Z obr.8.11 je patrné, že v menu *Picture properties* se v položce *Draw mode* změní zobrazení povrchu mapy z *Rainbow* na *White*. Změnu potvrdíme stiskem tlačítka *Draw*. Tímto příkazem jsme docílili toho, že mapový podklad bude zcela bílý a tím pádem se kruhový výpočet pokrytí z vysílacího bodu zobrazí na bílé ploše. To je důležité pro další použití tohoto pokrytí v dalších mapových serverech. V našem případě použijí mapový server *Google Earth*.



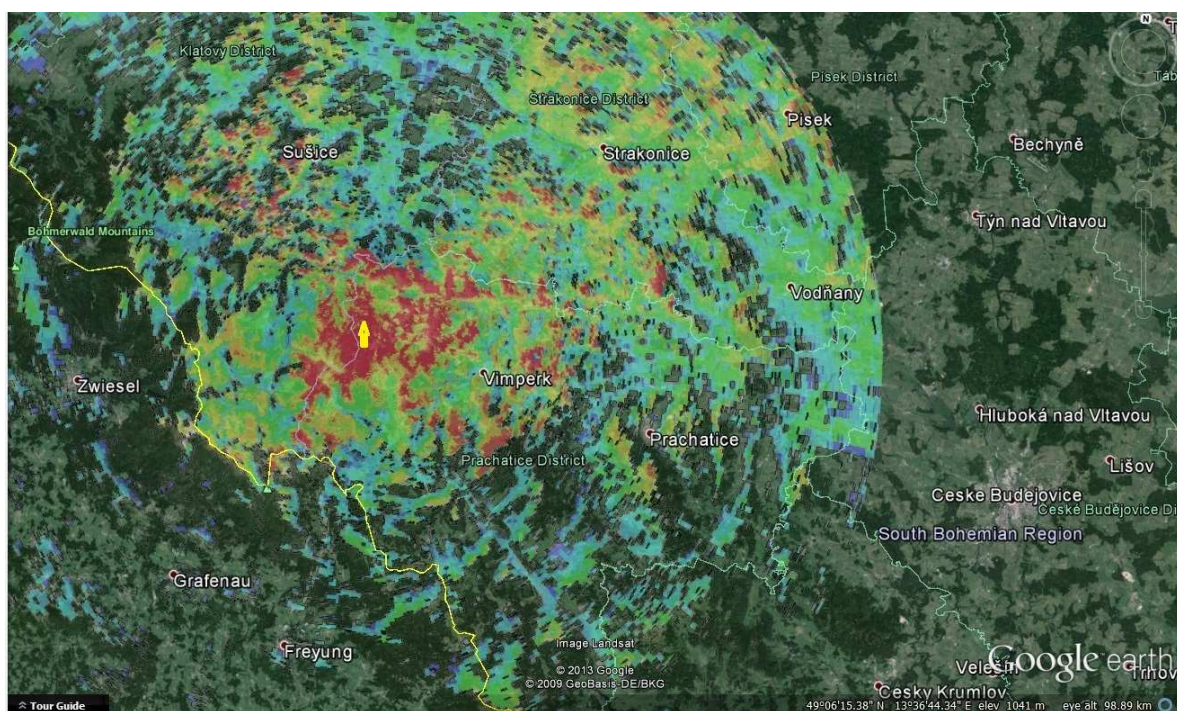
Obr.8.11 Nastavení zobrazení povrchu mapy

Po provedené změně v menu *Picture properties*, zopakují celý cyklus výpočtu kruhového pokrytí. Na obr.8.12 je patrné zobrazení tohoto pokrytí.



Obr.8.12 Zobrazení výpočtu pokrytí ve formátu *White*

Tento obrázek následně uložíme po otevření menu *File* a stisku položky *Save picture as...* do připraveného adresáře v počítači ve formátu *.png*. Spolu s tímto formátem se nám ještě uloží soubory se stejným názvem, ale s koncovkami *.dat*, *.geo*, *.inf* a *.kml*. Pro naše další použití je důležitý formát *.kml*. Po dvojitým stisknutí tohoto souboru se spustí program *Google Earth*. Ten musí být nainstalovaný v počítači a současně musí být tento počítač připojen na internetovou síť. Jestliže jsou splněny všechny podmínky, dojde k zobrazení kruhového pokrytí v mapovém serveru *Google Earth*. Tyto mapy je samozřejmě možné různě přibližovat, oddalovat a natáčet. Na obr.8.13 je vidět výsledné zobrazení pokrytí rádiového signálu z vysílače Churáňov v programu *Google Earth*. Pro lepší orientaci je ve středu kruhu umístěna šipka, která označuje místo vysílače.



Obr.8.13 Zobrazení výpočtu pokrytí v *Google Earth*

Z obr.8.13 je patrné, že vyzařování z naší antény zasahuje jen minimálně do okolních států, které se nacházejí za žlutou čarou představující státní hranice. Tím je splněna i podmínka Vídeňské dohody o nezasahování vysílání do okolních států.

## 8.6 Zobrazení terénního profilu mezi radiostanicemi

V následujících podkapitolách se budu věnovat měření rádiového signálu mezi dvěma stanicemi. Charakter terénního profilu ovlivňuje šíření elektromagnetických vln a tedy i kvalitu navrhovaného radiokomunikačního spoje. Ze zobrazení terénního profilu je možné mimo jiné zjistit:

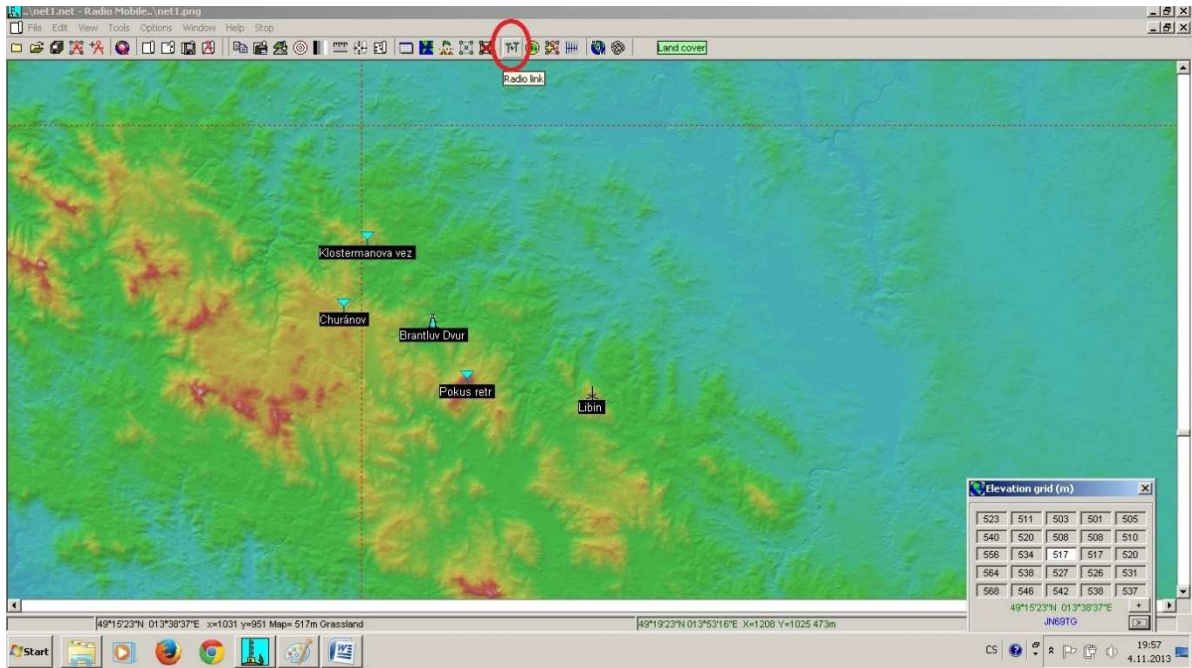
- členitost terénu;
- možná místa odrazu vln od terénu;
- kritické oblasti jako je dotyk rotačního elipsoidu s poloměrem 1. Fresnelovy zóny.

Aby radiokomunikační spoj vyhovoval z hlediska rádiové viditelnosti, musí splňovat kritéria volného profilu.

Jako první nasimulujeme rádiové trasy mezi nově vytvořeným retranslačním vysílačem Churáňov a dalším retranslačními vysílači, které zaručí přenos dat do okresního města. Pokud spojení bude dostačující, navrhne následně další rádiové trasy mezi Churáňovem a důležitými místy, nacházející se ve vyznačeném prostoru na obr.8.1.

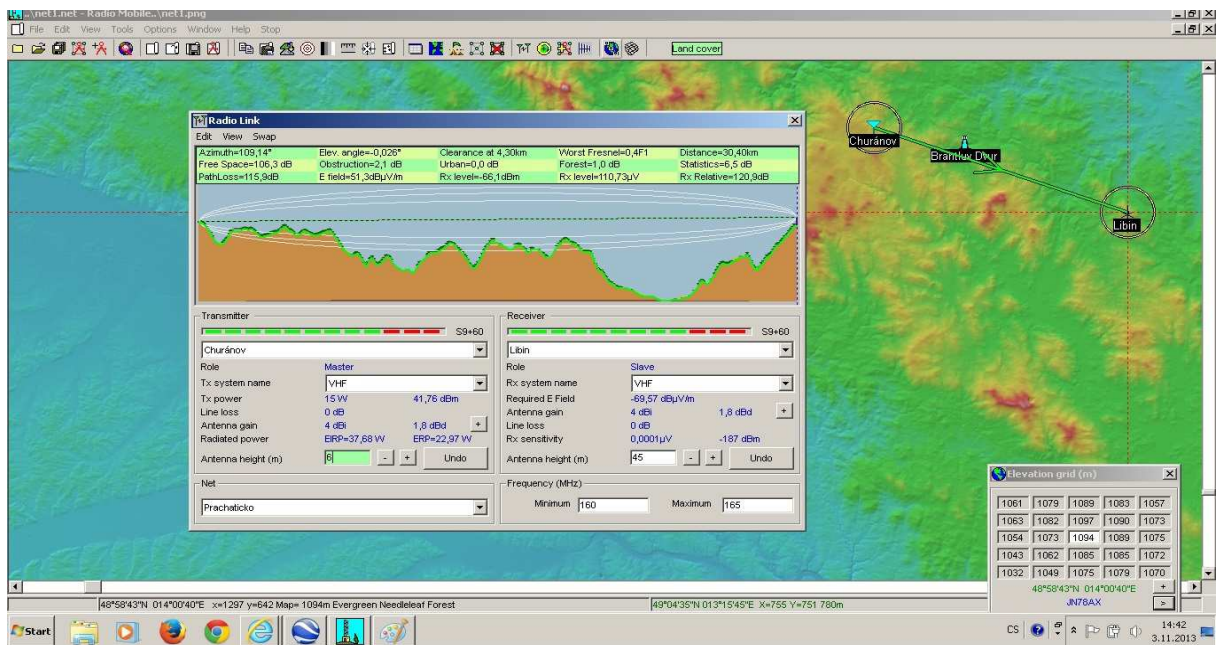
### 8.6.1 Simulace rádiového spojení Churáňov - Libín

Stiskem tlačítka *Radio link* z příkazového řádku, jak je patrné z obr.8.14, se dostaneme do menu pro simulaci rádiového spojení mezi vysílači. Na tomto obrázku jsou již zobrazeny všechny dostupné vysílače, které vytvoří přenosovou soustavu. Tato přenosová soustava zaručí datovou komunikaci s cílovým přenosem informace do okresního města.



Obr.8.14 Příklad *Radio link* v systému Radio Mobile

Jako první provedu simulaci rádiového spojení mezi vysílačem Churáňov a vysílačem Libín. Na obr.8.15 je zobrazen výpočet tohoto spojení.



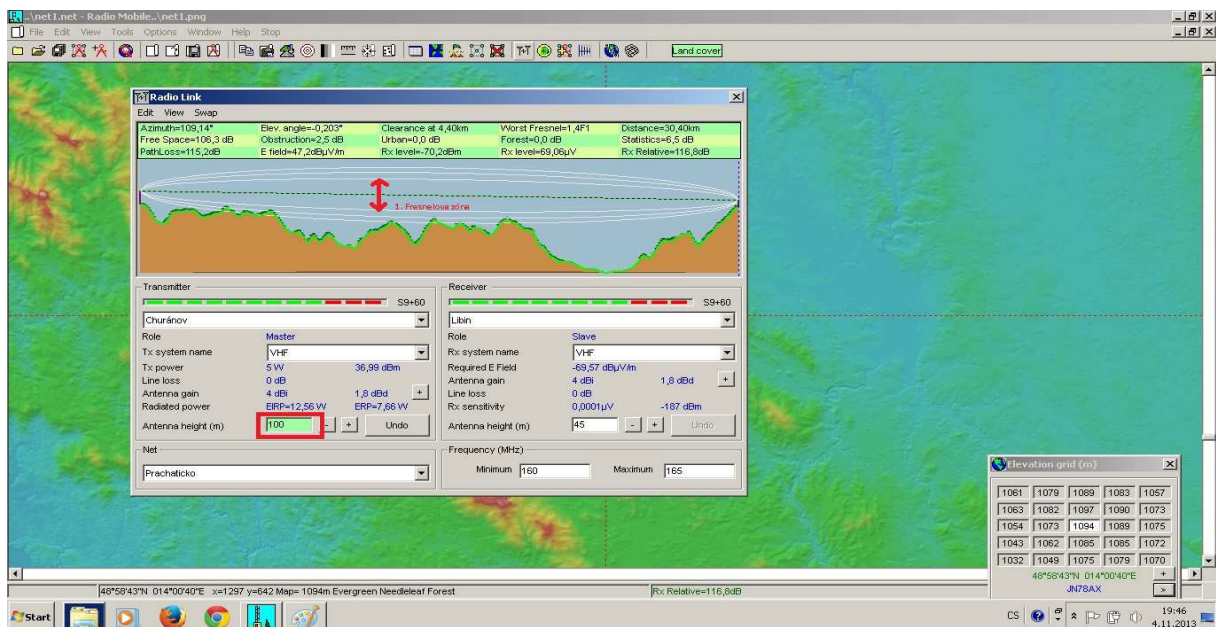
Obr.8.15 Rádiové spojení Churáňov - Libín

Do kolonek *Transmitter* a *Receiver* je možné rolováním zadat vysílače, které jsem si předem definoval v menu *Units properties*. Jako vysílací stanici jsem určil vysílač

Churáňov s výškou antény 6 m nad okolní krajinou. Tato hodnota se zapisuje do položky *Antenna height*. To samé se opakuje na straně přijímače. Jako přijímač je zvolen vysílač na Libíně. Anténa na stožáru je umístěna ve výšce 45 m od paty stožáru.

V horní části zobrazení výpočtu se nachází parametry spojení mezi zadanými vysílači. Důležitou hodnotou je *Azimuth*, který udává směr spojení. Ten je důležitý, pokud bychom chtěli vytvořit směrový spoj. Pak je třeba vyměnit všesměrovou anténu za směrovou, kdy její hlavní vysílací lalok musí být natočen na daný azimutový úhel. Hodnota *Path Loss* určuje celkový útlum vysílaného signálu na trase, jejíž vzdálenost vzdušnou čarou je zapsána u položky *Distance*.

Jak je patrné z obr.8.15 spojení mezi vysílačem Churáňov a Libín je proveditelné, neboť je splněna podmínka přímé viditelnosti. Tato podmínka je důležitá pro šíření přímé vlny, ale nesmíme zapomínat na Fresnelovu zónu. Hlavně na 1. Fresnelovu zónu. Na spojení z obr.8.15 je možné vidět, že spodní část Fresnelovy zóny zasahuje do terénu. Pokud bychom chtěli dosáhnout kvalitního spojení bez omezení Fresnelovy zóny, musela by být anténa na straně vysílače Churáňov umístěna ve výšce minimálně 100 m od paty stožáru, jak je patrné z obr.8.16.



Obr.8.16 Změna umístění antény do výšky 100 m

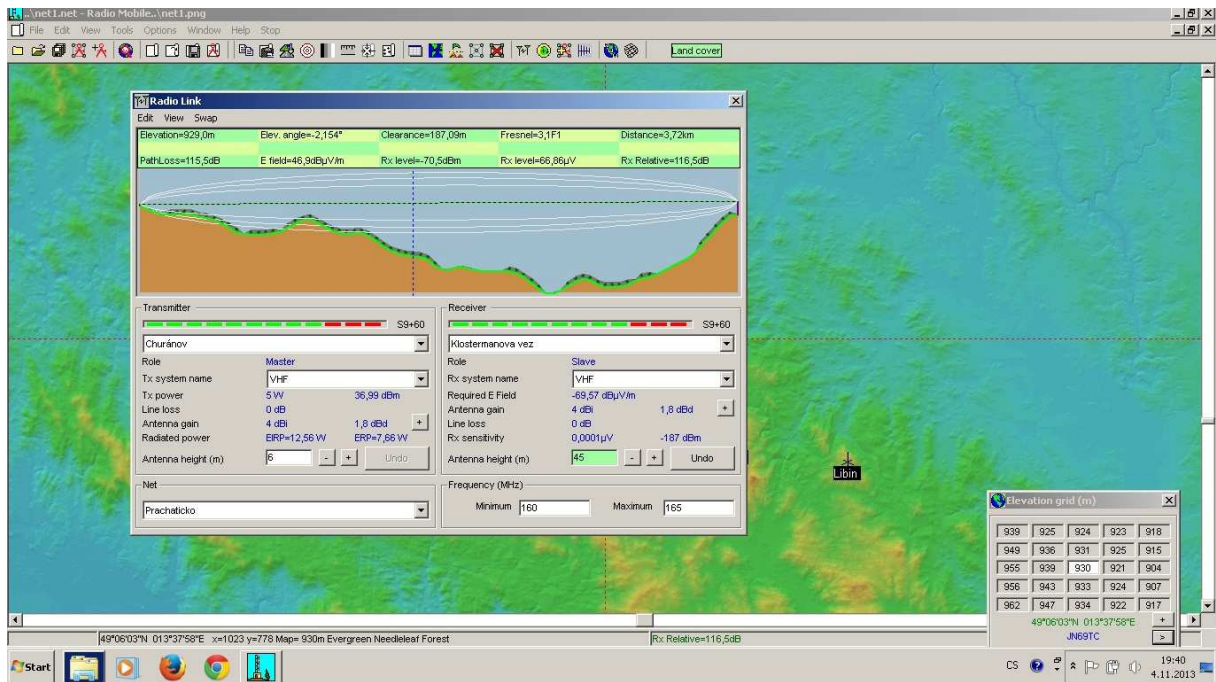
Tato změna je však za našich podmínek a prostředků technicky neproveditelná. Jak jsem již popisoval v kapitole 4.5.2, zúžení 1. Fresnelovy zóny nemá vliv na samotné spojení, přesto by průměr zóny neměl klesnout pod 60 % ideální šířky Fresnelovy zóny.

### **8.6.2 Simulace rádiového spojení Churáňov – Klostermanova věž**

Přestože spojení Churáňov – Libín se jeví jako dostačující, nemůžeme zapomínat na to, že při navrhování trasy v pásmu VKV se musí přihlížet i na vzdálenost mezi vysílači. Jak je možné vyčíst z obr.8.15 vzdálenost mezi Churáňovem a Libínem je 30,4 km vzdušnou čarou. Tato vzdálenost je při vysílacím výkonu 5 W již celkem na hraně možností. Útlum a ztráty při přenosu mohou být v případě nepříznivých povětrnostních podmínek natolik veliké, že přenos dat mezi těmito vysílači by se přerušil. Proto zkusíme nasimulovat další spoj a to Churáňov – Klostermanova věž. Z vysílače Klostermanova věž si vytvoříme tzv. skok. Skok znamená zjednodušeně další krok, kterým vytváříme přenosovou trasu z vysílače Churáňov až do Prachatic.

Z internetu nebo pomocí použití GPS Garmin si zjistíme zeměpisné souřadnice vysílače Klostermanova věž. Ty zadáme do systému Radio Mobile, tak jak je popsáno v kapitole 8.5.1. Po vytvoření tohoto vysílače v programu Radio Mobile, postupujeme stejně jako v předešlé kapitole. Po výpočtu simulace spojení dostaneme výsledek, který je vyobrazen na obr.8.17.



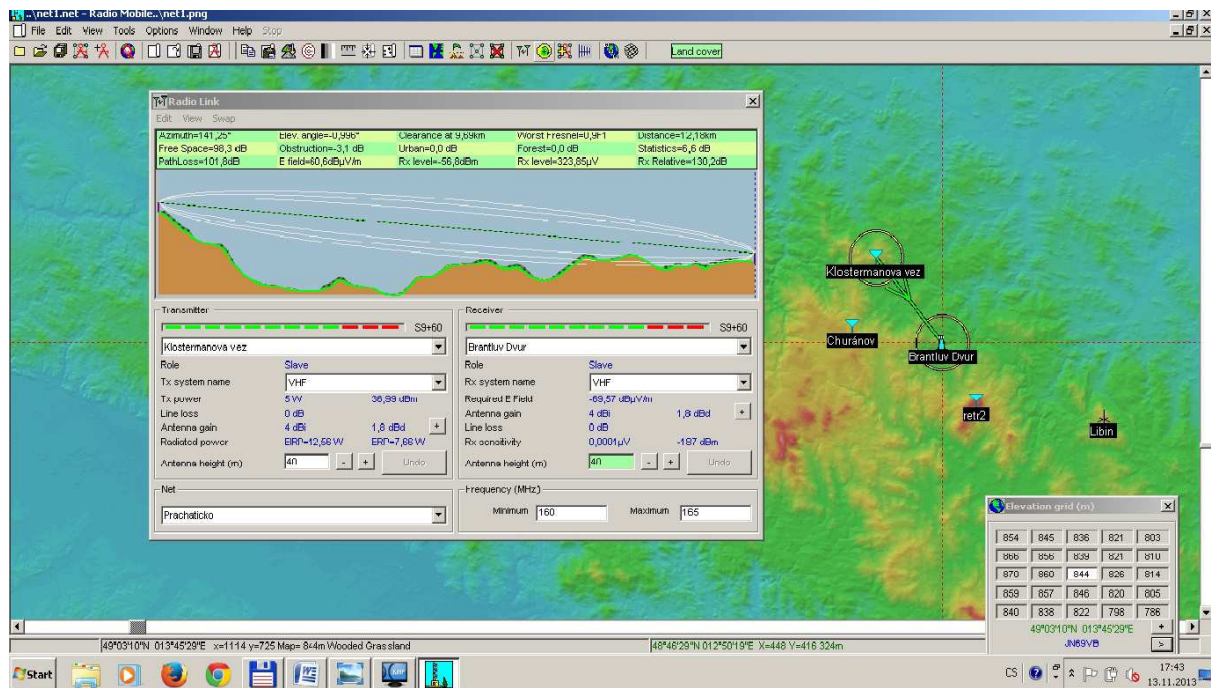


Obr.8.17 Rádiové spojení Churáňov – Klostermanova věž

Jak je patrné z obr.8.17 vzdálenost mezi vysílači je 3,72 km a hodnoty pro uskutečnění spoje jsou v přijatelných mezích. Proto můžeme přistoupit k dalšímu skoku při plánování rádiové trasy.

### 8.6.3 Simulace rádiového spojení Klostermanova věž – Brantlův dvůr

Po zadání zeměpisných souřadnic vysílače Brantlův dvůr vypočítáme a zobrazíme rádiové spojení mezi tímto vysílačem a vysílačem Klostermanova věž. Tato trasa je na obr.8.18. Také tento spoj splňuje požadované parametry pro budovanou přenosovou cestu. Ať se jedná o vzdálenost mezi vysílači, celkový útlum na trase, přímou viditelnost tak i volnost 1. Fresnelovy zóny mezi vysílačem Brantlův dvůr a Klostermanova věž.



Obr.8.18 Rádiové spojení Klostermanova věž – Brantlův dvůr

#### 8.6.4 Vyhodnocení simulace přenosových tras

V předešlých podkapitolách jsem nasimuloval dvě varianty přenosové cesty z vysílače Churáňov do okresního města Prachatic. První varianta je přímý spoj mezi Churáňovem a Libínem. Druhá varianta počítá s tím, že první spoj, s ohledem na větší vzdálenost mezi vysílači, nemusí mít dostačující sílu rádiového signálu. Proto jsem nasimuloval přenosovou cestu Churáňov – Klostermanova věž – Brantlův dvůr. Spojení mezi Brantlovým dvorem a Libínem a mezi Libínem a budovou ÚO PČR Prachatic je v současné době v provozu, a proto se simulace těchto rádiových spojů neprováděla. V obou případech program Radio Mobile vypočítal trasu s dostačujícími hodnotami rádiového signálu pro uskutečnění spojení.

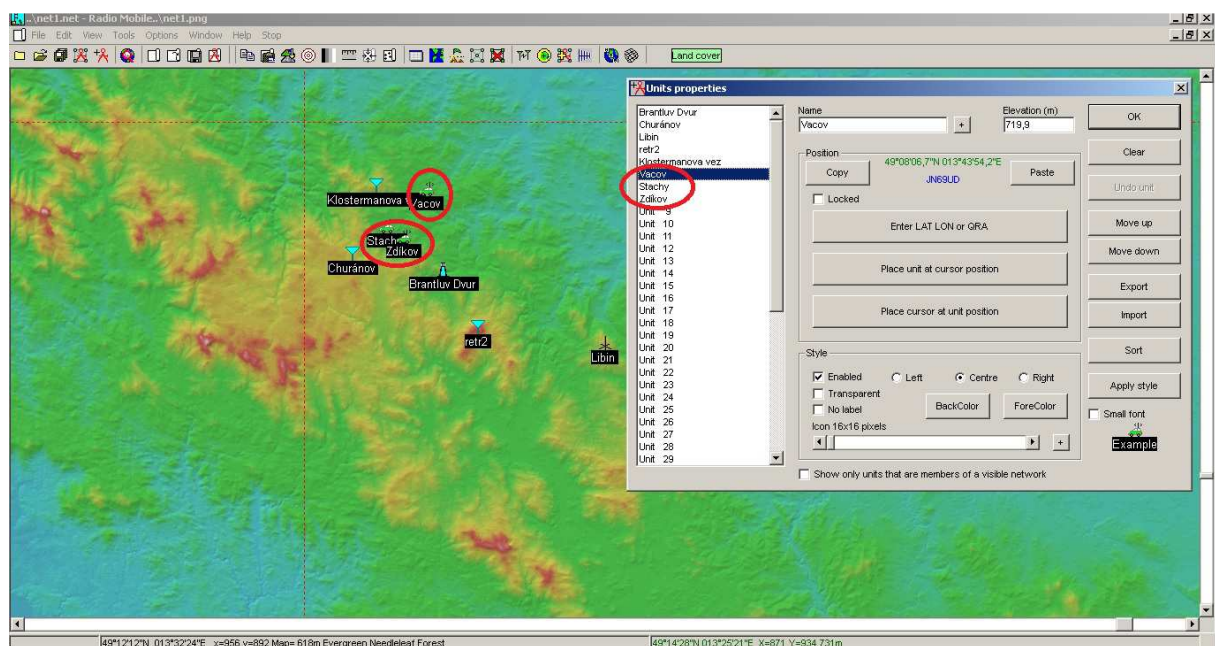
Nevýhodou první varianty je vzdálenost mezi oběma vysílači, která může způsobit zeslabení rádiového signálu pod použitelnou hodnotu. U druhé možnosti je nevýhodný počet retranslačních vysílačů, který se oproti první variantě zdvojnásobí. To má za následek prodloužení času pro doručení datového balíku informací z prostoru vymezeném na obr.8.1 a samozřejmě také vyšší finanční náklady na provoz těchto vysílačů, jako je spotřeba energie, pronájem vysílače, nákup technologie spojený s její montáží a údržbou.

Každá z těchto možností má tedy své klady a zápory. Rozhodujícím faktorem pro využití první nebo druhé varianty bude však měření síly signálu v terénu pomocí měřicího přístroje M5000 lux.

### 8.6.5 Rádiové spojení v okolí Churáňova

Jelikož jsme prostřednictvím programu Radio Mobile našli spojení pro vytvoření přenosové cesty z vysílače Churáňov až do Prachatic, mohu nyní nasimulovat rádiové spoje mezi tímto vysílačem a obcemi Stachy, Vacov a Zdíkov. Tyto obce jsou největší v oblasti vyznačené na obr.8.1. Z obr.8.13 je patrné, že tyto obce se nacházejí v příznivé zóně pokrytí rádiovým signálem z vysílače Churáňov.

V menu *Units properties* zadáme GPS souřadnice všech tří výše uvedených obcí a zařadíme je do jednotné sítě s vysílačem Churáňov, jak je znázorněno na obr.8.19.

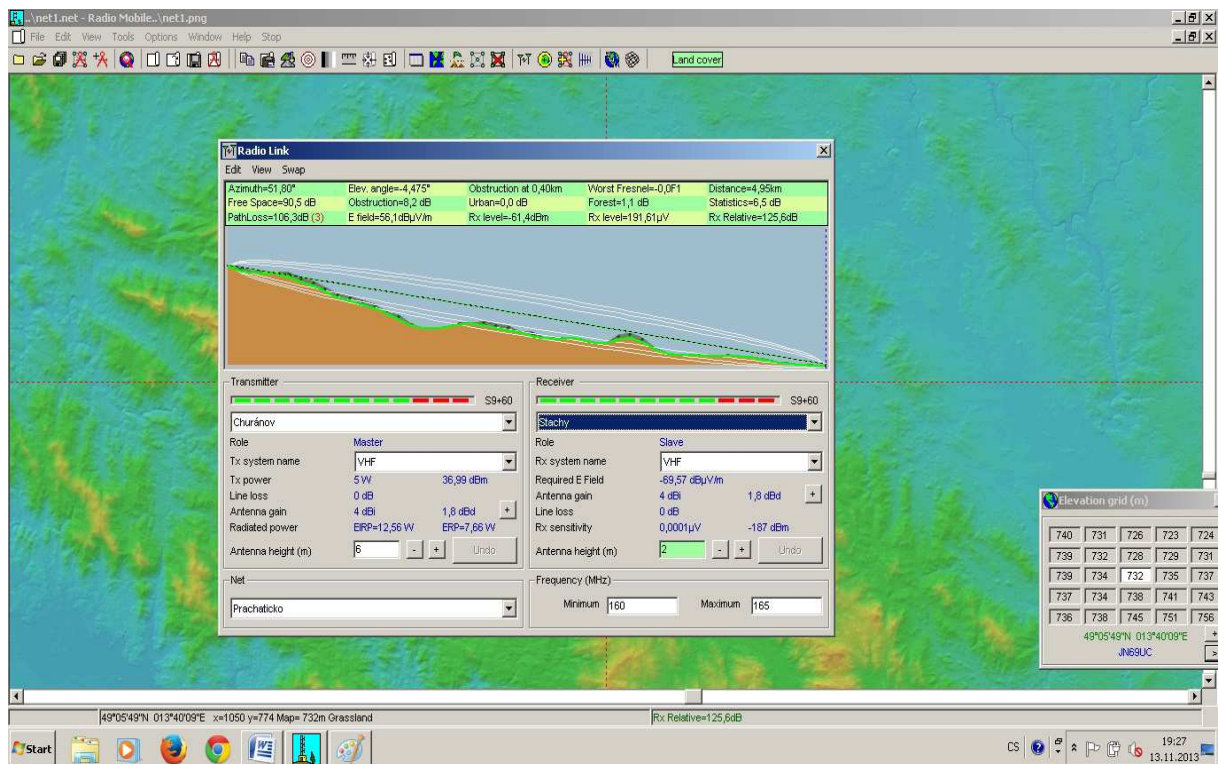


Obr.8.19 Zadání GPS souřadnic obcí do programu Radio Mobile

### 8.6.5.1 Simulace rádiového spojení Churáňov – Stachy

První obcí, kterou požadujeme pokrýt rádiovým signálem, jsou Stachy. Tato obec se nachází 4,95 km od vysílače Churáňov. Po výpočtu rádiového spoje mezi vysílačem Churáňov a náhodně vybraným místem v obci Stachy v menu *Radio Link* je patrné z obr. 8.20, že spojení nebude zcela bez problémů. Mezi obcí Stachy a Churáňovem se nachází několik terénních nerovností, které mohou komplikovat nebo dokonce znemožnit rádiové spojení mezi oběma vysílači.

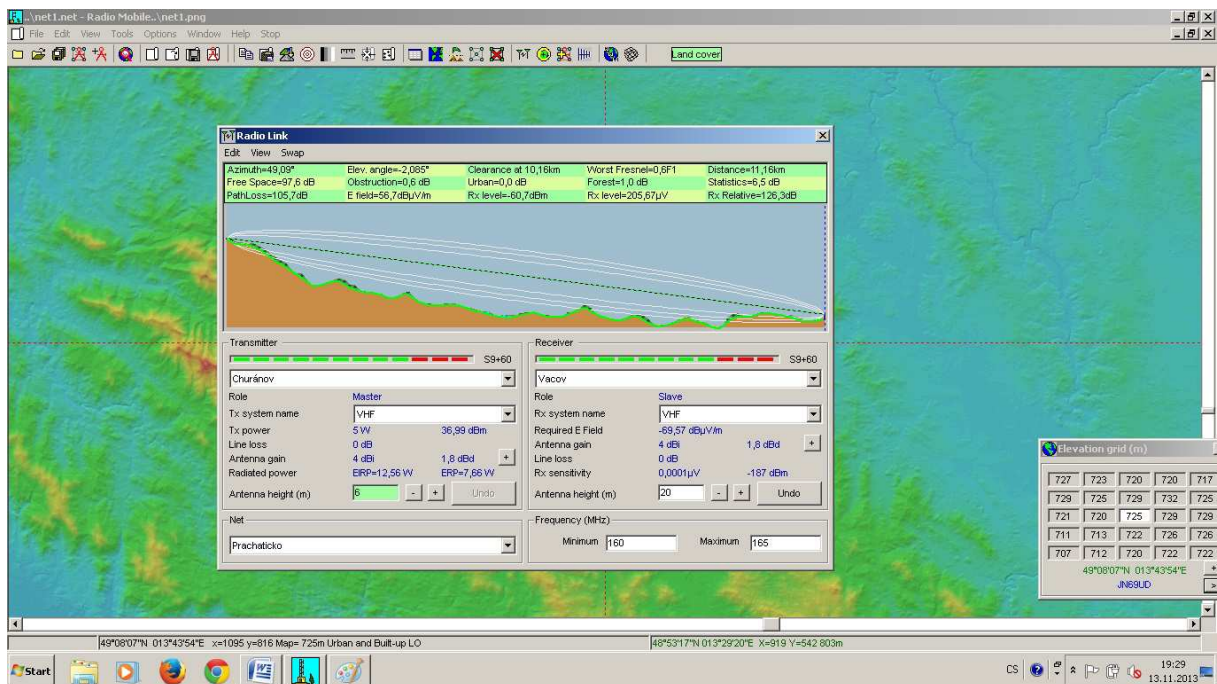
Na straně přijímače jsem zadal výšku antény 2 m. Vlastní měření v terénu budu následně provádět s měřicím přístrojem M5000 lux a magnetickou anténou přibližně ve výšce 2 m. Tato výška bude samozřejmě v případě umístění pevné vysílací/přijímací stanice v obci Stachy ve větší výšce. Bývá pravidlem, že se anténa umístí na střechu budovy.



Obr.8.20 Rádiové spojení Churáňov – Stachy

### 8.6.5.2 Simulace rádiového spojení Churáňov – Vacov

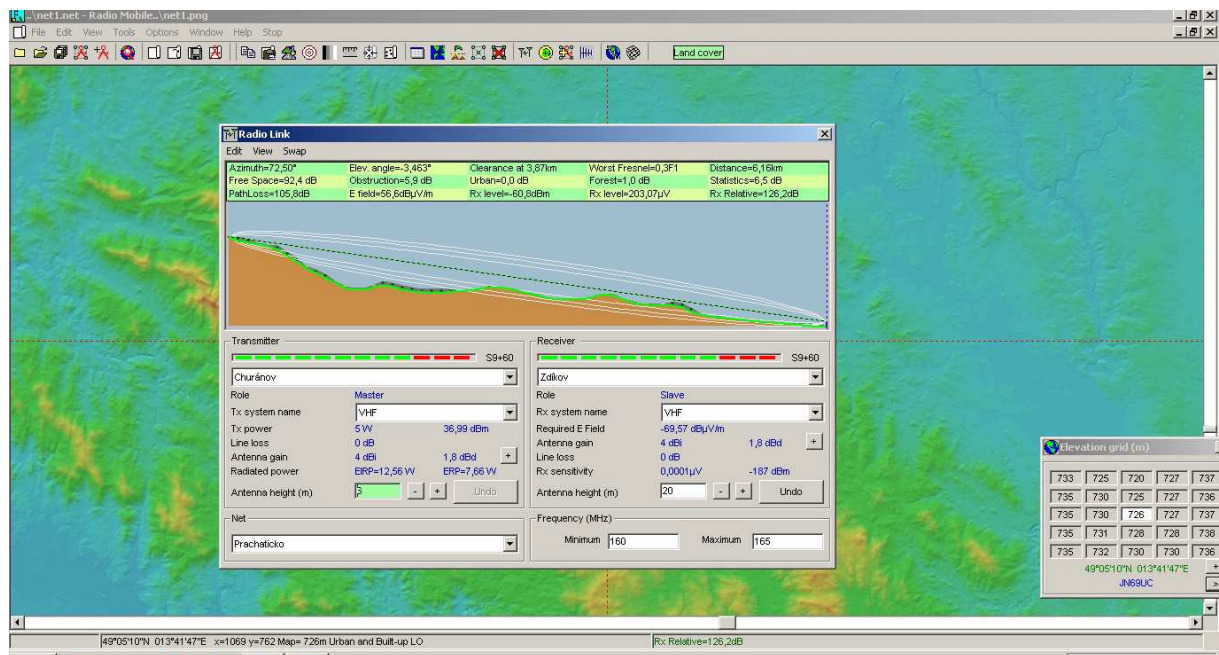
Druhou obcí, kterou požadujeme pokrýt rádiovým signálem, je obec Vacov. Tato obec se nachází ve vzdálenosti 11,16 km od vysílače Churáňov. Na straně přijímače jsem zvolil výšku umístění antény ve 20 m. Z výpočtu v programu Radio Mobile, na obr. 8.21, je patrné, že spojení mezi těmito vysílači je funkční. Pouze na prvních metrech od vysílače Churáňov je patrné, že terénní nerovnost zasahuje výrazněji do 1. Fresnelovy zóny.



Obr.8.21 Rádiové spojení Churáňov – Vacov

### 8.6.5.3 Simulace rádiového spojení Churáňov – Zdíkov

Poslední obcí, kterou požadujeme pokrýt rádiovým signálem, je obec Zdíkov, která se nachází ve vzdálenosti 6,16 km od vysílače Churáňov. Z obr.8.22 vyplývá, že spoj má přímou viditelnost, ale opět dochází k narušení 1. Fresnelovy zóny. Přesto by podle výpočtu *Radio Link* v programu Radio Mobile měla být síla signálu dostačující.



Obr.8.22 Rádiové spojení Churáňov – Zdíkov

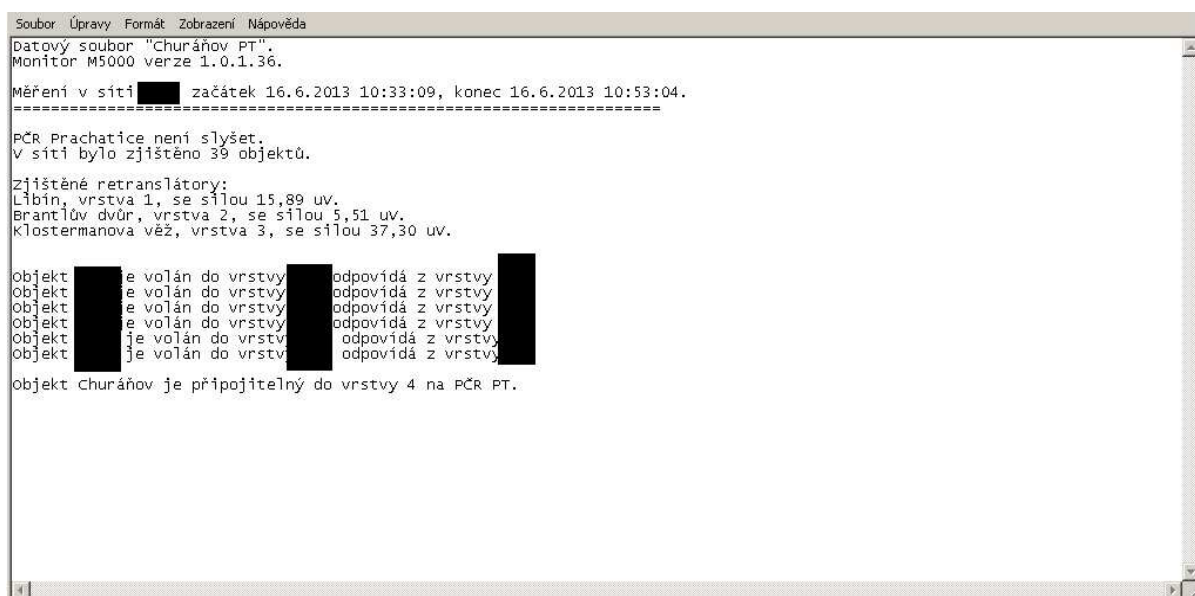
## 8.7 Shrnutí provedených simulací v programu Radio Mobile

Z provedených výpočtů simulací rádiového spojení v programu Radio Mobile je možné vyčíst dvě informace. Za prvé to, že ve většině případů se rádiový spoj jeví jako uskutečnitelný, neboť mezi vysílacím a přijímacím bodem bývá přímá viditelnost bez zbytečných odrazů. Na druhé straně však často dochází k narušení 1. Fresnelovy zóny blízkou nebo vzdálenější terénní nerovností v podobě zvlněné krajiny Šumavy. Následným měřením síly rádiového signálu pomocí monitorovacího modemu M5000 lux, zjistíme skutečné hodnoty rádiového signálu v daném prostředí na určených zeměpisných souřadnicích. V případě měření na retranslačních vysílačích bude měření prováděná pomocí antén, které jsou umístěné na stožárech ve výšce přibližně 40 m nad okolním terénem. U měření v prostoru obcí Stachy, Vacov a Zdíkov bude měření v terénu uskutečněno z osobního automobilu a pomocí magnetické antény upevněné na střeše tohoto vozu.

## 8.8 Měření monitorovacím modemem M5000 lux

### 8.8.1 Měření vysílače Churáňov

První měření bude provedeno na retranslačním vysílači Churáňov. Tímto měřením zjistíme, zda a jakou silou jsou slyšet okolní vysílače, které jsou připojeny do stejné rádiové sítě jako vysílač Churáňov. Monitorovací modem M5000 lux byl připojen na anténní svod s anténou, která je upevněna na střeše budovy ve výšce asi 6 m nad okolním terénem. Na obr.8.23 jsou znázorněny výsledky měření, které probíhalo po dobu 20 min. To je dostačující doba pro kvalitní analýzu spojení v okolí vysílače Churáňov. Některé údaje jsem záměrně začernil, neboť podléhají utajení v minimálním rozsahu stupně VYHRAZENÉ, podle zákona 412/2005 Sb.



```
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
Datový soubor "Churáňov PT".
Monitor M5000 verze 1.0.1.36.
Měření v síti [redacted] začátek 16.6.2013 10:33:09, konec 16.6.2013 10:53:04.
-----
PČR Prachatice není slyšet.
V síti bylo zjištěno 39 objektů.

Zjištěné retranslátory:
Libín, vrstva 1, se silou 15,89 uv.
Brantlův dvůr, vrstva 2, se silou 5,51 uv.
Klostermanova věž, vrstva 3, se silou 37,30 uv.

objekt [redacted] je volán do vrstvy [redacted] odpovídá z vrstvy [redacted]
objekt [redacted] je volán do vrstvy [redacted] odpovídá z vrstvy [redacted]
objekt [redacted] je volán do vrstvy [redacted] odpovídá z vrstvy [redacted]
objekt [redacted] je volán do vrstvy [redacted] odpovídá z vrstvy [redacted]
objekt [redacted] je volán do vrstvy [redacted] odpovídá z vrstvy [redacted]
objekt [redacted] je volán do vrstvy [redacted] odpovídá z vrstvy [redacted]
objekt Churáňov je připojitelný do vrstvy 4 na PČR PT.
```

Obr.8.23 Výsledky měření objektu Churáňov

Z výsledků měření je patrné, že vysílač Churáňov má možné připojení na vysílač Klostermanova věž a vysílač Libín. Vysílač Brantlův dvůr je slyšet pouze silou 5,51  $\mu\text{V}$ , což je pro kvalitní spojení nedostačující síla rádiového signálu. Za minimální hodnotu ověřenou praxí lze považovat 12  $\mu\text{V}$ . Vysílač Libín je s hodnotou 15,89  $\mu\text{V}$  sice nad minimální požadovanou hodnotou, ale je třeba si uvědomit, že síla signálu VKV se bohužel mění v závislosti na klimatických podmínkách. V den, kdy probíhalo měření, bylo počasí slunečné. Musíme počítat s tím, že při zhoršených klimatických podmínkách dojde k oslabení tohoto signálu. Proto bude vhodnější připojit vysílač Churáňov přes vysílač

Klostermanova věž, který je ve třetí vrstvě sítě. Klostermanova věž je napojena na vysílač Brantlův dvůr, jenž je aktivní ve druhé vrstvě. Brantlův dvůr je následně přes vysílač Libín, adresovaný do první vrstvy rádiové sítě, připojen na centrální server. Server je umístěn v nulté vrstvě, v budově Územního odboru PČR Prachatice. Podobné výsledky jsme získali i pomocí programu Radio Mobile.

### 8.8.2 Měření v obci Stachy, Vacov a Zdíkov

Po potvrzení možnosti připojení vysílače Churáňov do rádiové sítě, přes první nebo druhou vysílací trasu, pomocí monitorovacího modemu M5000 lux, je nutné nyní provést měření síly signálu tohoto vysílače přímo v terénu.



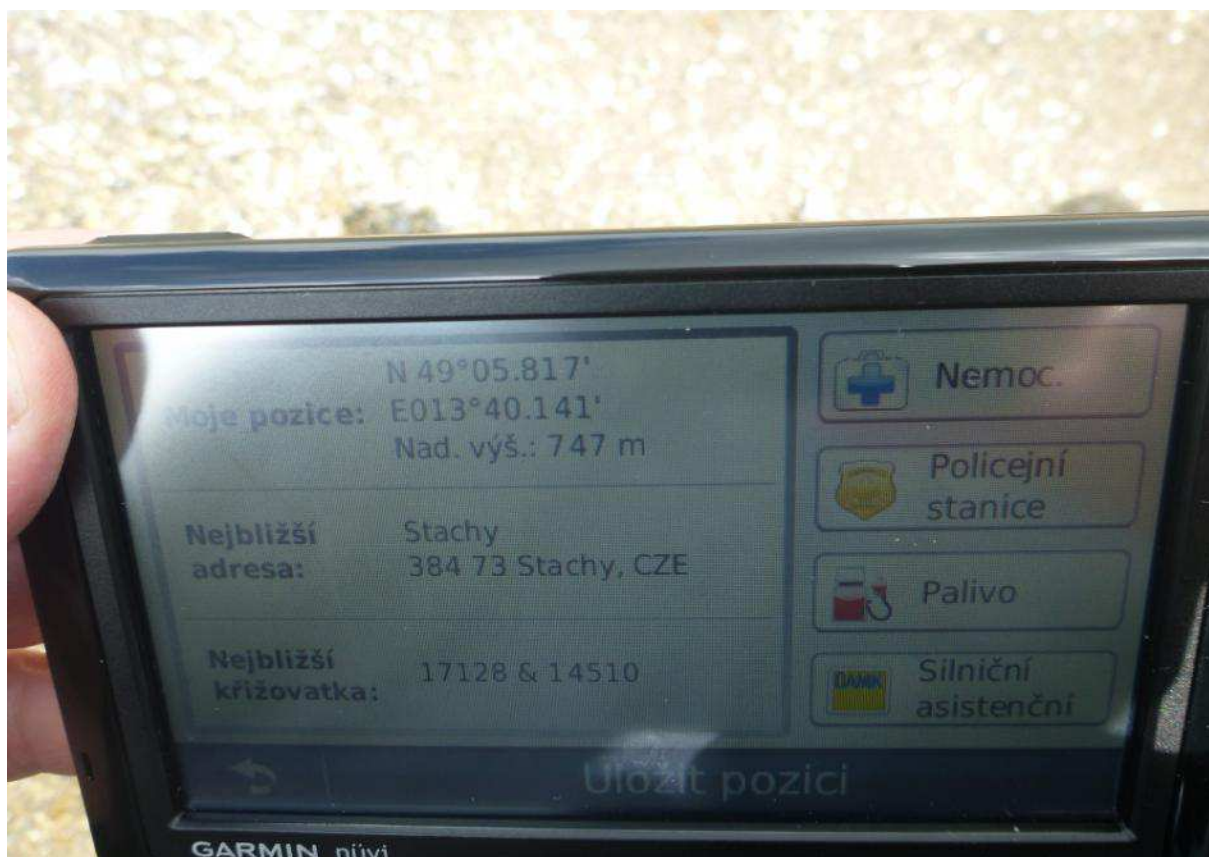
Obr.8.24 Měření signálu s M5000 lux v terénu

Modem M5000 lux odpojíme od anténního svodu. Ten následně zapojíme zpět do vysílací technologie, kterou tím opět uvedeme v činnost. To je důležité pro vlastní měření signálu v okolních obcích. Jak již bylo jednou uvedeno, modem M5000 lux má záložní baterii. Ta umožňuje využít toto zařízení i v terénu. Další možností je napájení modemu přes automobilní zásuvku o napětí 12V. Testerem baterie ACT GOLD IBT



PLUS se ujistíme o stavu záložní baterie a popřípadě ji vyměníme za novou. Při nižším napětí baterie dochází ke zkreslení výsledných hodnot a měření se tím stává nekvalitním a nepotřebným.

S nabitou baterií je možné odměřit modemem M5000 lux rádiový signál vysílače Churáňov v terénu. Na obr.8.24 je vidět, jak takové měření v terénu vypadá. Na střeše osobního automobilu je umístěna magnetická anténa, která je zkrácena na požadovanou vlnovou délku o frekvenci 160 MHz. Tato anténa je svedena do monitorovacího modemu M5000 lux. Ten je připojen do přenosného počítače. V počítači jsou zaznamenávány všechny důležité informace, týkající se měřené rádiové sítě. Pomocí autonavigace GPS Garmin vyhledáme místa, které jsme použili při simulacích rádiového spojení v programu Radio Mobile. Na obr.8.25 jsou zobrazeny tyto údaje pro obec Stachy. U obcí Vacov a Zdíkov jsem postupoval stejně, a proto již tento postup nebudu opět zmiňovat.



Obr.8.25 Nalezení GPS souřadnic obce Stachy

Výsledky měření modemem M5000 lux v obci Stachy jsou vyobrazeny na obr.8.26. Z naměřených hodnot vyplývá, že předpokládané objekty by bylo výhodnější napojit na vysílač Klostermanova věž, neboť síla signálu z vysílače Churáňov je na hraně použitelnosti. Přesto s přihlédnutím na skutečnost, že měření bylo prováděno ve výšce střechy automobilu, dá se předpokládat vylepšení těchto hodnot při umístění směrové antény na střechu z některých místních budov.

```
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
Datový soubor "stachy 17_6_2013 NEW.DB".
Monitor M5000 verze 1.0.1.36.
Měření v síti [redacted] začátek 17.6.2013 10:16:39, konec 17.6.2013 10:36:41.
=====
PCR PT není slyše
V síti bylo zjištěno 20 objektů.
Zjištěné retranslátory:
Churáňov, vrstva 2, se silou 10,55 uv.
Klostermanova věž, vrstva 3, se silou 20,65 uv.
Libín, vrstva 1, se silou 6 uv.
Brantlův Dvůr, vrstva 2, - není slyšet.
[redacted]
objekt lze připojit na retranslator Klostermanova věž se silou 20,65 uv do vrstvy 3.
```

Obr.8.26 Výsledky měření s M5000 lux v obci Stachy

Po odměření všech hodnot v obci Stachy se přesuneme dále a to do obce Vacov. Tato obec je vzdušnou čarou nejvíce vzdálená od vysílače Churáňov. Stejným postupem jako v prvním případě nalezneme místo, kde provedeme měření rádiového signálu. Na obr.8.27 jsou zobrazeny výsledky měření. Modem M5000 lux navrhuje připojit toto místo přes vysílač Churáňov. Zdá se zvláštní, že Vacov, který je téměř jednou tak vzdálený od vysílače Churáňov než Stachy, má lepší příjem než bližší Stachy. Je to způsobeno zasahováním terénní nerovnosti do 1. Fresnelovy zóny, které bylo znázorněné při výpočtu tohoto spoje v programu Radio Mobile.

Poslední měření proběhlo v obci Zdíkov. Výsledek měření modemem M5000 lux v této obci je na obr.8.28. Z výsledku měření je patrné, že objekty v této obci lze připojit na vysílač Churáňov se silou 18,24  $\mu$ V.



Obr.8.27 Výsledky měření s M5000 lux v obci Vacov



Obr.8.28 Výsledky měření s M5000 lux v obci Zdíkov

## 9 TECHNICKÁ REKONSTRUKCE VYSÍLAČE

Při navrhování rádiové trasy v okolí Prachatic bylo při měření rádiové sítě zjištěno, že retranslační vysílač Libín má větší útlum rádiového signálu, než by měl mít za standardních podmínek. Tento vysílač byl v plánu rekonstrukcí pro letošní rok, protože okolní lesní porost, jak je patrné z obr.9.1, začal svou výškou zasahovat do prostoru šíření rádiových vln z naší antény.



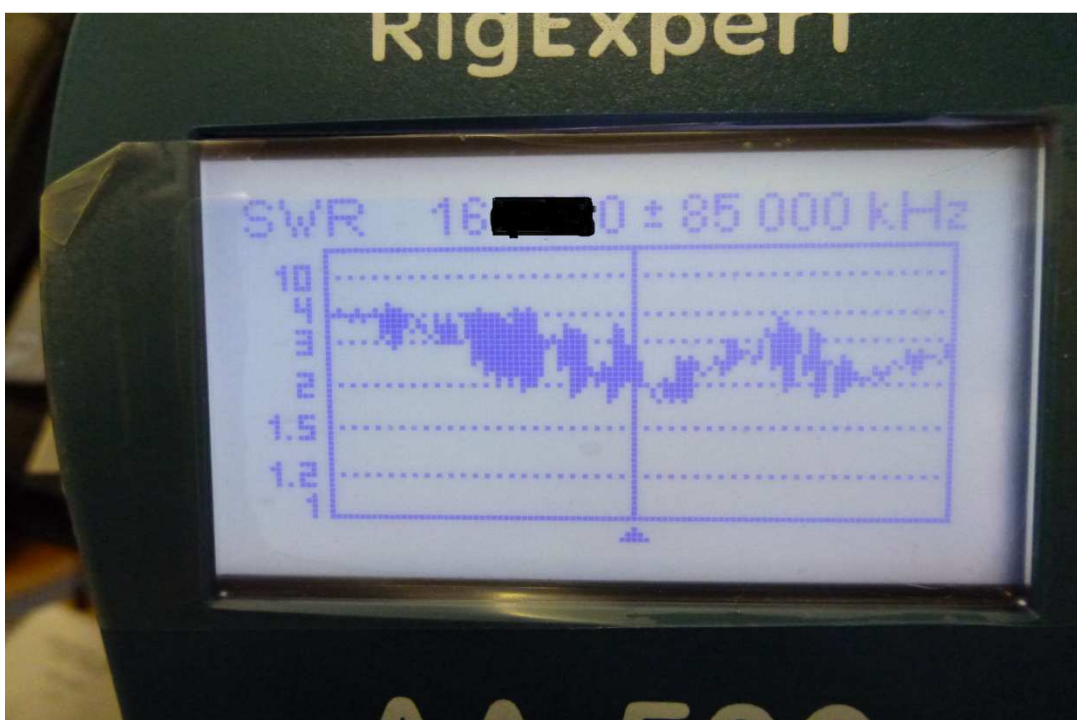
Obr.9.1 Umístění antény na vysílači Libín

Proto jsme se rozhodli posunout anténu nad tyto stromy do nově vybudované nadstavby stožáru.

## 9.1 Zjištění závady na rádiovém vysílači

Na každém retranslačním vysílači provádíme minimálně dvakrát do roka kompletní funkční zkoušku zařízení. Tato zkouška obsahuje:

- Odměření přívodního elektrického napájení digitálním multimetrem.
- Měření výstupního napájení 12 V ze zdroje vysílacího zařízení.
- Měření napájení, napětí a kapacity záložní baterie.
- Odměření SWR anténního svodu a proměření koaxiálního vedení.
- Optická kontrola antény a anténního svodu.
- Popřípadě naměření signálu modemem M5000 lux na daném anténním svodu.

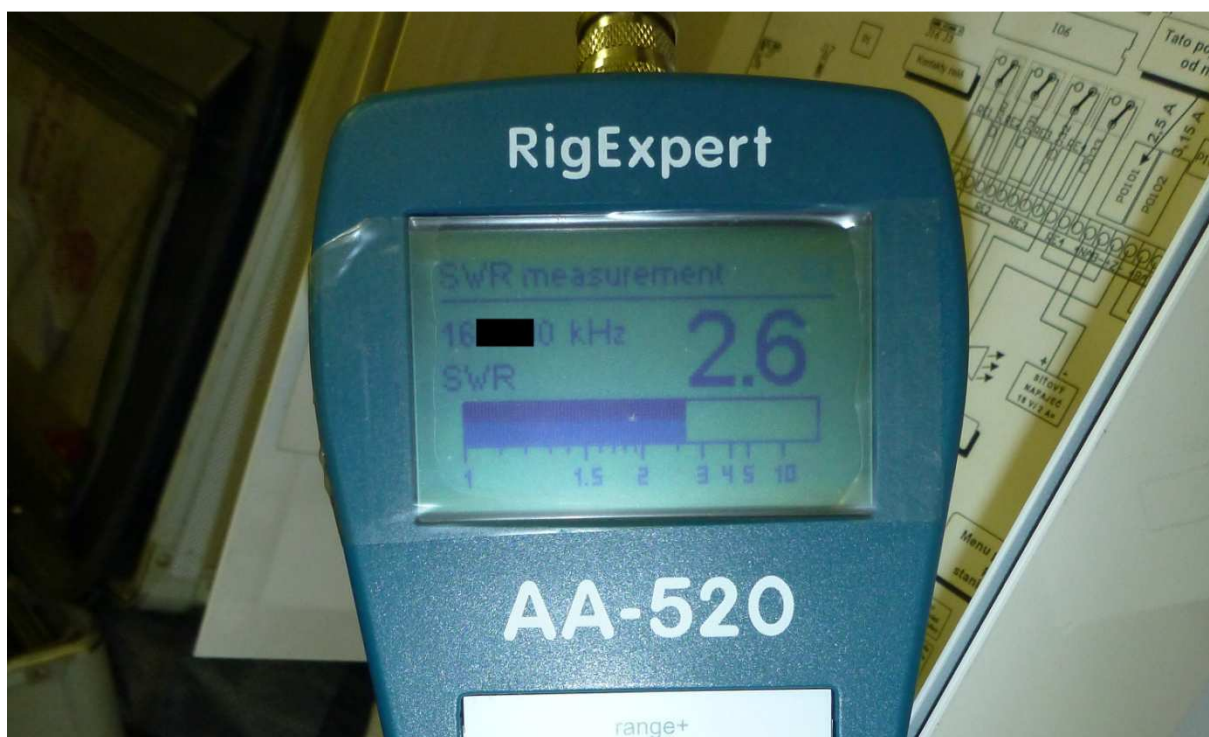


Obr.9.2 Poruchový průběh SWR na rádiovém vysílači

Závada nebo porucha se tedy zjistí při této funkční zkoušce, nebo informací z centrálního pracoviště, které vyhlásí poruchu vysílače, jestliže dojde ke krátkodobému či trvalému přerušení toku dat mezi tímto vysílačem a centrálním pracovištěm. Na obr.9.2 je vidět závada na anténním svodu, zjištěná anténním analyzátozem RIGEXPERT AA – 520. Jedná se o poměr mezi maximem a minimem napětí Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) neboli česky Poměr stojatých vln (PSV). Výrobce antén a koaxiálních kabelů udává vždy maximální hodnotu, která zaručuje správné fungování jejich

výrobků. Většinou se tato hodnota PSV daná výrobcem antény pohybuje do čísla 1,6. Z obr.9.2 je patrné, že k této hodnotě se ani nepřibližujeme. Měřením byla zjištěna hodnota 2,6, jak je vidět na obr.9.3, která znamená vážnou závadu na anténě nebo anténním svodu. Je několik příčin, které mohou způsobit tuto závadu, jako např.:

- Narušení koaxiálního kabelu mechanicky nebo dlouhodobým působením UV zářením a dalších klimatických vlivů.
- Nekvalitní montáž anténních konektorů, způsobujících útlum na vedení.
- Špatné umístění antény na stožáru. Anténa je zastíněná jinou anténou nebo konstrukcí stožáru.

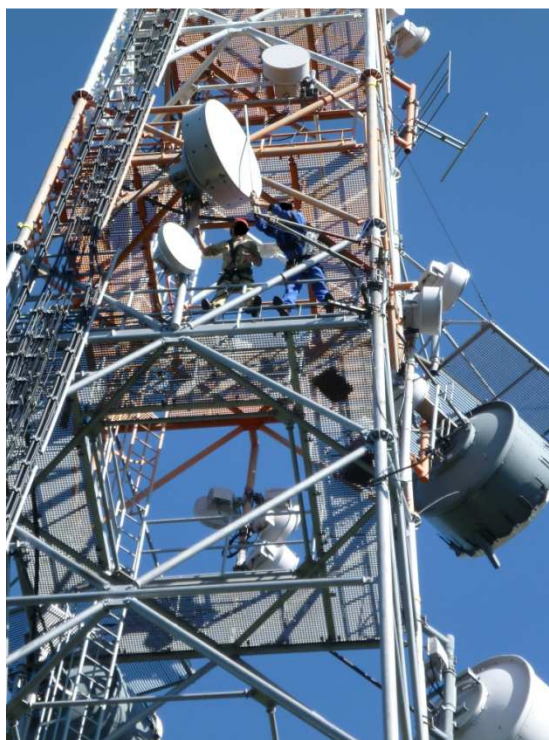


Obr.9.3 Poruchová hodnota SWR na vysílači

Na našem vysílači jsme zjistili, že koaxiální kabel byl proražen a vzniklým otvorem v izolačním plášti kabelu docházelo k zatékání vody do vnitřku kabelu. Tato vlhkost způsobuje oxidaci měděného opletení koaxiálního kabelu a jeho následného přerušení. Protože montáž antény a anténního svodu na tomto vysílači proběhla před 15 lety, vždy přistupujeme ke kompletní rekonstrukci včetně technologie vysílače s radiostanicí, která splňuje poslední požadované podmínky ČTÚ pro toto frekvenční pásmo.

## 9.2 Výměna antény a anténního svodu

Při montáži antény a koaxiálního svodu je třeba, aby technici, kteří provádějí tuto práci, měli zkoušky pro práci ve výškách. To znamená, že musí mít kompletní lezeckou výbavu potřebnou pro práce ve výškách, včetně znalostí důležitých pro splnění všech požadavků bezpečnosti práce. Výše uvedené podmínky technici na našem oddělení splňují. Není proto žádná překážka pro provedení rekonstrukce rádiového vysílače. Rekonstrukci anténního svodu a antény provádíme na vlastním stožáru nebo na stožáru, který je ve vlastnictví jiné společnosti, nejčastěji některého českého mobilního operátora.

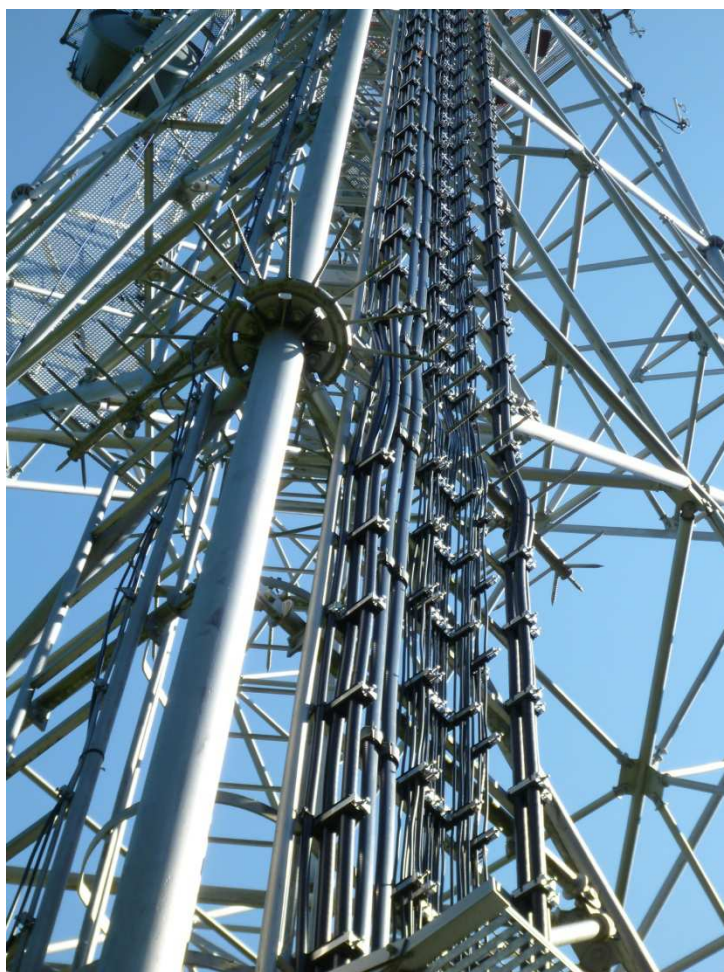


Obr.9.4 Montáž antény na rádiovém vysílači

Na obr.9.4 je zobrazena montáž antény na stožáru Českých radiokomunikací ve výšce 40 m. Jak je z tohoto obrázku patrné, stožár je celkem hustě osazen různými anténami. Proto je velmi důležité, aby naše nová anténa zůstala na stejném místě a stejné výšce jako ta původní. Jednak z toho důvodu, že mezi PČR a majitelem stožáru je uzavřena smlouva o užívání, kde je uvedeno jak umístění antény, průběh svodu koaxiálního kabelu, tak i přesné místo upevnění vysílače uvnitř technologické budovy. Za druhé z toho důvodu, že při přesunu antény do jiných prostor stožáru může docházet

k vzájemnému ovlivňování různých technologií a tím pádem k jejich vzájemnému rušení rádiového signálu.

Naproti tomu vysílač Libín je v majetku MV. Přesto není možné přemísťovat anténu bez toho, abychom neprovedli kontrolní měření rádiového signálu a případně i oslovili majitele okolních zařízení. Vyhneme se tak následným problémům, kdy dojde k narušení vysílacího signálu ostatních uživatelů vysílače. Jakmile máme všechna tato měření zdárně za sebou, je možné začít s rekonstrukcí anténního svodu a antény.



Obr.9.5 Místo pro svod koaxiálního kabelu

Anténní svod musí být veden v prostoru k tomu určeném. Většinou se jedná o kovové koryto technologicky upravené pro upevnění koaxiálního kabelu, jak je znázorněno na obr.9.5. Koaxiální kabel je ke konstrukci stožáru připevněn svorkami, které jsou z vnitřku opatřeny plastovou ochranou proti mechanickému narušení pláště koaxiálního kabelu.



Na obr.9.6 je šipkou znázorněné místo s nově namontovanou všesměrovou anténou, která se nachází nad okolním lesem. Umístěním antény do této výšky je zajištěno i lepší spojení mezi blízkými retranslačními vysílači a centrálním pracovištěm v budově PČR v Prachaticích.



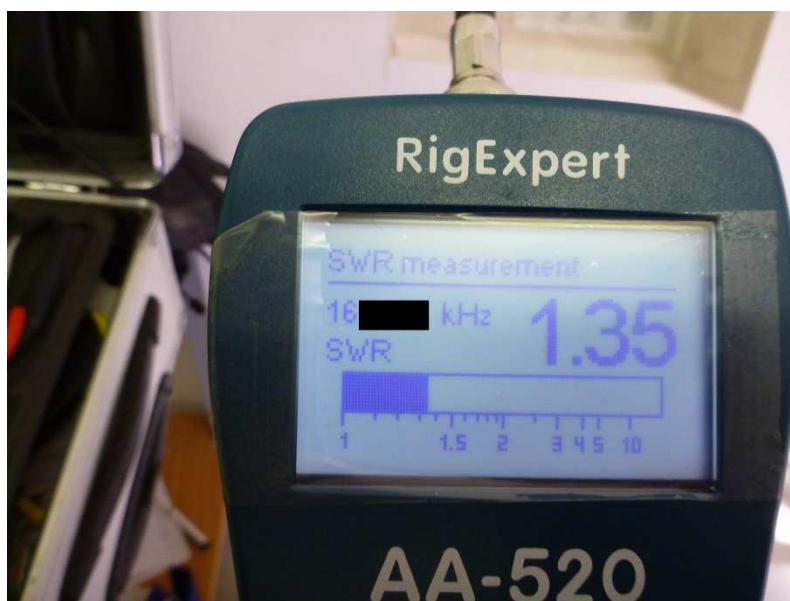
Obr.9.6 Nová anténa na vysílači Libín

Při vstupu do technologické místnosti je nutné využít průchod pro vstup anténních svodů do budovy. Ten je opatřen plastovým prostupem, jenž zabrání mechanickému narušení pláště koaxiálního kabelu. Před vstupem do technologické místnosti se anténní svod uzemní na společnou zem. Tímto přizemněním je ochráněno vysílací zařízení umístěné uvnitř budovy. Na obr.9.7 je zobrazena technologická místnost na vysílači Libín. V klimatizované místnosti je zleva naznačen průchod do místnosti, od kterého je po kovovém roštu přiveden anténní svod k vysílacímu zařízení. Tento svod z koaxiálního kabelu RG 213U je zakončen konektorem typu N nebo PL a připojen k radiostanici ve vysílači.

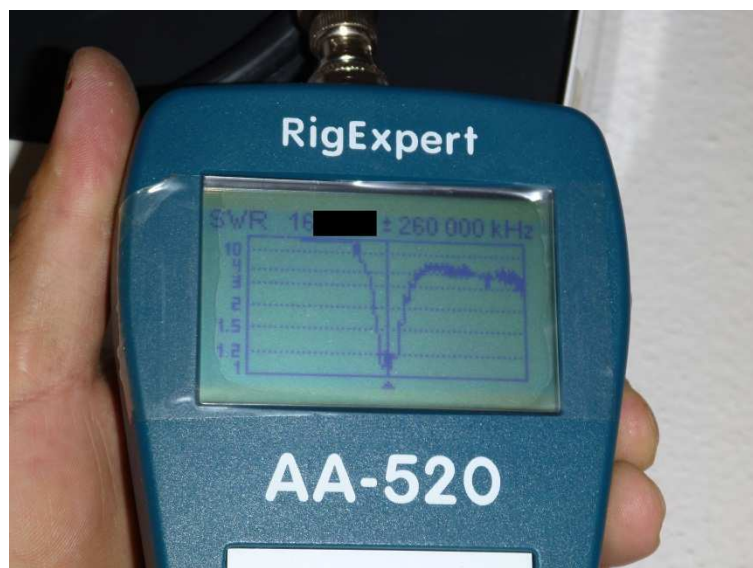


Obr.9.7 Technologická místnost na vysílači Libín

Po montáži anténního svodu je nutné opět změřit jeho PSV s připojenou anténou. Připojením anténního analyzátoru RIGEXPERT AA – 520 a spuštěním analýzy PSV jsme zjistili výsledky, které jsou patrné z obr.9.8 a obr.9.9.



Obr.9.8 Hodnota SWR nové antény na vysílači Libín



Obr.9.9 Grafické zobrazení průběhu SWR vysílače Libín

Z výsledků je patrné, že výměna antény a anténního svodu se zdařila a hodnota SWR je menší než maximálně povolená hodnota 1,6, kterou udává výrobce antény. Tím je zaručen kvalitní přenos dat v rádiové síti 160 MHz.

### 9.3 Měření modemem M5000 lux vysílač Libín

Po změření PSV anténního svodu s anténou na vysílači Libín se dříve, než se anténa zapojí do radiostanice vysílače, připojí k modemu M5000 lux, kterým se zjistí rádiová slyšitelnost okolních vysílačů. Pro porovnání jsou na obr.9.10 a obr.9.11 zobrazeny výsledky měření původní antény a antény po rekonstrukci. Z těchto výsledků je patrné, že došlo ke zlepšení rádiové slyšitelnosti tohoto vysílače. Síla signálu pro připojení vysílače Libín na centrální pracoviště PČR PT se proti dřívějším necelých 150  $\mu\text{V}$  zlepšila na téměř 600  $\mu\text{V}$ . Další zesílení slyšitelnosti se projevilo i na okolních retranslačních vysílačích včetně objektů, které jsou v těsné blízkosti vysílače Libín, avšak z důvodů zákona o utajovaných informacích jsou v obr.9.10 a obr.9.11 úmyslně začerněny.

```

Datový soubor "Libin PT".
Monitor M5000 verze 1.0.1.36.

Měření v síti [redacted] začátek 18.6.2013 10:33:09, konec 18.6.2013 10:45:04.
=====
PCR PT je slyšet se silou 149,87 uv.
V síti bylo zjištěno [redacted] objektů.

Zjištěné retranslátory:
Brantlův dvůr, vrstva 2, se silou 18,89 uv.
Churánov, vrstva 4, se silou 13,51 uv.
Klostermanova věž, vrstva 3, se silou 15,30 uv.
[redacted]

Neslyším [redacted] retranslátoru [redacted].
Neslyším [redacted] retranslátoru [redacted].

objekt [redacted]
objekt [redacted]
objekt [redacted]
objekt [redacted]
objekt [redacted]
objekt [redacted]

objekt je připojitelný [redacted] na PCR PT, slyšitelný silou 149,87 uv.

```

Obr.9.10 Výsledky měření s M5000 lux původního anténního svodu na vysílači Libín

```

Datový soubor "Libin PT".
Monitor M5000 verze 1.0.1.36.

Měření v síti [redacted] začátek 10.7.2013 14:38:21, konec 10.7.2013 14:52:24.
=====
PCR PT je slyšet se silou 599,92 uv.
V síti bylo zjištěno [redacted] objektů.

Zjištěné retranslátory:
Brantlův dvůr, vrstva 2, se silou 38,67 uv.
Churánov, vrstva 4, se silou 18,67 uv.
Klostermanova věž, vrstva 3, se silou 21,15 uv.
[redacted] není slyšet.
[redacted] není slyšet.

Neslyším [redacted] retranslátoru [redacted].
Neslyším [redacted] retranslátoru [redacted].

Objekt [redacted] z vrstvy 1.
Objekt [redacted] z vrstvy 1.
Objekt [redacted] z vrstvy 1.
Objekt [redacted] z vrstvy 2.
Objekt [redacted] z vrstvy 1.
Objekt [redacted] z vrstvy 1.
Objekt [redacted] z vrstvy 1.
Objekt [redacted] z vrstvy 1.
Objekt [redacted] z vrstvy 1.
Objekt [redacted] z vrstvy 2.
Objekt [redacted] z vrstvy 1.
Objekt [redacted] z vrstvy 2.
Objekt [redacted] z vrstvy 1.

objekt je připojitelný na PCR PT, slyšitelný silou 599,92 uv.

```

Obr.9.11 Výsledky měření s M5000 lux nového anténního svodu na vysílači Libín

## 10 Závěr

Všechny cíle diplomové práce, které byly vytyčeny na začátku, byly splněny. Ústředním bodem diplomové práce byla praktická část, která se zaměřila na vybudování nového retranslačního vysílače nutného k pokrytí území v okrese Prachatice. Vybudovaný vysílač na vrcholu Churáňova byl nejprve testován v programu Radio Mobile. Simulace těchto rádiových spojů byla později potvrzena terénním měřením s modemem M5000 lux. Tím bylo dokázáno, že nástroj Radio Mobile v zásadě dohnal své kolegy z komerční sféry. Je nutno poznamenat, že například komerční systém Radio Lab má jednodušší a přehlednější ovládání s českým manuálem a technickou podporou v ČR. To systém Radio Mobile bohužel nenabízí.

## Seznam použitých obrázků

Obr.3.1 Socha Pheidippidese v Řecku.....	10
Obr.3.2 Marches Guglielmo Marconi se svým bezdrátovým telegrafem.....	12
Obr.3.3 Kbelický vysílač Radiojournalu v roce 1923.....	14
Obr.3.4 Koncese pro volací znak OK1AA.....	14
Obr.4.1 Elektromagnetické příčné vlnění.....	16
Obr.4.2 Elektromagnetický oscilátor s LC obvodem.....	18
Obr.4.3 Průběh dějů na oscilačním obvodu .....	19
Obr.4.4 Tlumené kmitání proudu a napětí .....	19
Obr.4.5 Elektromagnetické vlnění mezi dvěma vodiči.....	20
Obr.4.6 Vznik elektromagnetického dipólu .....	21
Obr.4.7 Výškové vrstvení atmosféry pro elektromagnetické vlnění .....	22
Obr.4.8 Šíření vlnění prostorem.....	23
Obr.4.9 Vznik stojatého elektromagnetického vlnění .....	24
Obr.4.10 Interference elektromagnetického vlnění .....	24
Obr.4.11 Fresnelova zóna mezi anténami.....	26
Obr.4.12 Fresnelova zóna narušena budovou .....	27
Obr.6.1 Všesměrové antény ZAE-31.....	36
Obr.6.2 Vyzařovací charakteristika všesměrové antény .....	36
Obr.6.3 Sférická souřadná soustava .....	37
Obr.6.4 Směrová antény typu YAGI.....	38
Obr.6.5 Směrová charakteristika antény YAGI ve V a H pohledu.....	38
Obr.7.1 Digitální multimetr METRAHIT X-TRA.....	39
Obr.7.2 Radiostanice ALINCO DJ-596 MK2 .....	41
Obr.7.3 Tester akumulátorů ACT GOLD IBT PLUS .....	42
Obr.7.4 Měřič SWR SX – 400N DIAMOND.....	43
Obr.7.5 Anténní analyzátor RIGEXPERT AA – 520 .....	44
Obr.7.6 Monitorovací modem M5000 lux .....	45
Obr.8.1 Vyznačení prostoru bez radiového pokrytí v mapě.....	48
Obr.8.2 Nastavení souřadnic GPS v systému Radio Mobile.....	51
Obr.8.3 Nastavení hodnot v menu <i>Map properties</i> .....	52
Obr.8.4 Nalezení nejvyšší nadmořské výšky v zobrazené mapě.....	52

Obr.8.5	Provizorní umístění antény pro vlastní měření.....	53
Obr.8.6	GPS navigace s pozicí Churáňova.....	54
Obr.8.7	Zadání polohy vysílače v menu <i>Units properties</i> .....	55
Obr.8.8	Zobrazení nabídky příkazu <i>Polar radio coverage</i> .....	56
Obr.8.9	Barevná škála přiřazená k hodnotám radiového signálu .....	57
Obr.8.10	Zobrazení radiového pokrytí ve výškopisné map .....	58
Obr.8.11	Nastavení zobrazení povrchu mapy .....	59
Obr.8.12	Zobrazení výpočtu pokrytí ve formátu <i>White</i> .....	59
Obr.8.13	Zobrazení výpočtu pokrytí v <i>Google Earth</i> .....	60
Obr.8.14	Příkaz <i>Radio link</i> v systému Radio Mobile .....	62
Obr.8.15	Rádiové spojení Churáňov – Libín .....	62
Obr.8.16	Změna umístění antény do výšky 100 m.....	63
Obr.8.17	Rádiové spojení Churáňov – Klostermanova věž .....	65
Obr.8.18	Rádiové spojení Klostermanova věž – Brantlův dvůr.....	66
Obr.8.19	Zadání GPS souřadnic obcí do programu Radio Mobile .....	67
Obr.8.20	Rádiové spojení Churáňov – Stachy .....	68
Obr.8.21	Rádiové spojení Churáňov – Vacov.....	69
Obr.8.22	Rádiové spojení Churáňov – Zdíkov.....	70
Obr.8.23	Výsledky měření objektu Churáňov.....	71
Obr.8.24	Měření signálu s M5000 lux v terénu .....	72
Obr.8.25	Nalezení GPS souřadnic obce Stachy .....	73
Obr.8.26	Výsledky měření s M5000 lux v obci Stachy .....	74
Obr.8.27	Výsledky měření s M5000 lux v obci Vacov.....	75
Obr.8.28	Výsledky měření s M5000 lux v obci Zdíkov .....	75
Obr.9.1	Umístění antény na vysílači Libín .....	76
Obr.9.2	Poruchový průběh SWR na rádiovém vysílači .....	77
Obr.9.3	Poruchová hodnota SWR na vysílači.....	78
Obr.9.4	Montáž antény na rádiovém vysílači .....	79
Obr.9.5	Místo pro svod koaxiálního kabelu.....	80
Obr.9.6	Nová anténa na vysílači Libín .....	81
Obr.9.7	Technologická místnost na vysílači Libín.....	82
Obr.9.8	Hodnota SWR nové antény na vysílači Libín.....	82
Obr.9.9	Grafické zobrazení průběhu PSV vysílače Libín.....	83

Obr.9.10 Výsledky měření s M5000 lux původního anténního svodu na vysílači	
Libín .....	84
Obr.9.11 Výsledky měření s M5000 lux nového anténního svodu na vysílači	
Libín .....	84



## Seznam tabulek

Tab.4.1 Označení frekvenčních pásem pro rádiový přenos dle ČSN IEC 60050-713 .....	21
--	----

## **Seznam použitých zkratk**

- AČR** - Armáda České republiky
- AC** - Alternating Current (střídavý proud)
- CEPT** - Konference evropských správ pošt a telekomunikací
- ČR** - Česká republika
- ČSN** - České technické normy
- ČTÚ** - Český telekomunikační úřad
- DC** - Direct Current (stejnoseměrný proud)
- DV** - dlouhé vlny
- e.r.p.** - effective radiated power – celkový výkon
- EDV** - extrémně dlouhé vlny
- EHF** - extremely high frequency
- EKV** - extrémně krátké vlny
- GIS** - geografický informační systém
- GHz** - gigahertz
- GPS** - Global Positioning System
- HF** - high frequency
- Hz** - hertz
- HZS** - Hasičský záchranný systém
- ITU** - International Telecommunication Union
- kHz** - kilohertz
- km** - kilometr
- KV** - krátké vlny
- kW** - kilowatt
- LED** - Light Emitting Diode
- LF** - long frequency
- MF** - medium frequency
- MHz** - megahertz
- MV** - Ministerstvo vnitra
- NASA** - National Aeronautics and Space Administration
- PČR** - Policie České republiky
- PSV** - poměr stojatých vln
- SHF** - super high frequency

**SKV** – super krátké vlny  
**SRTM** - Shuttle Radar Topography Mission  
**SV** – střední vlny  
**SWR** – Standing Wave Ratio  
**TV** – televizní  
**UHF** – ultra high frequency  
**UKV** – ultra krátké vlny  
**ULF** - ultra long frequency  
**V** – volt  
**VDV** – velmi dlouhé vlny  
**VLF** – very long frequency  
**VHF** - very high frequency  
**VSWR** – Voltage Standing Wave Ratio  
**W** – watt  
**YAGI** – směrová anténa  
**ZAE 31** – základnová anténa typu E  
**μV** - mikrovolt  
**3D** – trojrozměrný

## Seznam použité literatury

- [1] <http://openstudy.org.ua/posts/26026/> 18.8.2013
- [2] <http://audio16.wordpress.com/2012/07/13/does-fm-mean-full-of-music/>  
18.8.2013
- [3] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rozhlas> 12.9.2013
- [4] <http://www.radiosvet.wz.cz/kbely/kbely.html> 25.9.2013
- [5] <http://www.radiosvet.wz.cz.html> 6.10.2013
- [6] Svoboda, S. a kol.: *Přehled středoškolské fyziky*, Prometheus Praha, 2001
- [7] Pechač, P., Zvánovec, S.: *Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů*, BEN- technická literatura Praha, 2007
- [8] <http://www.bezdratovepripojeni.cz/cs/cz/clanky/utlum-prostredi> 5.12.2013
- [9] [http://old.i4wifi.cz/?inc=inc/\\_doc/calc/calc.htm#fresnel](http://old.i4wifi.cz/?inc=inc/_doc/calc/calc.htm#fresnel) 5.12.2013
- [10] [http://wiki.pvfree.net/index.php/Fresnelova\\_z%C3%B3na](http://wiki.pvfree.net/index.php/Fresnelova_z%C3%B3na) 6.11.2013
- [11] <http://www.ctu.cz/> 10.11.2013
- [12] <http://www.g5-cz.com/zakladnove-vsesmerove-anteny.php> 8.1.2014
- [13] <http://www.tcz.cz/katalog/pdf/ZA31.pdf> 8.1.2014
- [14] LUKEŠ, Z. *Antény a šíření elektromagnetických vln*, Přednáškový text. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007
- [15] <http://www.rc-eagleeye.cz/rc-eagleeye/0/0/2/70> 15.1.2014
- [16] *Manuál modemu M5000 lux*