

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky**

**Návrh metodiky posuzování kvality služeb mobilních sítí  
Methodology Proposal of Quality Assessment in Mobile Network**

**2012/2013**

**Marek Kohut**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Kohut**  
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie  
Studijní obor: 2612R059 Mobilní technologie  
Téma: **Návrh metodiky posuzování kvality služeb mobilních sítí**  
**Methodology Proposal of Quality Assessment in Mobile Network**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s technologiemi Asterisk a OpenBTS
2. Metodika posuzování kvality řeči (PESQ, POLQA)
3. Návrh a realizace experimentu pro měření kvality řeči s OpenBTS
4. Vyhodnocení metodiky a experimentu

Seznam doporučené odborné literatury:


1. WINTERMEYER, Stefan a Stephen BOSCH. Practical Asterisk 1.4 and 1.6: the definitive guide. 3rd ed. Upper Saddle River: Addison-Wesley, 2009, xxxiii, 793 s. ISBN 978-0-321-52566-6.
2. LEIF MADSEN, Jim Van Meggelen a Stephen BOSCH. Asterisk: the definitive guide. 3rd ed. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc, 2009, xxxiii, 793 s. ISBN 05-965-1734-3.
3. OpenBTS Public Release
4. ITU-T Recommendation P.862, Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs, <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862-200102-I/en>
5. Recommendation ITU-T P.863, Perceptual objective listening quality assessment, <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.863-201101-I/en>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavol Partila**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 6.5.2013

  
.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Pavlovi Partilovi za odbornou pomoc, projevenou ochotu a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Tato práce popisuje testování kvality hovorů mezi mobilními zařízeními přihlášenými do sítě vytvořené pomocí pobočkové ústředny Asterisk a stanice USRP N210, která slouží jako vysílač pro OpenBTS - softwarovou implementaci GSM přístupového bodu. Dále jsou hovory testovány pomocí metody PESQ a následně jejich výsledky srovnány s výsledky účastníků hovorů zaznamenaných pomocí IVR služby. Toto srovnání slouží pro posouzení, o kolik se výsledky měření liší a jestli je testování kvality řeči pomocí metody PESQ vhodné i pro testování mobilních zařízení v síti OpenBTS a jak by případně mohla služba IVR společně s metodou PESQ zlepšit testování kvality řeči v mobilních sítích.

## **Klíčová slova**

Asterisk, OpenBTS, PESQ, POLQA, MOS, VoIP, Testování kvality řeči.

## **Abstract**

This thesis describes a call quality testing between mobile stations, registered in network formed by Asterisk private branch exchange and station USRP N210, which serves as transceiver for OpenBTS - software implementation of GSM access point. Furthermore, the calls are tested with PESQ method and their results are compared with results of the call participants results, recorded by IVR service. This comparison serves for assessing, if the PESQ method is suitable for testing the quality of speech in OpenBTS network, how much are measured results different and also how could possibly be PESQ method with IVR service used for better call quality assessment in mobile networks.

## **Keywords**

Asterisk, OpenBTS, PESQ, POLQA, MOS, VoIP, Speech quality testing.

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
<b>VoIP</b>	Voice over Internet Protocol	Internetová telefonie
<b>ITU-T</b>	International telecommunication union	Mezinárodní telekomunikační unie
<b>PBX</b>	Private branch exchange	Pobočková ústředna
<b>IVR</b>	Interactive voice response	Interaktivní hlasový průvodce
<b>DTMF</b>	Dual-tone multi-frequency signaling	Tónová volba
<b>OpenBTS</b>	Open Base Transceiver Station	Softwarová implementace GSM přístupového bodu
<b>PESQ</b>	Perceptual Evaluation of Speech Quality	Metoda pro vyhodnocování kvality řeči
<b>POLQA</b>	Perceptual Objective Listening Quality Assessment	Metoda pro vyhodnocování kvality řeči
<b>MOS</b>	Mean opinion score	Bodová stupnice pro měřící metody
<b>USRP</b>	Universal Software Radio Peripheral	Počítačem hostovaná rádiová periferie

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Asterisk a OpenBTS.....	2
	2.1 Asterisk.....	2
	2.1.1 Služba IVR.....	4
	2.2 OpenBTS.....	5
3	Metodika posuzování kvality řeči.....	7
	3.1 PESQ (P.862).....	7
	3.1.1 Průběh metody PESQ.....	7
	3.1.2 Výběr vhodných vzorků pro testování pomocí PESQ.....	9
	3.2 POLQA.....	11
	3.2.1 Průběh metody POLQA (P.863).....	11
	3.2.2 Výběr vhodných vzorků pro testování pomocí POLQA.....	11
	3.3 Rozdíly mezi PESQ a POLQA.....	12
4	Návrh a realizace experimentu pro měření kvality řeči s OpenBTS.....	13
	4.1 Instalace a konfigurace softwaru.....	13
	4.1.1 Ubuntu 12.10.....	13
	4.1.2 Asterisk 1.8.....	13
	4.1.3 OpenBTS.....	15
	4.1.4 Smqueue.....	16
	4.1.5 Subscriber registry.....	16
	4.1.6 Konfigurace Asterisku se soubory OpenBTS.....	16
	4.2 Registrace účastníků do sítě OpenBTS.....	17
	4.3 Porovnání kvality řeči pomocí metody PESQ.....	19
	4.3.1 Zaznamenání testovaného hovoru.....	19
	4.3.2 Časové srovnání nahrávek.....	20
	4.3.3 Zpracování hovorů metodou PESQ.....	21
	4.4 Zpětné volání pobočkové ústředny Asterisk po dokončení hovoru.....	22



4.5	IVR služba s dotazníkem na kvalitu hovoru.....	23
5	Vyhodnocení metodiky a experimentu.....	27
5.1	Průběhy měřených hovorů.....	27
5.2	Zhodnocení měřených hovorů.....	28
6	Závěr.....	30
7	Seznam použité literatury.....	31

# 1 Úvod

Bez mobilních technologií si dnes jen těžko dokážeme představit náš život. Hovory pomocí mobilních telefonů se stály nutností, ať už pro chod mnoha organizací nebo pro udržování kontaktu mezi lidmi. V dnešní době je již možné sestavit si vlastní mobilní síť pomocí pobočkové ústředny a specializovaného softwaru a hardwaru. Stejně jako dostupnost pomocí mobilních komunikačních prostředků, je ovšem důležitá i kvalita nabízených služeb, především kvalita hovoru.

V této práci se budu zabývat právě otázkou kvality řeči ve vlastní mobilní síti a budu se snažit popsat metody, které jsou vhodné k jejímu testování. Dále se pak zaměřím na názory samotných účastníků, kteří jsou registrovaní do této mobilní sítě. Jejich názory na kvalitu řeči během hovorů zaznamenám a porovnáám s výsledky, které vznikly testováním hovorů pomocí specializovaných algoritmických postupů. Na závěr zhodnotím, jak moc se liší výsledky algoritmu od názorů samotných účastníků a zdali je vůbec možné a vhodné algoritmus pro testování kvality řeči ve vlastních mobilních sítích použít, a jak by případně mohla kombinace metody odhadu kvality řeči PESQ a služby IVR posloužit ke zlepšení zjišťování kvality hovoru v mobilních sítích.

Práce samotná je členěná do čtyř částí. Nejprve je představen software pobočkové ústředny Asterisk i s jeho funkcí interaktivního hlasového průvodce pomocí kterého probíhá sběr dat od účastníků a následně i software OpenBTS který byl použit pro vytvoření vlastní mobilní sítě.

Druhá část se zabývá popisem metod, pomocí kterých je možno předvídat výslednou kvalitu řeči, popisuje systém hodnocení který je u těchto metod použit, a také jsou zde zmíněny jednotlivé rozdíly mezi těmito metodami.

Ve třetí části se nachází konfigurace vlastní mobilní sítě s pobočkovou ústřednou Asterisk a softwarem OpenBTS pro sestavení, otestování a zaznamenání hovoru mezi dvěma mobilními stanicemi. Jsou zde zmíněny i nástroje, které byly použity pro ohodnocení kvality řeči a uvedeny jejich výsledky.

Čtvrtá část se zabývá vyhodnocením a analýzou uskutečněných hovorů, porovnání výsledků naměřené kvality řeči a zhodnocení použitelnosti těchto metod v mobilních sítích. Dále pak použití metody PESQ v kombinaci s IVR a jejich možných přínosů pro testování v mobilních sítích.

## 2 Asterisk a OpenBTS

### 2.1 Asterisk

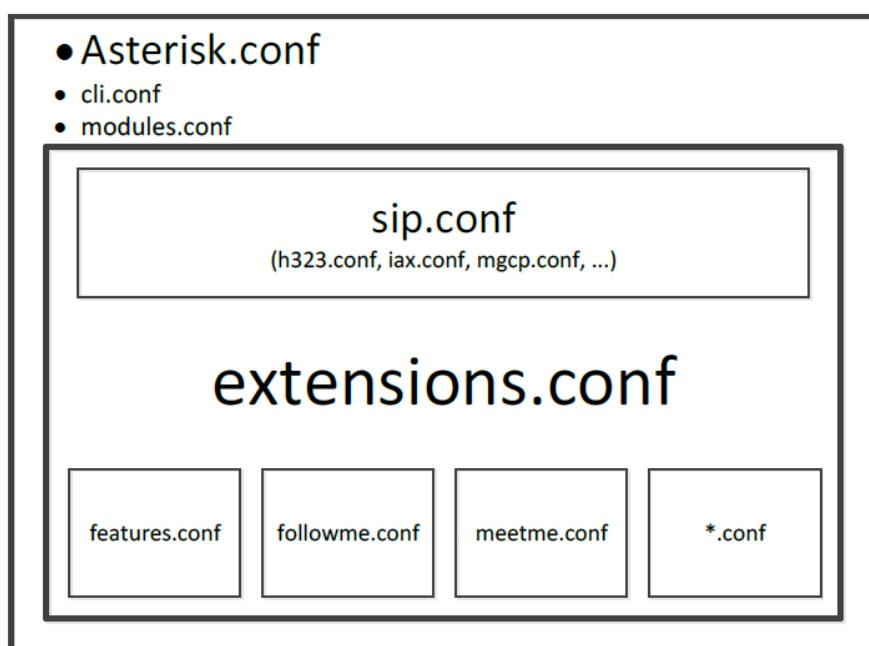
Asterisk je open-source projekt který umožňuje softwarově implementovat pobočkovou ústřednu pomoci běžného počítače. Tato softwarová PBX je založená na operačním systému Linux a je napsána v jazyku C.

Platforma Asterisk používá k obsluze hovorů (a dalších mnoha služeb) tzv. Dialplan, podle kterého určuje, jak zpracovat příchozí hovor, případně na jaké číslo jej přeměrovat a také může sloužit k obsluze IVR služby.

Pro správnou funkci Asterisku jsou také potřeba moduly, které určují specifickou funkcionalitu Asterisku. Moduly jsou automaticky načítány při startu Asterisku a jejich seznam, který si můžeme kdykoliv volně upravovat, je uložen v konfiguračním souboru *modules.conf*. Pomocí modulů můžeme přidat do ústředny mnoho nových funkcionalit a upravit si Asterisk přesně do podoby a funkčnosti, které je právě vyžadována.

Správně nakonfigurovaný Asterisk pak může sloužit například jako:

- Pobočková ústředna (PBX)
- Interaktivní hlasový průvodce (IVR)
- Voicemail služba s adresářem
- Konferenční server



Obrázek 2.1: *Architektura asterisku z pohledu konfiguračních souborů* [9]

Asterisk také nabízí služby které je možno využít pro usnadnění nebo rozšíření stávajících služeb. Mezi takové služby se řadí:

- Zavedení front při plném vytížení dostupných linek
- Podpora přehrávání medií při čekání ve frontě
- Výpisy a záznamy o hovorech, které jsou převáděny do SQL databází a textových souborů
- Rozpoznávání hlasu a integrace text-to-speech modulů

V Asterisku je možno využít všechny níže uvedené kodeky, sloužící pro digitální přenos hlasu, kompresi nebo detekci hlasové aktivity:

- G.711 ulaw (USA)
- G.711 alaw (Evropa)
- G.722
- G.723.1 (pass-through režim)
- G.726 (pouze 32 kb/s)
- G.729 (vyžadována licence)
- GSM
- iLBC
- LPC10
- Speex

Pro správný přenos dat mezi dvěma koncovými zařízeními je nutné použít signalizační protokoly, které zajistí správné směrování dat sítí. Zřejmě nejběžnějšími a nejpoužívanějšími protokoly jsou SIP a H.323, ačkoli mnoho systémů využívá i jiných protokolů.

Níže je uveden seznam protokolů jak nativních pro platformu Asterisk, tak těch, pro které jsou potřeba doplňky třetích stran:

- SIP
- IAX, IAX2
- MGCP
- H.323
- SCCP/Skinny

[1,2]

### 2.1.1 Služba IVR

Služba IVR (Interactive Voice Response) umožňuje uživateli využívat vlastní hlas nebo tónovou volbu DTMF, pro obsluhu automatizovaného systému a výběru z několika možností v přednastavené nabídce. IVR může být využita pro shromáždění určitých dat od volajícího zákazníka, jako jsou například čísla účtu, hesla nebo osobní informace ale také může uskutečnit zpětný hovor nebo zařadit volajícího do fronty. Zavedení tohoto systému se rozšiřuje čím dál tím více, protože pomáhá efektivně řešit problémy namísto operátorů, kteří nemusí být vždy k dispozici.

Služba nabízí také, v případě že se účastníkovi nepodařilo problém vyřešit, přepojení na operátora. V takovémto případě buď zákazníka okamžitě přepojí, nebo pokud není operátor právě k dispozici, jej zařadí do fronty. Systém může zařadit volajícího do fronty také podle statusu, který mu byl určen.

Může se tedy stát, že i přesto, že zákazník zavolal jako poslední, dostane se na jednu z prvních pozic pro vyřízení. IVR je také hojně využívána k provádění průzkumu spokojení zákazníků, takto získána data lze dále využít pro zlepšení kvality služeb. Velké systémy zprostředkující službu IVR, jsou schopny najednou obsloužit až několik tisíc zákazníků.

V následující ukázce kódu je zobrazen jednoduchý rozhodovací blok, který volající zákazník obslouží tónovou volbou DTMF.

```
exten => 30,1,Answer()  
exten => 30,2,Background(marryme)  
exten => 30,3,Hangup()  
  
exten => 1,1,Playback(thank-you-cooperation)  
exten => 1,2,Hangup ()  
exten => 2,1,Playback(sorry)  
exten => 2,2,Hangup()
```

Pokud je vytočeno číslo 30, naváže se spojení, a volajícímu je přehrána zpráva *marryme.gsm*, po které může zvolit možnost 1, při které se přehraje *thank-you-cooperation.gsm*, nebo možnost 2, při které uslyší *sorry.gsm*. Po vybrání jakékoliv volby a přehrání odpovídajícího záznamu se spojení ukončí. [2,3]

## 2.2 OpenBTS

OpenBTS (Open Base Transceiver Station) označuje softwarovou implementaci GSM přístupového bodu, která dovoluje použití mobilních zařízení ve VoIP sítích. Software je napsán v programovacím jazyku C++ a slouží nejen k propojení hovorů mezi takto zřízeným přístupovým bodem, ale i mezi sítěmi zřízenými různými poskytovateli a touto. Jako vysílač v takovéto síti poslouží softwarově ovládaná rádiová periférie například USRP N210 od firmy Ettus. (obr.2.3)

OpenBTS umožňuje spojovat hovory s ostatními sítěmi pomocí softswitchů nebo PBX, které plní stejnou funkci jako běžné telefonní ústředny. Software pro SIP switch nebo PBX je možné nainstalovat na stejnou jednotku jakou využívá software pro OpenBTS, čímž vznikne plně funkční vnitřní mobilní síť, provozována na jednom zařízení.

Při komunikaci mobilní stanice s BTS jednotkou se tato jednotka ve VoIP síti identifikuje názvem ve tvaru "IMSIxxxxxxxxxxxxxx". Čtrnácti nebo patnácti místný unikátní identifikátor je IMSI číslem SIM karty přítomné v mobilní stanici. Jako IP adresa SIP uživatele je použita tatáž IP adresa, jaká je přiřazena BTS stanici na které je zařízení registrováno. Samotná OpenBTS není v síti VoIP viditelná.

V systému OpenBTS je využívána implementace Um rádiového rozhraní, stejného rozhraní, jaké se používá při komunikaci mobilní stanice s běžnou BTS. Um poskytuje rádiové rozhraní pro standard GSM, které je tvořeno třemi nejnižšími vrstvami modelu referenčního modelu ISO / OSI:

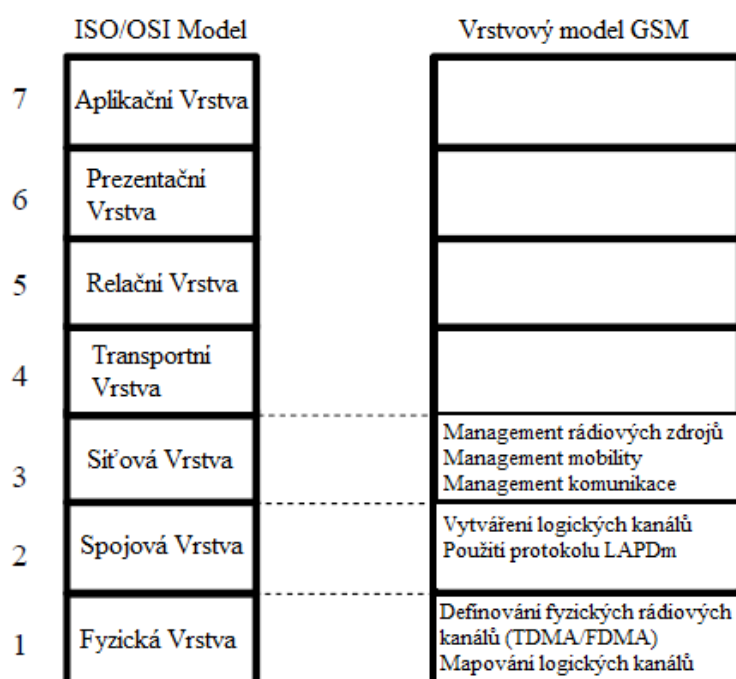
Fyzická vrstva obsahuje tři podvrstvy:

- Radiomodem: Vlastní radiovysílač, podpora GMSK modulace s 13/48 MHz modulační rychlostí a 200 kHz odstupem jednotlivých kanálů. Sousední kanály se překrývají, proto není doporučeno je využívat v rámci jedné buňky. OpenBTS podporuje čtyři z nejpoužívanějších GSM pásem: GSM850, PGSM900, DCS1800 a PCS 1900.
- Multiplexování a kódování: Každý fyzický kanál je časovým multiplexem rozdělen do více logických kanálů. Časování GSM je řízeno přes BTS pomocí SCH a FCCH kanálů, veškeré hodinové signály jsou tedy podřízeny signálům přicházejícím z BTS.
- FEC Kódování: Umožňuje přidávat ochranné bity k bitům datovým, zajišťuje tedy detekci a opravu chyb osamocených bitů.

Spojová vrstva využívá protokolu LAPDm, který je mobilní verzí části síťového komunikačního protokolu používaným v ISDN - LAPD. Protokol zajišťuje, že jsou odeslané zprávy bez chyb a vykonány ve správném pořadí. V této vrstvě jsou také vytvářeny logické kanály.

Síťová vrstva také obsahuje tři podvrstvy:

- Management síťových zdrojů: Tato podvrstva se stará o přiřazování a uvolňování logických kanálů rádiového spojení.
- Management mobility: Podvrstva zajišťuje ověřování identity uživatele a sleduje pak jeho pohyb mezi buňkami. Výsledky jsou zpracovány OpenBTS za použití SIP registru Asterisku.
- Management komunikace: Umožňuje spojování telefonních hovorů. V OpenBTS jsou tyto operace překládány do odpovídající SIP operace a vykonány Asteriskem.[4]



Obrázek 2.2: Vrstvový model GSM v porovnání s ISO/OSI



Obrázek 2.3: Rádiová periferie Ettus N210 použitá v OpenBTS síti [10]

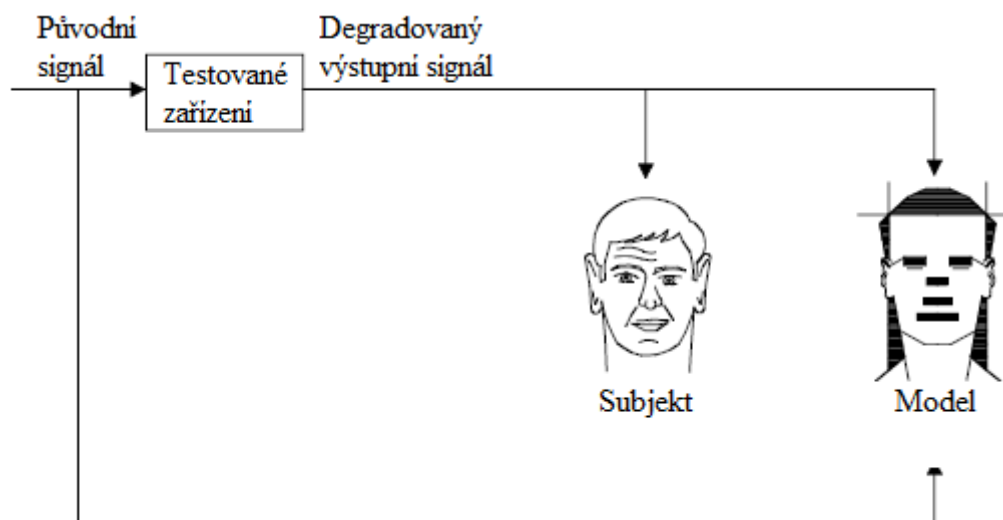
## 3 Metodika posuzování kvality řeči

### 3.1 PESQ (P.862)

#### 3.1.1 Průběh metody PESQ

PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) je algoritmus pro měření a vyhodnocování kvality řeči v telekomunikačních systémech. Tento standard využívá pro zjištění kvality řeči tzv. intrusivní metodu, kdy se v testovacím systému porovnává původní vyslaný signál  $X(t)$ , se signálem degradovaným  $Y(t)$  přijatým na druhém konci, který vznikl přenosem původního signálu  $X(t)$  přenosovým řetězcem. Následně se takto zjištěný výsledek vyhodnocený v hodnotách MOS-PESQ stupnice převede za pomoci komplementárního doporučení P.862.1 na hodnoty popsané v MOS-LQO stupnici.

Nejdříve je vypočítáno několik sérií zpoždění mezi původním a degradovaným signálem, kde každá tato série odpovídá jednomu intervalu. Pro zajištění správného fungování PESQ algoritmu, jsou zpoždění pro každý interval naprosto odlišná. Pro každý interval je dále určen počáteční a koncový časový bod. Na základě těchto sérií zpoždění pak porovná algoritmus PESQ původní a odpovídající degradovaný signál testovaného zařízení pomocí percepčního modelu. Cílem tohoto postupu je dosáhnout vnitřní reprezentaci výsledku zvukového signálu, a vytvoření modelu, který by odpovídal co nejvíce lidskému subjektu, s průměrnými sluchovými schopnostmi.

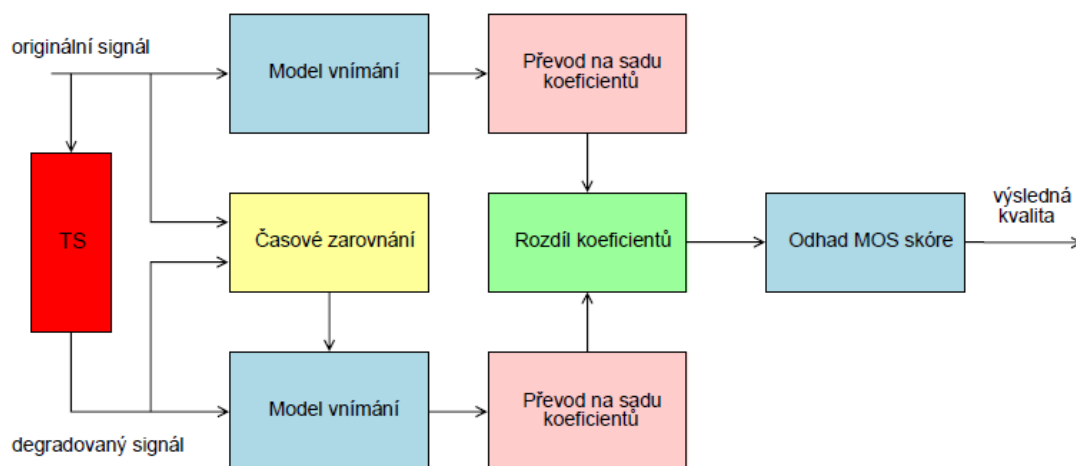


Obrázek 3.1: Schéma vytvoření modelu účastníka [5]



Metoda PESQ, stejně jako většina intrusivních metod využívá pro své fungování psychofyzikální model smyslového vnímání člověka, který má pomoci přiblížit se skutečným sluchovým možnostem člověka i za určitých podmínek a omezení jakými jsou například rozdílné závislosti vnímání hlasitosti na frekvenci zvuku, šumy a ruchy, maskování zvuku a mnoho dalších elementů, které mohou způsobit změnu vnímání zvukového vjemu. Algoritmus PESQ všechny tyto veličiny při zpracování signálu bere v potaz a na základě následného porovnání všech těchto modifikátorů, jak v původním, tak degradovaném signálu, se snaží odhadnout výsledné skóre.

Výsledné MOS-PESQ je vyjádřeno rozsahem hodnot od -0.5 do 4.5. Pro převod tohoto hodnocení do přesnějších hodnot, které se více blíží lidskému subjektivnímu hodnocení, je potřeba využít komplementární doporučení ITU-T P.862.1, které nám zajistí převod stupnice MOS-PESQ do MOS-LQO. Stupnice MOS-LQO poskytuje rozsah hodnot od 1 do 5.



Obrázek 3.2: Schéma průběhu metody PESQ [7]

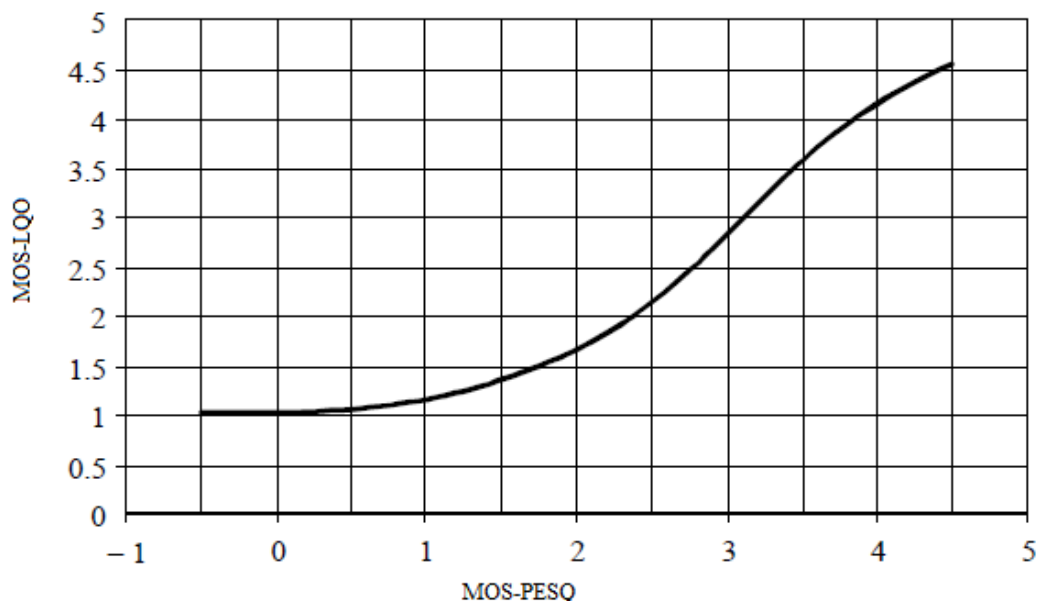
Vzorec mapovací funkce pro převod MOS-PESQ do MOS-LQO je definován vzorcem (1):

$$y = 0.999 + \frac{4.999 - 0.9999}{1 + e^{-1.4945 * x + 4.6607}} \quad (1)$$

kde proměnná  $x$  představuje hodnotu ze stupnice MOS-PESQ a hodnota  $y$  hodnotu ze stupnice MOS-LQO. Pro výpočet opačného mapování lze použít inverzní funkci (2):

$$x = \frac{4.6607 - \ln\left(\frac{4.999 - y}{y - 0.999}\right)}{1.4945} \quad (2)$$

Mapovací křivka odpovídající převodům mezi hodnotami MOS-PESQ a MOS-LQO je znázorněna níže.



Obrázek 3.3: Mapovací křivka PESQ - LQO [7]

### 3.1.2 Výběr vhodných vzorků pro testování pomocí PESQ

Pro použití a správnou funkci algoritmu PESQ, je třeba se ujistit, že námi testované vzorky bude schopen algoritmus správně rozpoznat a posléze vyhodnotit. Abychom zajistili co největší přesnost odhadu měření kvality řeči, měla by se pro testování použít nepozměněná nahrávka přirozené lidské řeči. V případě že není možno použít nahrávku reálné řeči, může algoritmus zpracovat i uměle vytvořenou nahrávku nebo nahrávku vytvořenou ze spojení několika signálů. V těchto případech je však nutné dodržovat určité zásady, které jsou důležité pro správné zpracování těchto pozměněných zvukových signálů.

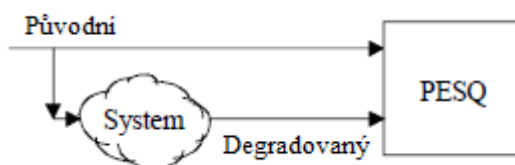
Takovéto signály musí obsahovat podobnou časovou a fonetickou strukturu, jakou obsahuje reálný jazyk. Je také nutné dbát na správné rozložení aktivního času signálu (když účastník hovoří) a pasivního (přirozené pomlky mezi slovy, větami...). V běžné řeči, při běžném rozhovoru, se vyskytuje aktivní čas hovoru mezi 40-80% doby, kdy hovor probíhá. Zbytek tvoří pauzy nebo jiné pomlky, během kterých nebývá běžně vysílán zvukový signál. Za standardní časový úsek, který člověk použije mezi pauzami, se považuje doba 1-3 vteřin, ovšem tato hodnota může být závislá na jazyku nebo jiných omezeních jako je například zdravotní stav účastníka. Pro časový úsek pomlky, které ohraničují aktivní čas účastníka, většina detektorů používá hodnotu časový úsek delší než 200ms, po které by měl spolehlivě určit, že se jedná o pomlku, za níž bude následovat další hlasový projev účastníka.

Pro správnou konfiguraci a testování zdali funguje algoritmus PESQ správně by měly být použity testovací vzorky, které obsahují několik vět slyšitelně odděleny pomlkou, a ve výsledku by čas takovéto nahrávky neměl přesáhnout 8 vteřin.

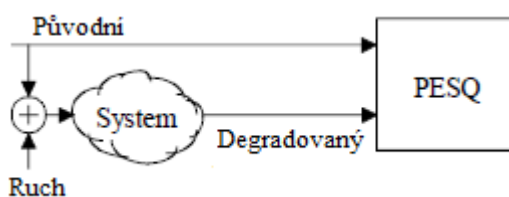
Všechny tyto testovací věty by měly být stejné jak po stránce fonetické, tak časové. Pokud chceme testovat delší úseky hovorů, nebo se v testovacích vzorcích vyskytuje několik různých účastníků, používající jinou stavbu jazyka (nářečí, nebo zcela jiný jazyk), je vhodné tyto dlouhé úseky segmentovat do kratších, které budou omezeny právě délkou zhruba osmi vteřin, nebo je rozdělíme na úseky právě podle jazykových odlišností účastníků. Zde je potřeba si uvědomit že pokud se i přesto rozhodneme testovat celý takovýto vzorek, zřejmě nebude výsledek odpovídat průměru výsledků segmentů, které získáme rozdělením stejného vzorku.

Všechny reálné vzorky hlasu určené pro správnou konfiguraci metody PESQ by měly být tvořeny také správným poměrem mezi mužskými a ženskými účastníky hovoru. Za minimální počet se považují dvě ženy a dva muži, tak jak je uvedeno v doporučení ITU-T P.830

Testované vzorky pomocí metody PESQ je také možno obohatit o ruchy v pozadí, podobné těm, se kterými se během hovoru např. mobilním telefonem setkáváme v běžném životě. Běžnými příklady takovýchto ruchů je třeba ruch na ulici, dopravní prostředky nebo hlasitá hudba v pozadí. Pro využití takovýchto ruchů je však nutné mít i přesto původní testovaný záznam bez jakýchkoliv rušících vlivů. Tyto rušivé zvuky jsou přidány zvlášť a společně jsou pak obě nahrávky dohromady zpracovány testovaným zařízením.[5]



Obrázek 3.4: Schéma zpracování čisté nahrávky [5]



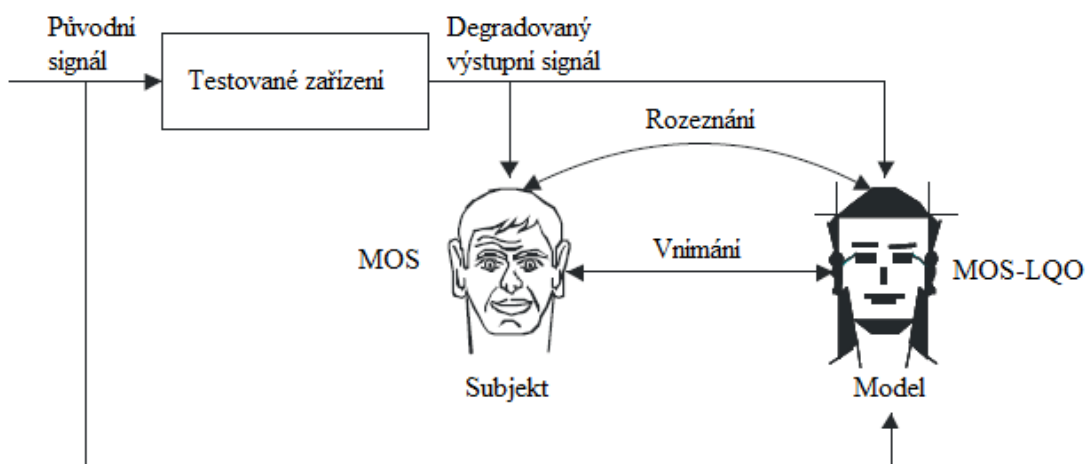
Obrázek 3.5: Schéma zpracování nahrávky s ruchem [5]

## 3.2 POLQA

### 3.2.1 Průběh metody POLQA (P.863)

POLQA je další z algoritmů určených pro testování kvality řeči, odstraňuje některé nevýhody algoritmu PESQ a rozšiřuje jeho možnosti. Stejně jako P.862 (PESQ) používá i P.863 pro hodnocení kvality řeči intrusivní metodu založenou na porovnání původního a degradovaného signálu, kdy se v testovacím systému porovnává původní vyslaný signál  $X(t)$ , se signálem degradovaným  $Y(t)$  přijatým na druhém konci, který vznikl přenosem původního signálu  $X(t)$  přenosovým řetězcem.

Nejdříve je původní i degradovaný signál rozdělen na velmi malé časové úseky - rámce. Poté je proveden výpočet prodlevy každého rámce původního signálu v závislosti na signálu degradovaném a podle takto vypočítané prodlevy je určena vzorkovací rychlost. Pokud jsou vzorkovací rychlosti původního a degradovaného vzorku velmi odlišné, vzorek s vyšší vzorkovací rychlostí je přizpůsoben rychlosti pomalejší. V závislosti na vypočítaných prodlevách jsou porovnány oba signály pomocí percepčního modelu. Cílem je, stejně jako u algoritmu P.862, vnitřní reprezentace která by byla shodná s psychofyzikální reprezentací zvukových signálů v lidském sluchovém ústrojí.[6]



Obrázek 3.6: Schéma vytvoření modelu účastníka (POLQA) [6]

### 3.2.2 Výběr vhodných vzorků pro testování pomocí POLQA

Pro nejpřesnější odhad jaká bude výsledná kvalita řeči, je nutno použít vzorky řeči které se budou kvalitou co nejvíce blížit skutečné lidské řeči. Nelze tedy pro testování doporučit nahrávky vytvořené za pomoci různých zvukových softwarů, syntezátoru apod. Správná nahrávka určená k testu POLQA musí obsahovat jak mluvené části, tak pauzy mezi větami a nahrávka by měla být tvořena několika slovy, případně větami.

Nelze tedy pro správné testování využít jednoslovné nahrávky, protože neobsahují dostatek informací potřebných pro zjištění hodnoty kvality řeči. Pro testovanou nahrávku je dále doporučeno použít rozhovor dvou mužských a dvou ženských osob, každá by měla pronést dvě věty oddělené pauzou. Délka pauzy mezi větami by neměla přesáhnout dvě vteřiny a účastník by měl hovořit alespoň tři vteřiny do všesměrového mikrofonu, vzdáleného přibližně 10 cm. Je ověřeno, že pokud jsou všechny výše uvedené podmínky splněny, poskytuje algoritmus velmi přesné výsledky.

Při následném vyhodnocování výsledků, je potřeba vzít také v úvahu, že testování stejného vzorku se bude mezi různými účastníky lišit, ať už kvůli různé sluchové citlivosti nebo faktickému porozumění nahrávce. Proto, pokud chceme znát přesné výsledky jen pro několik subjektů nebo určitou skupinu je potřeba mít na paměti že se výsledek testování kvality řeči může velmi lišit od názoru netestovaných účastníků. Naopak, pokud chceme dosáhnout relativně kvalitního hodnocení ve všech směrech, je lepší použít objektivní hodnocení testu, kterého lze dosáhnout zprůměrováním hodnocení testované skupiny účastníků.[6]

### 3.3 Rozdíly mezi PESQ a POLQA

Při porovnání obou metod je nutné ještě zmínit rozdíly mezi nimi. Zatímco metoda PESQ je určena pro měření hovoru v pásmu od 300 do 3400 Hz, POLQA nabízí měření i pro širokopásmové hovory ve frekvenčním rozsahu 7 a 14 kHz a je také vhodné pro měření v 3G, 4G sítích.

Při výběru metody, která bude použita, je potřeba se zamyslet nad stále se vyvíjejícími technologiemi a komplexitou dnešních sítí a nad scénáři, které mohou způsobit nechtěné degradační efekty přenášeného signálu. POLQA bylo navržena tak, aby bylo takovéto nechtěné zkreslení signálu v komplexních sítích omezeno co nejvíce. Navíc POLQA, které je vychází z metody PESQ, odstraňuje některé nedostatky které P.862 obsahuje. Nicméně, i přes všechny nesporné výhody POLQA je využívání PESQ stále velice rozšířené, hlavně díky své vysoké kompatibilitě s mnohými současnými i staršími systémy.

## 4 Návrh a realizace experimentu pro měření kvality řeči s OpenBTS

Pro testování kvality řeči byla zvolena metoda PESQ. POLQA, jakožto metoda zaměřená hlavně pro HD-audio, je pro testování GSM standardu vhodnější méně než metoda PESQ.

### 4.1 Instalace a konfigurace softwaru

Pro správnou realizaci měření kvality řeči s OpenBTS jsou zapotřebí:

- Linuxový operační systém
- OpenBTS software
- USRP rádiová jednotka (pro tento experiment Ettus USRP N210)
- Asterisk

#### 4.1.1 Ubuntu 12.10

Jako Linuxový operační systém byl zvolen Ubuntu 12.10. 64bit verze. Tato verze obsahovala nejnovější aktualizované ovladače pro notebook Lenovo G770 s pomoci kterého byl experiment prováděn. Systém byl nainstalován z OS WIN7 x64 jako druhý operační systém, protože instalace přes virtuální prostředí VirtualBox nebyla schopna udržet spojení mezi touto stanicí a USRP stanicí.

#### 4.1.2 Asterisk 1.8

Jako software pobočkové ústředny byl zvolen Asterisk 1.8 pro který je nabízen tzv. "long-term support" označující vydávání bezpečnostních oprav, údržby a celkové podpory až do roku 2014.

Nejdříve je tedy potřeba Asterisk stáhnout pomocí příkazu:

```
wget http://downloads.asterisk.org/pub/telephony/asterisk/asterisk-1.8-current.tar.gz
```

Následně rozbalit, nakonfigurovat pro operační systém a nainstalovat pomocí:

```
tar xvfz asterisk-1.8-current.tar.gz
cd asterisk-1.8.10.1/
./contrib/scripts/get_mp3_source.sh
./configure
make
make install
make samples
make config
```

Takto nakonfigurovaný a nainstalovaný Asterisk je nutné spouštět pod *root* účtem, případně nastavit Asterisk uživatele pod kterým pracuje jako vlastníka několika dále uvedených souborů, kvůli přístupu a práci s databází kontaktů mobilních stanic.

Následně je po správné instalaci nutné upravit soubory `odbcinst.ini` a `odbc.ini` které se nachází v adresáři `/etc` tak, aby byla v Asterisku podporována konektivita s daty SQLite3 a to následovně:

V souboru `odbcinst.ini`

```
[SQLite3]
Description=SQLite3 ODBC Driver
Driver=/usr/lib/odbc/libsqlite3odbc.so
Setup=/usr/lib/odbc/libsqlite3odbc.so
Threading=2
```

V souboru `odbc.ini` by měla být podpora SQLite3 nastavena automaticky, pokud tomu tak není je třeba upravit následující řádky:

```
[asterisk]
Description=SQLite3 database
Driver=SQLite3
Database=/var/lib/asterisk/sqlite3dir/sqlite3.db
# optional lock timeout in milliseconds
Timeout=2000
```

Poté je potřeba upravit ještě tři soubory v adresáři `/etc/asterisk/` kvůli realtime podpoře ODBC a automatického nahrávání modulů. Soubory jsou:

`modules.conf` kde je nutné povolit automatické nahrávání modulů

```
autoload => yes
; noload => res_config_odbc.so
```

`extconfig.conf`

```
[settings]
sipusers => odbc,asterisk,sip_buddies
sippeers => odbc,asterisk,sip_buddies
```

a nakonec i `res_odbc.conf`

```
[asterisk]
enabled => yes
dsn => asterisk
pre-connect => yes
```

### 4.1.3 OpenBTS

Pro správnou funkci OpenBTS je nutné nainstalovat příslušné ovladače pro USRP zařízení, které poslouží jako vysílač pro OpenBTS síť tzv. UHD ovladače (USRP Hardware Driver). Ty lze získat po aktualizaci seznamu balíčků (`apt-get update`) pomocí příkazu `apt-get install -t `lsb_release -cs` uhd`.

Následně je třeba si opatřit software pro samotné použití OpenBTS, jako cíl pro tyto soubory jsem zvolil složku `/opt/`, pro získání zdrojových kódů je možno použít příkaz

```
svn co http://wush.net/svn/range/software/public .
```

Poté již nově vytvořená složka `/opt/public/` obsahuje všechny potřebné zdrojové kódy nástrojů, které jsou potřebné pro správnou a kompletní funkci OpenBTS. Ve složce `/opt/public/openbts/trunk` je tedy nutné zkompileovat zdrojové kódy a nainstalovat software pro OpenBTS pomocí následujících příkazů:

```
./autogen.sh
autoreconf -i
./configure --with-uhd --with-resamp
make
make install
```

Dále je nutné nalinkovat vysílač pro používané zařízení ve složce `./apps/`

```
ln -s ../Transceiver52M/transceiver .
```

Nakonec zbývá vytvořit kopii databázového souboru, který obsahuje konfiguraci pro OpenBTS pomocí:

```
sqlite3 -init ./apps/OpenBTS.example.sql/etc/OpenBTS/OpenBTS.db
```

Tento soubor lze upravovat např. programem SQLite Browser, v něm je potřeba změnit několik hodnot a to takto:

```
GSM.Radio.Band          900
Control.LUR.OpenRegistration  .*
```

Radio band označuje použité pásmo a Open registration umožňuje registraci všech zařízení do sítě vytvořené pomocí OpenBTS. [8]



### 4.1.4 Smqueue

Smqueue je služba která umožňuje OpenBTS odesílat SMS zprávy. Konfigurace a kompilace kódu je shodná s instalací OpenBTS, tedy ve složce `/opt/OpenBTS/smqueue/trunk`

```
./autogen.sh
autoreconf -i
./configure
make
```

A následné vytvoření kopie databáze:

```
sqlite3 -init /smqueue/smqueue.example.sql /etc/OpenBTS/smqueue.db
```

### 4.1.5 Subscriber registry

Subscriber registry je server pro autorizaci a registraci SIP zařízení. Tuto databázi využívá pobočková ústředna při spojování hovoru mezi mobilními zařízeními. Kompilace je opět provedena příkazem `make` ve složce `/opt/public/subscriberRegistry/trunk`. Následně je opět nutné nakopírovat vzorovou databázi na místo, kde bude později vyhledána a použita Asteriskem. Tato vzorová databáze se nachází ve složce `/opt/public/subscriberRegistry/trunk/configFiles/` a pro Asterisk samotný je potřeba vytvořit složku `/var/lib/asterisk/sqlite3dir` ve které bude databáze umístěna, tedy:

```
mkdir -p /var/lib/asterisk/sqlite3dir
sqlite3 -init subscriberRegistryInit.sql
/var/lib/asterisk/sqlite3dir/sqlite3.db ".quit"
sqlite3 -init ../sipauthserve.example.sql
/etc/OpenBTS/sipauthserve.db ".quit"
```

### 4.1.6 Konfigurace Asterisku se soubory OpenBTS

Na místo kde jsou obsaženy konfigurační soubory Asterisku zbývá nakopírovat konfigurační soubory, které jsou dodávány s OpenBTS softwarem.

```
cp /opt/public/openbts/trunk/AsteriskConfig/*.conf /etc/asterisk
```

A také přidat do souboru *extensions.conf* context, který umožňuje vyhledat záznamy pro mobilní stanice při volání, v databázi Subscriber registry v realtime modu.

```
[phones]
exten => _N.,1,Set(Name=${ODBC_SQL(select dial from dialdata_table
where exten = \"${EXTEN}\")})
exten => _N.,n,GotoIf("${Name}" = "") ?outbound-trunk,${EXTEN},1)
exten => _N.,n,Set(IPAddr=${ODBC_SQL(select ipaddr from sip_buddies
where name = \"${Name}\")})
exten => _N.,n,GotoIf("${IPAddr}" = "") ?outbound-
trunk,${EXTEN},1)
exten => _N.,n,Dial(SIP/${Name}@${IPAddr}:5062)
```

## 4.2 Registrace účastníků do sítě OpenBTS

Mobilní zařízení, která použita pro testování kvality řeči v síti OpenBTS byla Nokia 5530 a Nokia E52. Tyto mobilní stanice je nejprve nutné zaregistrovat v síti vytvořené pomocí OpenBTS jednoduchou změnou operátora na síť, v tomto případě nazvanou 001 01. Poté následuje vypsání všech zaregistrovaných zařízení pomocí příkazu *tmsis* v příkazovém řádku OpenBTS a postupné uložení jejich IMSI čísel a ID čísel do databáze obsažené v souboru *sqlite3.db*. Dále je nutné tato čísla uvést i v konfiguračním souboru Asterisku *sip.conf*. Toho bylo docíleno přidáním následujících řádků:

```
[IMSI230012600164884] ;Nokia 5530
callerid=1001
canreinvite=no
type=friend
context=sip-external
allow=gsm
host=dynamic
dtmfmode=RFC2833

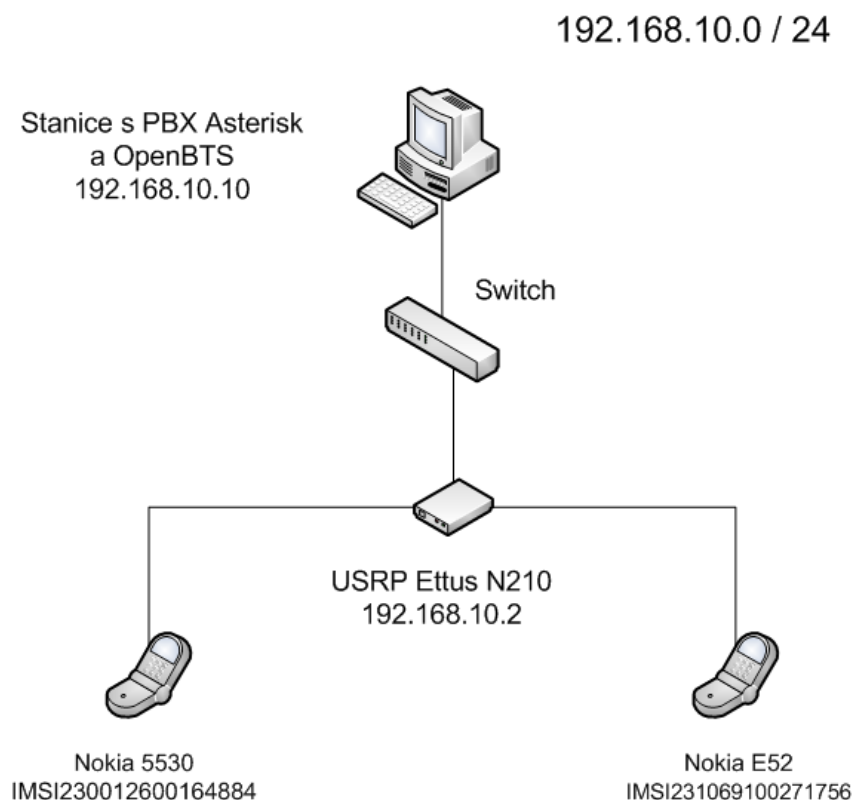
[IMSI231069100271756] ; Nokia E52
callerid=1003
canreinvite=no
type=friend
context=sip-external
allow=gsm
host=dynamic
dtmfmode=RFC2833
```

V souboru *extensions.conf* bylo také potřeba provést přidání řádků s možností vytočení druhého mobilního zařízení, aby bylo možné sestavit hovor. Protože byl jako výchozí context pro mobilní zařízení zvolen [sip-external] (který obsahuje také kontexty [sip-local] a [phones]), je nutné přidat do [contextu sip-external] nebo [sip-local] tyto řádky:

```
exten => 1001,1,Dial(SIP/IMSI230012600164884@127.0.0.1:5062)
exten => 1003,1,Dial(SIP/IMSI231069100271756@127.0.0.1:5062)
```

Tyto řádky způsobí, že se po vytočení čísla 1001 zavolá na mobilní telefon Nokia 5530, volba 1003 pak znamená vytočení Nokia E52. Asterisk je nutné po těchto úpravách nechat znovu načíst tyto dva upravené konfigurační soubory. Po znovunačtení konfiguračních souborů *sip.conf* a *extensions.conf* pomocí příkazové řádky Asterisk je možné sestavit mezi takto přidanými stanicemi hovor.

Výsledné schéma zapojení všech prvků pro možnost registrace zařízení do sítě OpenBTS a možnosti hovoru mezi nimi je následující:



Obrázek 4.1: Schéma zapojení experimentálního pracoviště

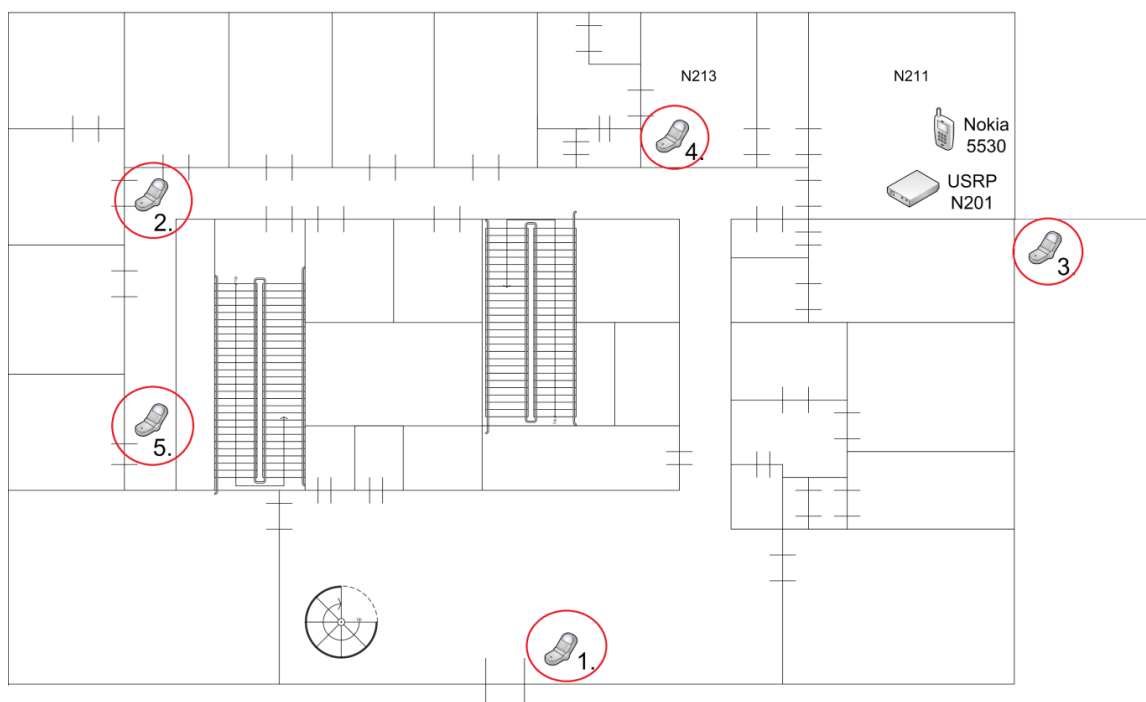
## 4.3 Porovnání kvality řeči pomocí metody PESQ

### 4.3.1 Zaznamenání testovaného hovoru

Pro testování kvality řeči metodou PESQ bylo nutné zaznamenat proběhlé hovory na obou stranách. Pro tento účel byl použit na obou mobilních zařízeních program TotalRecall který umožňuje zaznamenat během hovoru zvuk, který vstupuje do mikrofону i ten který je slyšet z reproduktoru. Po nainstalování tohoto softwaru do obou mobilních zařízení byly určeny měřicí body, Na kterých proběhl z mobilního zařízení Nokia E52 hovor (účastník 1), skládající se z oznámení současné pozice volajícího a sekvence pronesených čísel od jedné do deseti ze strany volaného (účastník 2). Mobilní telefon Nokia 5530 byl po celou dobu testování umístěn u stanice USRP. Hovor byl na obou stranách nahrán a uložen pro další zpracování. Hovory byly nahrány ve formátu WAV s vzorkovací frekvencí 8 kHz. Všechny hovory byly provedeny za asistence vedoucího práce.

Za měřicí body byla zvolena místa vevnitř i vně budovy N:

1. Vchod do budovy N
2. Roh chodby naproti VoIP laboratoře
3. Venkovní prostor za budovou N
4. Zasedací místnost N213
5. Konec chodby naproti VoIP laboratoře

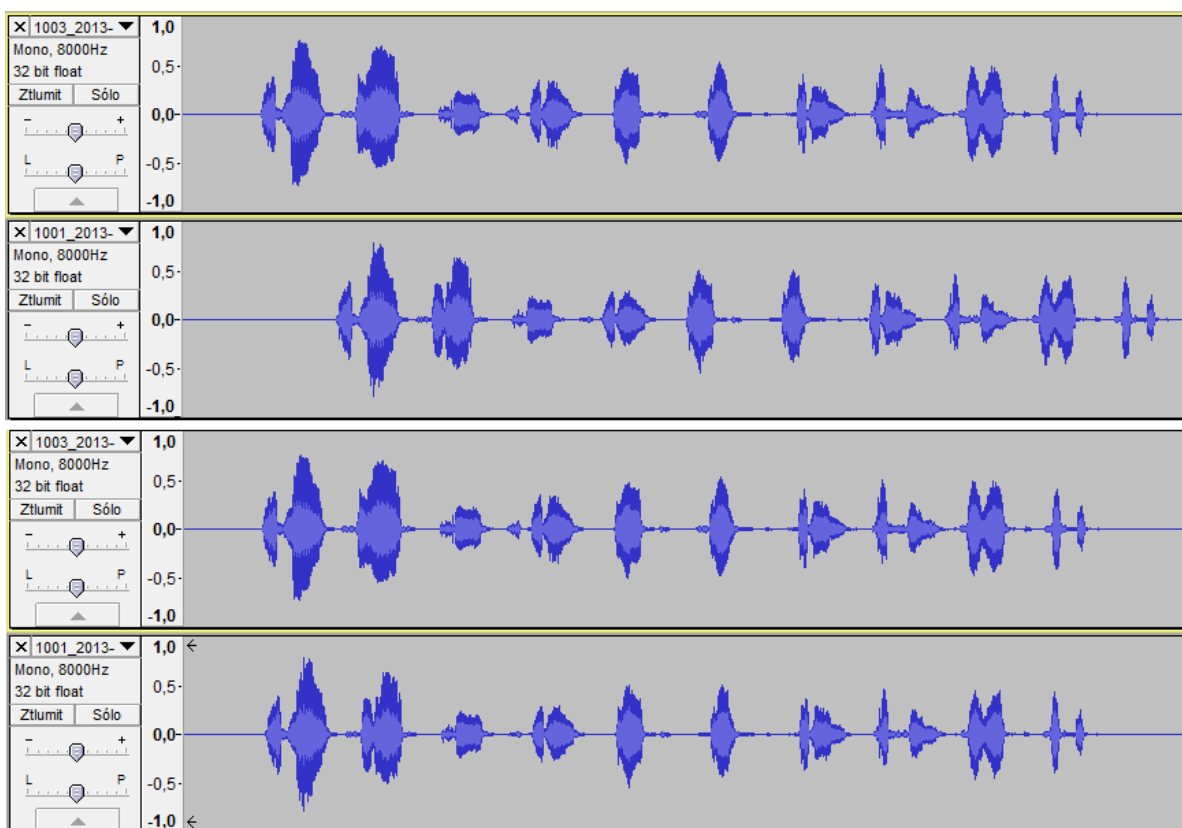


Obrázek 4.2: Plán budovy N a znázornění měřících bodů

Protože se na měřicím bodě č. 5 nepodařilo sestavit hovor, v důsledku ztráty signálu, budou hodnoty odpovídající tomuto měřicímu bodu dále prezentovány jako prázdné. Dále byla na každém ze stanovišť 1 - 5 naměřena hodnota úrovně signálu stanice USRP N210.

#### 4.3.2 Časové srovnání nahrávek

Protože program TotalRecall začne nahrávat hovor ihned po vytočení čísla na mobilním telefonu, ještě než je hovor spojen, bylo nutné časově srovnat obě nahrávky, aby nedocházelo k nepřesným odhadům při samotném vyhodnocování kvality řeči. Pro toto byl použit program Audacity.



Obrázek 4.3: Úprava nahrávek v programu Audacity  
(Nahoře nahrávky před zarovnáním, dole po zarovnání)

### 4.3.3 Zpracování hovorů metodou PESQ

Samotné zpracování zaznamenaných hovorů bylo provedeno pomocí připojení na vzdálenou stanici s IP adresou 158.196.244.145 pomocí programu PuTTY. Tato stanice obsahovala software pro určení kvality řeči metodou PESQ. Na stanici byly nejdříve nahrávky souborů nahrány do složky /Vzorky/OpenBTS a poté byl spuštěn program pomocí příkazu:

```
./pesq +8000 ./Vzorky/OpenBTS/1-in.wav ./Vzorky/OpenBTS/1-out.wav
```

Kde +8000 označuje použitou vzorkovací frekvenci, první cesta k souboru je záznam původní, druhá cesta je záznam degradovaný. Po zadání tohoto příkazu a krátkém zpracování obou souborů jsou vypočítány hodnoty MOS a MOS-LQO, tak jak je patrné na obrázku 4.4.

```
*****
* OPTICOM GmbH                               * Psytechnics Limited *
* Naegelsbachstr. 38,                       * Fraser House, 23 Museum Street, *
* D- 91052 Erlangen, Germany                * Ipswich IP1 1HN, England *
* Phone: +49 (0) 9131 53020 0                * Phone: +44 (0) 1473 261 800 *
* Fax: +49 (0) 9131 53020 20                 * Fax: +44 (0) 1473 261 880 *
* E-mail: info@opticom.de,                  * E-mail: info@psytechnics.com, *
* www.opticom.de                            * www.psytechnics.com *
*****

Reading reference file Vzorky/OpenBTS/1-in.wav...done.
Reading degraded file Vzorky/OpenBTS/1-out.wav...done.
Level normalization...
IRS filtering...
Variable delay compensation...
Acoustic model processing...

P.862 Prediction (Raw MOS, MOS-LQO): = 2.802 2.535
```

Obrázek 4.4: *Vyhodnocení vzorků pomocí metody PESQ*

Stejným způsobem byly získány hodnoty i pro zbylé tři nahrané testovací hovory. Výsledkem je tabulka 4.1 znázorňující číslo místa měření, MOS-PESQ hodnotu a MOS-LQO a úroveň signálu.

Tabulka.4.1: *Hodnoty MOS dosažené analýzou vzorků metodou PESQ*

Místo měření	MOS-PESQ	MOS-LQO	Úroveň signálu (dBm)
1.	2.802	2.535	-70
2.	3.566	3.643	-66
3.	1.912	1.565	-72
4.	3.377	3.381	-50
5.	-	-	-80

## 4.4 Zpětné volání pobočkové ústředny Asterisk po dokončení hovoru

Protože jedním z hlavních bodů této bakalářské práce je zjišťovat kvalitu dokončeného hovoru subjektivním názorem kterékoliv ze stran, bylo potřeba vytvořit způsob, který by po dokončení hovoru zajišťoval zpětné volání ústředny zpět na čísla účastníků. Toho bylo docíleno pomocí *.call* souborů které, pokud jsou umístěny do složky */var/spool/asterisk/outgoing/*, je schopen Asterisk okamžitě po jejich umístění lokalizovat a vykonat. Problémem bylo to, že tuto složku Asterisk nepřetržitě kontroluje a při jakékoliv změně v této složce jsou zde umístěné soubory ihned zpracovány. Bylo tedy nutné vytvořit *.call* soubor mimo tuto složku, a docílit toho, že po dokončení hovoru se tento soubor nakopíruje právě do složky */outgoing/*.

Nejprve byl tedy vytvořen soubor *ivr.call*, který bude sloužit pro zpětné volání Asterisku se službou IVR po dokončení hovoru:

```
Channel: SIP/IMSI230012600164884@127.0.0.1:5062
Callerid: Asterisk_IVR
;MaxRetries: 0
;RetryTime: 0
WaitTime: 30
Context: ivr
Extension: 41
```

Obdobně byl vytvořen i druhý *.call* soubor pro druhého účastníka.

Po zpracování toho souboru zavolá Asterisk zpět na mobilní stanice, kde bude účastníkům přehrán context [ivr], který obsahuje dotazník na kvalitu proběhlého hovoru. Protože je nežádoucí spouštět toto volání, pokud účastníci stále hovoří, vytvořil jsem v contextu [phones] spouštění tohoto volání až po dokončení hovoru:

```
exten => h,1,System(cp /var/spool/asterisk/*.call
/var/spool/asterisk/tempcall/)
exten => h,n,System(mv /var/spool/asterisk/tempcall/*.call
/var/spool/asterisk/outgoing/)
```

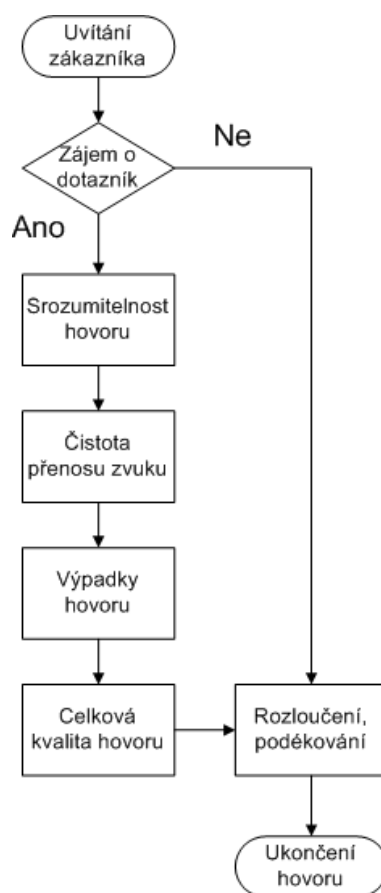
Jak lze vidět, extension h znamená vykonání operace až po ukončení hovoru, pak se tedy předem vytvořené *.call* soubory nakopírují do složky */tempcall/* a odtud jsou pak přesunuty do složky */outgoing/* kde už je zpracovány Asteriskem. Kopírování souboru přímo do složky */outgoing/* se nedoporučuje, neboť by se mohlo stát že Asterisk, v případě většího obsahu *.call* souboru okamžitě operaci spustí, i když není soubor ještě celý nakopírován a tak ho nevykoná celý, ale jen zpracovanou část.

## 4.5 IVR služba s dotazníkem na kvalitu hovoru

Použití služby IVR s dotazy na účastníka by mělo být použito pro monitorování kvality hovoru a také přispět ke zlepšení stávajících nabízených služeb v oblasti přenosu a kvality řeči. Otázky které jsou účastníkovi kladeny, by měly být krátké ale výstižné a také by mělo být jednoduché na ně odpovědět. Pro dotazování zákazníka, který právě dokončil hovor, byly zvoleny tyto otázky:

- Byl hovor srozumitelný ?
- Jaká byla čistota zvuku při hovoru ?
- Objevovaly se při hovoru výpadky ?
- Zhodnocení hovoru zákazníkem

Na všechny výše uvedené možnosti v případě zájmu pak může účastník odpovědět ohodnocením od jedné do pěti (kde 1 je ohodnocení nejhorší, 5 naopak nejlepší) pomocí volby DTMF na svém zařízení. Po dokončení dotazníku se IVR služba s účastníkem rozloučí a výsledky zapiše do souboru k tomuto určenému.



Obrázek 4.5: Diagram IVR služby



Pro vytvoření IVR služby byl vytvořen v konfiguračním souboru *extensions.conf* další context nazvaný [ivr], který je zavolán pomocí *.call* souborů, zmíněných v předchozí podkapitole, po dokončení hovoru. Samotné nastavení IVR je následovné:

```
[ivr]

exten => 41,1,Answer()
exten => 41,2,Background(IVR/uvod)
exten => 41,3,Hangup()

exten => 1,1,Playback(IVR/uvod2)

exten => 1,n,Playback(IVR/1)
exten => 1,n,Read(Digits,beep,1)
exten => 1,n,Set(FILE(/var/lib/asterisk/Survey,,,a)= //
${STRTIME(${EPOCH},,%d. %m. %Y-%H:%M:%S)} / ${CHANNEL} / ${Digits})

exten => 1,n,Playback(IVR/2)
exten => 1,n,Read(Digits,beep,1)
exten => 1,n,Set(FILE(/var/lib/asterisk/Survey,,,a)= ${Digits})

exten => 1,n,Playback(IVR/3)
exten => 1,n,Read(Digits,beep,1)
exten => 1,n,Set(FILE(/var/lib/asterisk/Survey,,,a)= ${Digits})

exten => 1,n,Playback(IVR/4)
exten => 1,n,Read(Digits,beep,1)
exten => 1,n,Set(FILE(/var/lib/asterisk/Survey,,,al,u)= ${Digits})

exten => 1,n,Playback(IVR/konec)
exten => 1,n,Hangup()

exten => 2,1,Playback(IVR/konec)
exten => 2,n,Hangup()
```

Po přijetí hovoru uslyší účastník uvítací nahrávku *uvod.gsm* která jej přivítá, a zeptá se ho, zdali se chce účastnit dotazníku, který se týká testování kvality hovoru. Vyzve jej pro stisknutí jedničky, pokud se účastnit chce, a dvojky pokud se účastnit nechce. Pokud se účastník nechce dotazníku účastnit, přehraje se mu nahrávka *konec.gsm*, která se s účastníkem rozloučí.

Pokud se účastník rozhodne na dotazník odpovědět, je mu přehrán zvukový soubor *uvod2.gsm*, ve kterém si vyslechne poděkování za vyplnění dotazníku a je mu vysvětlen princip volby odpovědi pomocí DTMF volby z rozsahu 1-5 po zaznění tónu na konci každé otázky. Poté už mu je položena první otázka:

"Jaká byla podle Vás srozumitelnost proběhlého hovoru ?"

Po položení otázky je zavolána funkce READ a přehrán zvukový soubor *beep.gsm*, který signalizuje účastníkovi, že může odpovídat na položenou otázku. Účastníkům vstup je omezen jen na jednu hodnotu, kterou zadá. Nelze tedy na jednu otázku odpovídat vícemístnými nebo více hodnotami. Po zadání hodnoty se pomocí funkce SET vytvoří v souboru pro ukládání odpovědi čas, kdy byl dotazník zodpovězen, následně číslo účastníka, který se dotazníku účastní a nakonec se запиše hodnota, kterou účastník odpověděl na první otázku. Čas, číslo účastníka i odpovědi jsou od sebe odděleny lomítky pro lepší přehlednost a čitelnost.

Stejným způsobem jsou účastníkovi kladeny ostatní otázky:

"Jaká byla čistota zvuku proběhlého hovoru ?"

"Vyskytovaly se během hovoru výpadky ? (Známka 5 označuje hovor bez výpadků)"

"Jaká byla podle Vás celková kvalita hovoru ?"

Po zodpovězení otázek 2-4 je do souboru připsána už jen hodnota odpovědi, po čtvrté otázce je v souboru přidán nový řádek pro odpovědi např. dalšího hovoru. Obsah souboru vypadá po dokončení dotazníku jedním účastníkem takto:

```
// 12. 4. 2012-16:55:21 / 1001@127.0.0.1:5062 / 4 4 5 4 //
```

Soubor byl umístěn do složky */var/lib/asterisk/* a nazván Survey. Tento soubor se dá otevřít libovolným textovým editorem, pomocí kterého lze vyčíst potřebné údaje.

Výsledkem tohoto průzkumu kvality hovoru pomocí IVR je tabulka 4.2 která reflektuje názory obou účastníků na uskutečněný hovor.

Tabulka.4.2: *Subjektivní názory obou účastníků na kvalitu hovoru*

Místo měření	Názor účastníka 1	Názor účastníka 2
1.	4	4
2.	4	4
3.	2	1
4.	4	4
5.	-	-

## 5 Vyhodnocení metodiky a experimentu

Po měření kvality řeči pomocí metody PESQ i zjištění názoru od účastníků, je pro interpretaci výsledků nutné tato dvě měření porovnat a zjistit jak a v čem se liší názor účastníka hovoru od výsledku počítačem zpracovaného algoritmu.

Tabulka 5.1 shrnuje všechny výsledky, kterých bylo dosaženo při experimentálních měřeních.

Tabulka.5.1: Tabulka s výsledky měření pomocí odpovědí účastníků a metody PESQ

Místo měření	MOS-LQO	Názor účastníka 1	Názor účastníka 2	Úroveň signálu (dBm)
1.	2.535	4	4	-70
2.	3.643	4	4	-66
3.	1.565	2	1	-72
4.	3.381	4	4	-50
5.	-	-	-	-80

### 5.1 Průběhy měřených hovorů

Z výsledků prvního měření lze vyčíst, že rozdíly v hodnocení pomocí metody PESQ a subjektivním posouzením účastníka hovoru mohou být značně rozdílné. K této odchylce ovšem došlo jen při tomto jednom měření a to z důvodu zpoždění přijetí signálu na volající stanici oproti volané přibližně o  $5 \cdot 10^{-2}$  vteřiny. Toto bylo pravděpodobně zapříčiněno velkou vzdáleností a překážkami (zdmi), právě mezi těmito dvěma stanicemi, o čemž vypovídá i úroveň signálu, která se pohybovala na hodnotě -70 dBm, což není pro čistý a nepřerušovaný hovor ideální. V testovacím hovoru č. 1 ovšem na straně obou účastníků prakticky nebylo vůbec možné posun rozeznat a hovor byl ohodnocen na obou stranách účastníky známkou 4.

Měření na druhém měřicím bodě dosahuje podle metody PESQ nejlepších výsledků ze všech naměřených. K tomuto zřejmě přispělo i místo druhého měření s přímým výhledem mobilní stanice na stanici USRP N210 bez jakýchkoliv překážek. Také podle obou účastníků byl hovor ohodnocen známkou 4.

Pro stanoviště číslo 3 bylo obtížné realizovat sestavení hovoru, mobilní stanice volajícího účastníka byla mimo dosah signálu stanice USRP N210 a docházelo k výpadkům sítě. Avšak i po sestavení samotného hovoru nebyl hovor po stránce nijak kvalitní, docházelo k výpadkům v přenášené řeči mezi oběma stranami, která měla značný dopad na celistvost hovoru a pochopení kontextu konverzace. Metoda PESQ tento hovor vyhodnotila hodnotou 1.565, účastníci jej ohodnotili známkami 2 (volající) a 1 (volaný). Úroveň signálu se pohybovala kolem hodnoty -72 dBm.

Měření číslo 4 proběhlo v místnosti N213, která sousedí s místností N211, kde byla umístěna stanice USRP N210. Toto měření však probíhalo za zavřenými dveřmi, tudíž bez přímého výhledu mobilní stanice na stanici USRP N210. Hovor byl metodou PESQ ohodnocen hodnotou 3.381, podobně i účastníci ohodnotili tento hovor známkou 4. Během hovoru se nevyskytovaly žádné problémy, ruchy ani problémy.

Umístění pátého měřicího bodu se nacházelo zcela mimo dosah signálu sítě stanice USRP N210, nejenže tedy nemohl proběhnout samotný hovor, ale nepodařilo se ani sestavit spojení. Hodnota signálu dosahovala hodnoty -80 dBm, při této úrovni signálu se nepodařilo vytvořit spojení ani nikde jinde v budově.

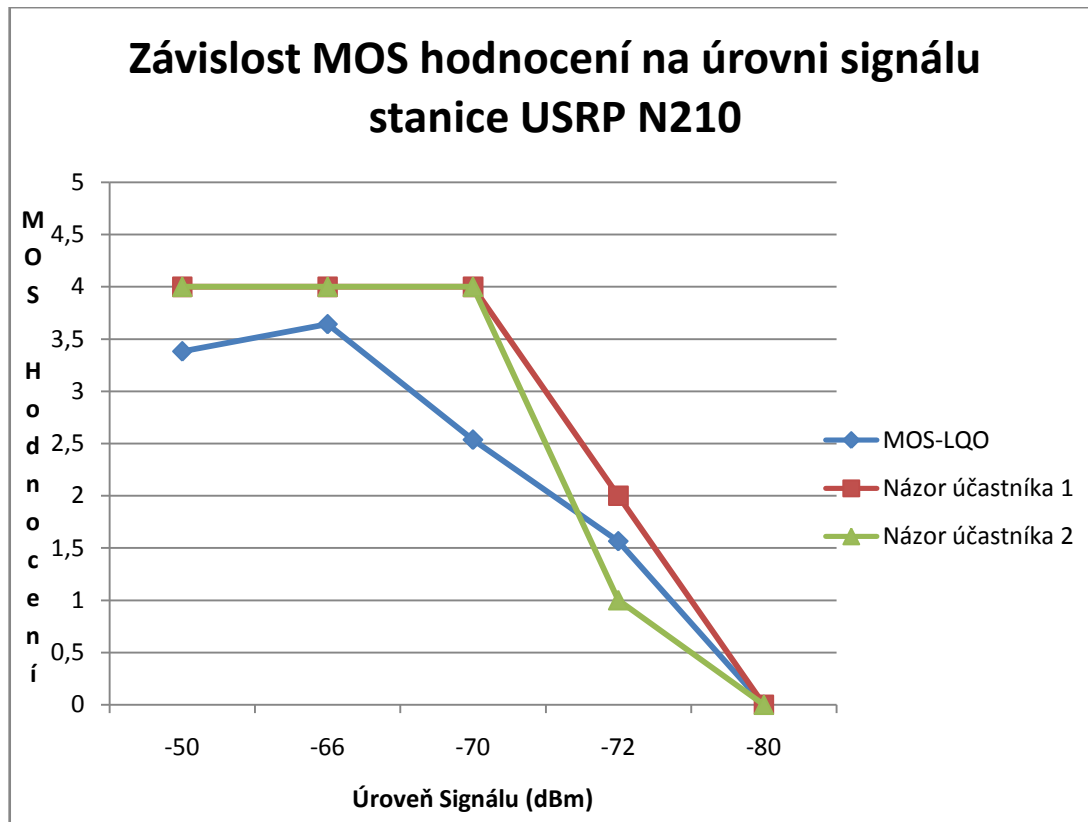
### 5.2 Zhodnocení měřených hovorů

Jak lze tedy usuzovat z uskutečněných měření, stanice USRP N210, která slouží jako vysílač pro sestavenou OpenBTS síť, vykazuje bezchybné výsledky pro uskutečnění hovorů, pouze pokud nejsou mezi vysílačem a mobilní stanicí překážky jako jsou stěny, dveře apod. V opačném případě dochází k pozvolnému zhoršování podmínek pro hovor samotný. Při velkém rušení se mohou vyskytovat dokonce výpadky při hovoru, což vede k častému nepochopení kontextu konverzace.

Zajímavou skutečností, kterou jsem zjistil při analýze proběhlých hovorů je, že OpenBTS síť jako taková, nemá problémy se spojením zařízení na větší vzdálenosti za předpokladu přímé viditelnosti obou zařízení a vysílače (i když samozřejmě při velkých vzdálenostech síť vypadne). O to větší problémy nastávají ve chvíli, kdy je mezi vysílačem a zařízením umístěna překážka.

Jako poslední je samozřejmě nutné zhodnotit rozdíly mezi tím, jak vnímáme kvalitu hovoru, potažmo řeči my, jako účastníci hovoru v porovnání s tím jak je kvalita řeči při hovorech vyhodnocena metodou PESQ. Metoda PESQ byla v 75% měření schopna vyhodnotit hovor stejnou, nebo velice podobnou hodnotou, jako účastníci. V jednom měření se ovšem výrazně lišila oproti subjektivnímu hodnocení účastníků a to jen proto, že lidský sluch není za tak krátký úsek časového hovoru poznat, že došlo k posunu hovoru o setiny vteřiny. V případě že by hovor trval déle (například desítky minut) bylo by teoreticky možné, že by byl hovor zpožděn o tolik, že by to pro účastníky působilo rušivě.

Na následujícím grafu je patrné o kolik se liší vyhodnocení obou metodik pro posuzování kvality hovoru.



Obrázek 5.1: Graf porovnání MOS hodnocení pomocí metody PESQ a účastníků

Je patrné, že až na jeden případ nejsou výsledky o tolik rozdílné, aby se metoda PESQ nedala vhodně použít pro posuzování kvality řeči. Naopak, výsledky jsou opravdu velmi podobné těm, které vznikají při subjektivním ohodnocení mluvené řeči lidmi. Proto by mohla být metoda PESQ společně při použití IVR využita v mobilních sítích pro zpřesněné určování kvality řeči v hovorech, neboť by nabídla nejen subjektivní pohled účastníka, ale také by přinesla dvojnásobné množství výsledků pro jeden uskutečněný hovor.

## 6 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval určováním metod a postupů, které souvisí s testováním kvality řeči v mobilních sítích. Po sestavení experimentálního pracoviště, jsem jako metodu pro měření kvality řeči v mobilních sítích určil metodu PESQ, pomocí které jsem analyzoval všechny zaznamenané hovory. Následně jsem také analyzoval subjektivní názory obou účastníků na proběhlé hovory, které byly zaznamenány pomocí IVR služby pobočkové ústředny Asterisk. Tyto výsledky jsem následně porovnal a dospěl k názoru, že výsledky analýzy pomocí metody PESQ se velice blíží hodnotám subjektivního vyjádření názoru účastníků, mezi kterými hovor probíhal. Na základě těchto výsledků, tedy hodnotím metodu PESQ jako velmi vhodnou pro testování kvality řeči v mobilních sítích vytvořených za pomoci pobočkové ústředny Asterisk se softwarem OpenBTS. Samozřejmě nutno podotknout, že měření a vyhodnocování pomocí algoritmu nikdy nebude tak dokonalé, jako názor účastníka který se hovoru přímo účastní, ačkoliv se výsledky pomocí metody PESQ tomuto velmi blíží. Protože jsou ovšem obě metody vhodné pro testování kvality hovoru v mobilních sítích, je možné je společně použít pro ještě přesnější vyhodnocení výsledků hovorů díky subjektivnímu názoru účastníka a většímu množství zaznamenaných výsledků.

Co se týče samotné rádio stanice USRP N210 a softwaru OpenBTS, které spolu s Asteriskem tvořily hlavní jádro mobilní sítě, bylo velmi zajímavé sledovat, jak spolu všechny tyto komponenty po správné konfiguraci spolupracují jako jeden celek.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] LEIF MADSEN, Jim Van Meggelen, Russell Bryant. *Asterisk: The Definitive Guide 3rd edition*. 2011-05-05. Sebastopol, CA 95472 USA: O'Reilly Media, 2011. ISBN 0596517343
- [2] Ing. Miroslav VOZŇÁK, Ph.D, Ing. Filip ŘEZÁČ.: *Asterisk teorie a praxe v2* VŠB – TUO, FEI, Katedra elektroniky a telekomunikační techniky
- [3] WINTERMEYER, Stefan. *The asterisk book* [online]. 2010 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://the-asterisk-book.com>
- [4] RANGE NETWORKS, Inc. *OpenBTS P2.8 Users' Manual* [online]. 2011 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: [wush.net/trac/rangepublic/attachment/wiki/WikiStart/SoftwareP2.8Manual.pdf](http://wush.net/trac/rangepublic/attachment/wiki/WikiStart/SoftwareP2.8Manual.pdf)
- [5] ITU-T. *P.862 : Perceptual evaluation of speech quality (PESQ)* [online]. 2001. vyd. 2001 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862/>
- [6] ITU-T. *P.863 : Perceptual objective listening quality assessment* [online]. 2011 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.863/>
- [7] POSUZOVÁNÍ KVALITY HLASU. Ing. MILOSLAV BRADA, Ing. Jan ZELENKA. [Http://www.ip-telefon.cz](http://www.ip-telefon.cz) [online]. 2008 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: [http://www.ip-telefon.cz/archiv/dok\\_osta/ipt-2008\\_Posuzovani\\_kvality\\_hlasu.pdf](http://www.ip-telefon.cz/archiv/dok_osta/ipt-2008_Posuzovani_kvality_hlasu.pdf)
- [8] Building, Installing and Running OpenBTS. RANGE NETWORKS. [Http://wush.net](http://wush.net) [online]. 2011 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://wush.net/trac/rangepublic/wiki/BuildInstallRun>
- [9] PARTILA, Pavol. *SIGNALIZÁCIA SIP*. Žilinská univerzita v Žilině Elektrotechnická fakulta, Katedra telekomunikácií a multimédií, 2011. DIPLOMOVÁ PRÁCE. Žilinská univerzita v Žilině.
- [10] Ettus Research: A national instruments company. ETTUS RESEARCH. [Http://www.ettus.com](http://www.ettus.com) [online]. 2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.ettus.com>