

# Vyhodnocení kvality hovoru pomocí R-faktoru v sítích VoIP

**CESNET, z. s. p. o.**  
**Zikova 4**  
**160 00 Praha 6**

**<http://www.cesnet.cz/iptelefonie/>**

**Autoři jsou řešitelé výzkumného záměru sdružení CESNET:**

Miroslav Vozňák  
Katedra elektroniky a telekomunikační techniky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
VŠB – Technická univerzita Ostrava  
[miroslav.voznak@vsb.cz](mailto:miroslav.voznak@vsb.cz)

David Zukal  
Katedra elektroniky a telekomunikační techniky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
VŠB – Technická univerzita Ostrava  
[david.zukal.fe@vsb.cz](mailto:david.zukal.fe@vsb.cz)

## **OBSAH:**

1	Popis paketového analyzátoru Surveyor	str. 3
2	R – faktor	str. 3
3	Kompatibilita formátů	str. 4
	3.1 Observer	str. 4
	3.2 Ethereal	str. 4
4	Popis praktického měření	str. 5
	4.1 Hovory – laboratorní	str. 7
	4.2 Hovory – veřejná síť	str. 8
5	Přepočet R-faktoru na parametr MOS	str. 9
6	RTCP XR	str. 9
7	Závěr	str. 10
8	Literatura	str. 11

# 1. Popis paketového analyzátoru Surveyor

Program Surveyor je aplikace určená pro monitorování a analyzování sítí typu 10/100/1000 Ethernet pro prostředí Windows. Poskytuje uživateli snadno ovladatelný soubor nástrojů pro monitorování a analýzu. Obsahuje 7-vrstvou analýzu a dekodování paketů, síťové statistiky v reálném čase, pokročilé nastavení alarmů, segmentování a editování paketů.

Pro danou problematiku je podstatný plugin Multi-QoS, který umožňuje monitorování, měření a analyzování QoS volání VoIP (Voice over IP) bez nutnosti generování specifických testovacích volání. Plugin obsahuje také modul VQMon, což je nástroj analýzy kvality VoIP volání, který umožňuje měření na základě standardních pasivních testovacích metod ITU-T. Tím je umožněno přesné odhadnutí MOS (Mean Opinion Score). Multi-QoS zobrazuje přes 20 QoS metrik. Jsou podporovány klíčové protokoly H.323, SIP, SCCP a MGCP umožňující VoIP komunikaci.

Minimální hardwarové požadavky analyzátoru Surveyor jsou následující:

- procesor - Pentium III @ 1GHz
- operační systém - Windows 2000, Windows NT 4.0 nebo Windows XP
- paměť – 512 MB

## 2. R - faktor

Existuje mnoho objektivních faktorů, které přispívají ke kvalitě volání. Některé z těchto faktorů (např. packet loss, packet delay variation) je schopen na základě měření určit daný softwarový analyzátor. Tyto jednotlivé měřící techniky však nevypovídají vše a nepokouší se o kvantifikaci vnímání kvality hovoru uživatelem. Metrika nazvaná R-faktor používá předpis pro zohlednění, jak uživatelského vnímání, tak celkového efektu znehodnocení zařízení pro dosažení numerického vyjádření hlasové kvality.

R-faktor je popsán v doporučení G.107 [4], které popisuje výpočetní model známý jako E-model. Tento je osvědčeným nástrojem plánování přenosu, pro hodnocení kombinovaných účinků variant různých přenosových parametrů, které působí na kvalitu konverzace 3.1 kHz telefonie. Primárním výstupem modelu je „hodnotící faktor“ R (Rating Factor R).

Komponenty pro výpočet jsou popsány v doporučení G.107. Výpočet je založen na E-modelu a kombinuje všechny přenosové parametry důležité pro zvažované spojení. R-faktor se skládá z:

$$R = R_0 - I_S - I_D - I_{E-EFF} + A$$

kde

- $R_0$  - základní koeficient signál-šum
- $I_S$  - součet všech znehodnocení, která mohou nastat současně s přenosem hlasu
- $I_D$  - faktor znehodnocení reprezentující všechny znehodnocení způsobené zpožděním signálů hlasu
- $I_{E-EFF}$  - paketová ztráta, Efektivní faktor znehodnocení zařízení (Effective Equipment Impairment Factor)
- $A$  - faktor zvýhodnění (přípustný rozsah 0..20)

Software určuje dva druhy R-faktoru. Network R-faktor je určen na základě znehodnocení fyzickým zařízením. User R-faktor přičítá vnímavostní efekty k znehodnocení zařízením (např. aktuálnost, zpoždění). Pokouší se přičíst „vnímané“ rušení, které může uživatel pociťovat během volání, na základě vnímavostního efektu nazvaného aktuálnost (recency). Aktuálnost je sluchovým fenoménem, kdy mají vzniklé rozptylující události větší

dopad na vnímanou kvalitu. User R-factor byl vytvořen pro srovnání s výhradně uživatelským subjektivním hodnocením hlasové kvality.

Každá tato metrika je udávána jako samostatná hodnota určená na základě volání, typicky v rozmezí 15 až 94. Nižší číslo indikuje vnímání špatné hlasové kvality [2].

Tabulka 1: Hlasová kvalita, příslušné rozsahy R-faktoru a MOS [2]

Stupnice vhodnosti	Rozsah R-faktoru	Rozsah MOS
žádané (desirable)	94 – 80	4.4 - 4.0
akceptovatelné (acceptable)	80 – 70	4.0 - 3.6
postačující spojení (reach connection)	70 – 50	3.6 - 2.6
nedoporučované (not recommended)	50 – 0	2.6 - 1.0

Program Surveyor určuje R-faktor na základě použití vzorce, který obsahuje paketovou ztrátu (packet loss), jitter, zpoždění přenosu (transmission delay) a aktuálnost (recency). Pro výpočet jitteru používá vzorec na základě RFC 1889.

### 3. Kompatibilita formátů

Kompatibilita formátů ukládaných dat byla testována s ohledem na požadavek možnosti zachycení komunikace pomocí softwarového analyzátoru (Observer a Ethereal) a následného analyzování prostřednictvím programu Surveyor.

Program Surveyor v.6.0 umožňuje načtení zachyceného streamu pomocí několika podporovaných formátů:

- Histogram File (\*.hst)
- Capture File (\*.cap)
- All Capture File Types (\*.hst,\*.cap)
- Sniffer File (\*.enc)

#### 3.1 Observer

Pro zachycení komunikace byly použity dvě verze komerčního programu Observer s licencí (Observer v.8.3, Observer v.9.0).

Kompatibilní formáty:

- Observer v.8.3
  - uložení
  - formát Sniffer Capture (\*.ENC, \*.TRC, \*.FDC)
- Observer v.9.0
  - uložení
  - formát Sniffer Capture (\*.CAP, \*.ENC, \*.TRC, \*.FDC)
- Surveyor v.6.0
  - načtení
  - formát Sniffer File (\*.enc)

#### 3.2 Ethereal

Pro zachycení komunikace byly použity dvě verze program Ethereal [3] s licencí GNU (Ethereal v.0.10.0, Ethereal v. 0.10.6).

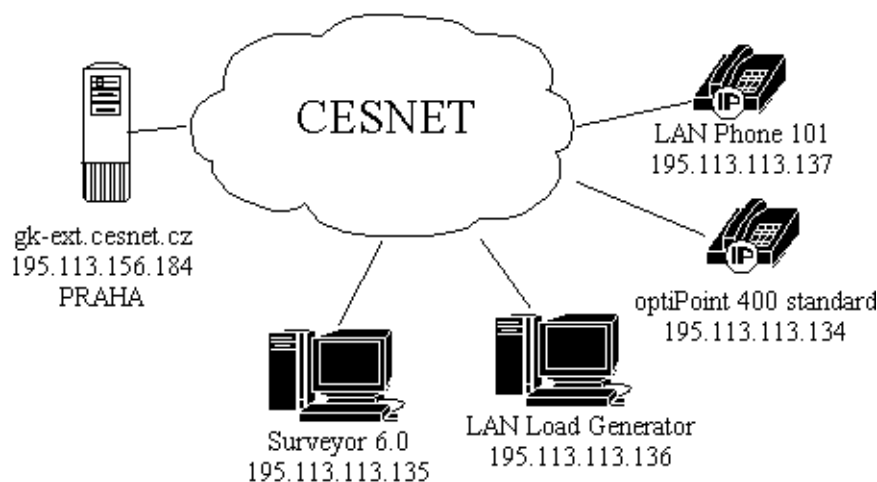
Kompatibilní formáty:

- Ethereal v.0.10.0 - uložení, formát Network Associates Sniffer (DOS-based)
- Ethereal v.0.10.6 - uložení, formát Network Associates Sniffer (DOS-based)
- Surveyor v.6.0 - načtení, formát Sniffer File (\*.enc)

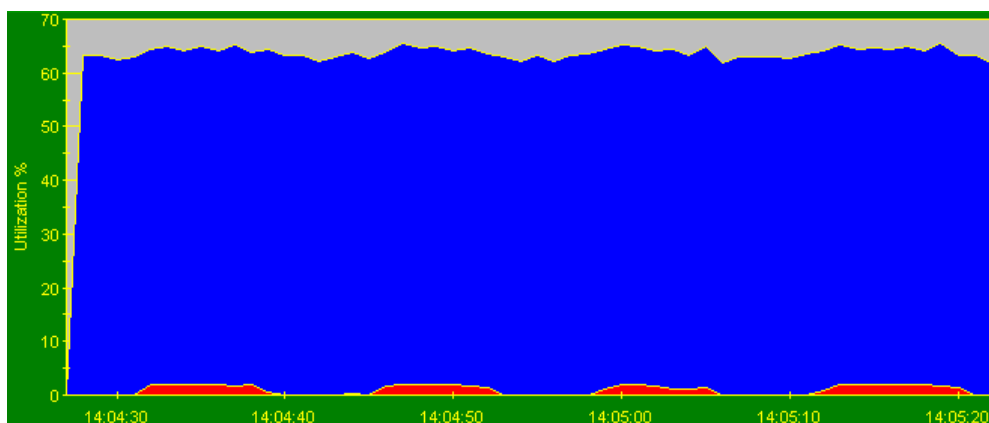
Je nutno dodat, že program Ethereal ukládá soubor bez automatického doplnění příslušnou příponou, je tedy nutné tuto doplnit na tvar \*.enc. Již program Ethereal v.0.10.0 umožňuje ukládání zachycených dat do základního formátu programu Observer v.9.0 (formát \*.BFR).

## 4. Popis praktického měření

Praktické měření bylo provedeno pro VoIP komunikaci za použití protokolu H.323. IP telefon byl připojen prostřednictvím prvku 100Base-T Hub-16M firmy Hewlett Packard do sítě Cesnet, jako gatekeeper byl použit gk-ext.cesnet.cz (ip 195.113.156.184). Do stejné sítě byl rovněž zapojen počítač generující zátěž a počítač zachycující RTP stream prostřednictvím softwarového analyzátoru Surveyor v.6.0 (obrázek 1). Při generované zátěži byl pro zachycení komunikace použit program Ethereal (použití filtru host ip.addr) a to z důvodu problémů s nastavením filtru programu Surveyor. Analýza byla následně provedena prostřednictvím programu Surveyor (viz. kapitola 3.2).



Obrázek 1: Struktura pro laboratorní měření



Obrázek 2: Ukázka grafu vytíženosti (provoz VoIP zobrazen červeně)

Měření bylo provedeno pro síť bez zatížení a pro síť s generovaným zatížením. Jedním z možných řešení generování zátěže je použití programu LAN Load Generator. Program umožňuje generovat datový přenos UDP paketů na danou adresu danou rychlostí (až 100Mbit.s<sup>-1</sup>). Generovaná zátěž použitá při laboratorním měření je zobrazena na obrázku 2.

Protocol	Frame ID	User R Factor	Network R Factor	Jitter	Dropped Packets	RTCP Jitter	RTCP Dropped ...
H323	2974	93	93	7	0	284	0
H323	2202	89	89	9	0	64	0
H323	1546	89	89	10	0	64	0
H323	752	91	91	10	0	64	0
H323	5	72	73	14	0	112	0

Multi-QoS Properties (Capture) window also shows: Total Calls: 5, Calls In Memory: 5, Calls Deleted: 0.

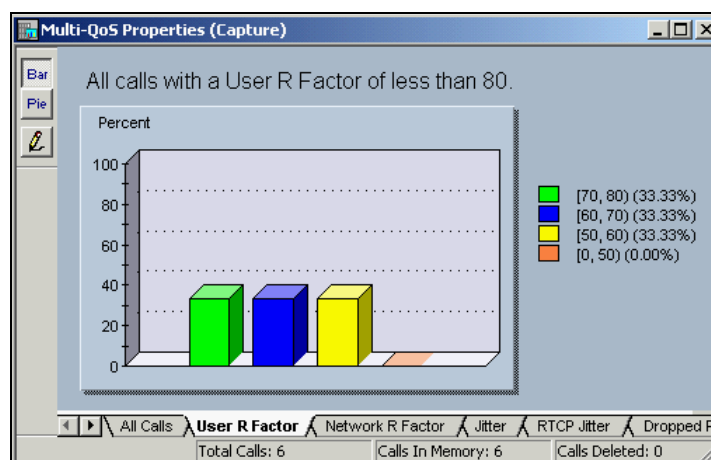
Obrázek 3: Ukázka základního okna Multi-QoS statistik

Na obrázcích (obrázek 3, obrázek 4, obrázek 5) jsou zobrazeny některé ze statistických zobrazení, které poskytuje ve svém grafickém rozhraní program Surveyor. Samozřejmostí je možnost seřazení dat na základě jednotlivých sloupců, vypuštění sloupců a řádků z výpisu nebo upravení rozsahů pro grafy (možnost zadání pěti na sebe navazujících rozsahů).

Status:	This call has completed		
FID:	2819		
Caller Reference Value:	9858	Callee Reference Value:	Unknown
Caller Address:	195.113.113.134	Callee Address:	195.113.144.77
Caller Q.931 Port:	1125	Callee Q.931 Port:	Unknown
Caller H.245 Port:	35897	Callee H.245 Port:	Unknown
Caller Number:	Unknown	Callee Number:	Unknown
Caller Alias:	42059611699	Callee Alias:	420596993010
Caller H.323 Version:	2	Callee H.323 Version:	2
Caller Product:	HiNet LP 5100	Callee Product:	Unknown
Product Version:	3.0	Product Version:	Unknown
Start Time:	11/12/2004 13:57:52	Fast Start:	Yes
Stop Time:	11/12/2004 13:57:56	Release Code:	16 (Normal call clearing)
Setup Time (ms):	289		

Buttons: View Channel Details, Single Call Display Filter

Obrázek 4: Ukázka detailního pohledu na konkrétní hovor



Obrázek 5: Ukázka grafického zobrazení rozdělení naměřených R-faktorů

## 4.1 Hovory - laboratorní

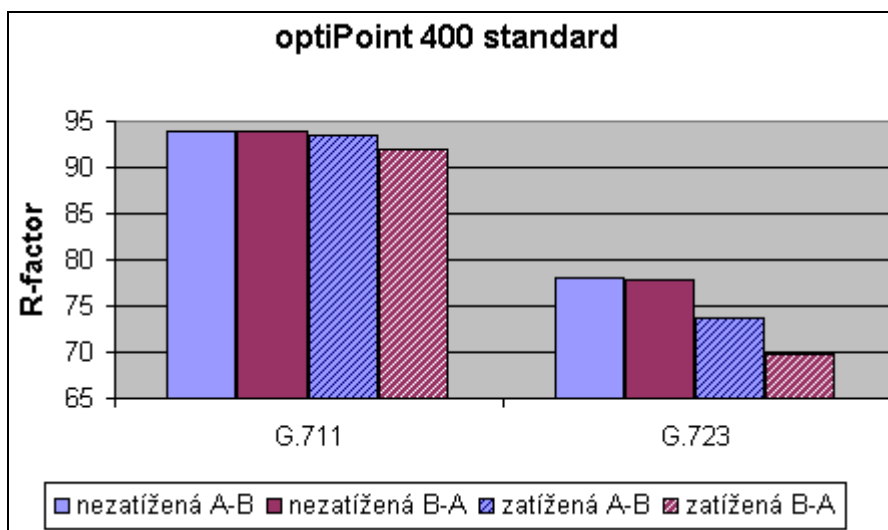
V následujících tabulkách a grafech jsou uvedeny konkrétní naměřené hodnoty některých parametrů. Uvedené hodnoty R-faktoru, Sestavení spojení a Jitteru jsou hodnotami středními. Parametr MOS je získán přepočtem daného R-faktoru na základě vztahu uvedeného v kapitole 5.

Jednotlivé parametry (R-faktor, MOS, jitter) jsou uvedeny odděleně pro jednotlivé směry zachycené komunikace. Hovory byly generovány ve směru A-B. V tabulce 3 je u některých hodnot parametru R-faktor uvedena hvězdička. To znamená, že daný kanál hovoru byl dekódován jako jiný hlasový kodek, než kterým byl proveden. Tyto hodnoty jsou tedy chybné a pro naše účely nepoužitelné.

**IP Phone:** Siemens, optiPoint 400 Standard, application version: 3.1.24

Tabulka 2: Naměřené hodnoty parametrů  
(uvedené jsou střední hodnoty naměřených parametrů)

Kodek	Stav sítě	R-faktor směr A-B	MOS směr A-B	R-faktor směr B-A	MOS směr B-A	Jitter [ms] směr A-B	Jitter [ms] směr B-A	Sestavení spojení [ms]
G.711	nezatížená	94	4,42	94	4,42	1,875	0,375	321,6
	zatížená	93,4	4,41	92	4,38	8,15	9,95	304,2
G.723	nezatížená	78	3,95	77,8	3,94	1,375	0,075	304
	zatížená	73,6	3,76	69,8	3,59	10,375	14,575	314,8

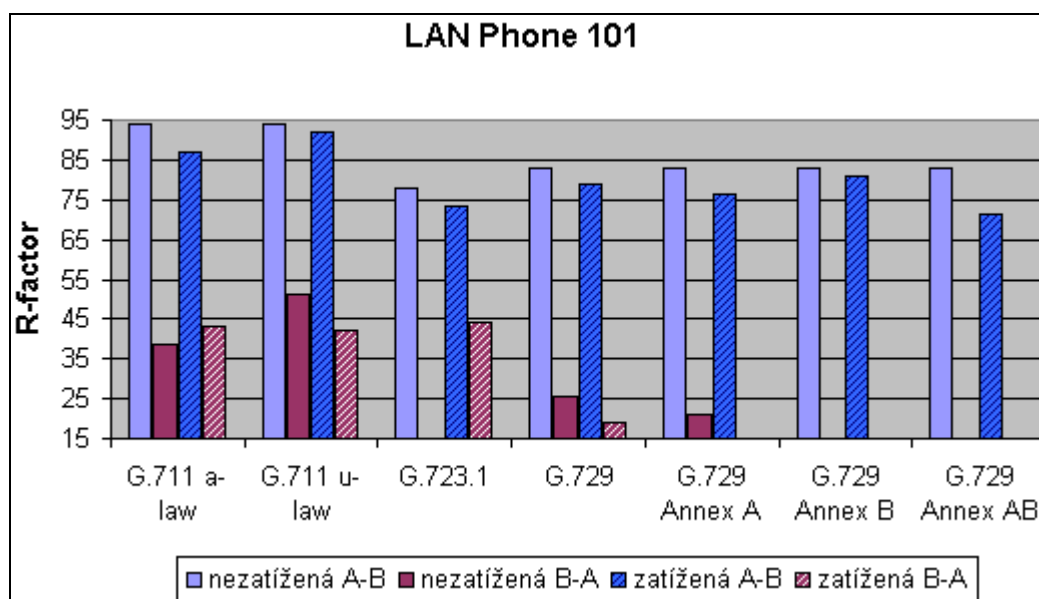


Obrázek 6: IP telefon Siemens, Grafické zobrazení hodnot R-faktoru

**IP Phone:** Welltech, LAN Phone 101, application version: lp101.506a

Tabulka 3: Naměřené hodnoty parametrů  
(uvedené jsou střední hodnoty naměřených parametrů)

Kodek	Stav sítě	R-faktor směr A-B	MOS směr A-B	R-faktor směr B-A	MOS směr B-A	Jitter [ms] směr A-B	Jitter [ms] směr B-A	Sestavení spojení [ms]
G.711 a-law	nezatížená	94	4,42	38,8	2,01	0,6	48,875	297,4
	zatížená	87	4,26	43	2,21	14,15	54,475	308,6
G.711 u-law	nezatížená	94	4,42	51,2	2,64	1,725	41,4	323,4
	zatížená	91,8	4,38	42	2,16	9,025	50,125	333,6
G.723.1	nezatížená	78	3,95	92,2 *	4,39	0,825	84,15	299,2
	zatížená	73,6	3,76	44,3	2,28	10,975	79,75	404,6
G.729	nezatížená	83	4,13	25,67	1,44	0,375	50,85	325,4
	zatížená	79	3,99	19,2	1,23	11,925	50,475	283
G.729 Annex A	nezatížená	83	4,13	21,2	1,29	2,35	53,825	333,4
	zatížená	76,4	3,88	15,2	1,13	12,775	56,575	352,2
G.729 Annex B	nezatížená	83	4,13	57,4 *	2,96	3,575	52,65	297,8
	zatížená	81	4,06	59,2 *	3,06	8,8	37,925	329
G.729 Annex AB	nezatížená	83	4,13	57,8 *	2,99	4,625	47,975	325,6
	zatížená	71,2	3,65	61,6 *	3,18	15,775	44,775	297,2



Obrázek 6: IP telefon Welltech, Grafické zobrazení hodnot R-factoru

## 4.2 Hovory – veřejná síť

V následující tabulce jsou uvedeny konkrétní naměřené hodnoty některých parametrů. Parametr MOS je opět získán na základě vztahu uvedeného v kapitole 5. Hovory byly generovány ve směru A-B, použitý kodek G.723. Linka označená jako 256 kbit.s<sup>-1</sup> je IP telefon připojený prostřednictvím ISP (Internet Service Provider) s garantovanou šířkou pásma.



Tabulka 4: Naměřené hodnoty parametrů

Kodek	Rychlost připojení	R-faktor směr A-B	MOS směr A-B	R-faktor směr B-A	MOS směr B-A	Jitter [ms] směr A-B	Jiter [ms] směr B-A	Sestavení spojení [ms]
G.723	34 Mbit.s <sup>-1</sup>	78	3,95	78	3,95	0,375	1,875	202
	256 kbit.s <sup>-1</sup>	78	3,95	78	3,95	0,625	1,875	199

Z tabulky je patrné, že hodnota R-faktoru je 78 (MOS 3,95) a nemění se v závislosti na rychlosti daného připojení. Pokud se podíváme například na dokumentaci firmy Cisco [6], najdeme tam, že pro kodek G.723.1 MP-MLQ je požadována přenosová rychlost 6,3 kbit.s<sup>-1</sup> a tomu odpovídá maximální hodnota MOS 3,9. Na základě těchto údajů lze tento výsledek vysvětlit. Pokud je na dané lince zajištěna požadovaná šířka pásma, která je pro hovor s G.723.1 18,9 kbit.s<sup>-1</sup> na vrstvě síťové a na fyzické vrstvě 24 kbit.s<sup>-1</sup>, pak lze předpokládat, že hodnota MOS (R-faktor) bude omezena pouze na základě vlastností daného kodeku [7].

## 5. Přepočítání R-faktoru na parametr MOS

Jeden ze způsobů jak převést parametr R-faktor na parametr MOS je uveden v literatuře [1].

$$MOS = \begin{cases} R \leq 6.5 & 1 \\ 6.5 \leq R \leq 100 & 1 - \frac{7}{1000} \cdot R + \frac{7}{6250} \cdot R^2 - \frac{7}{1000000} \cdot R^3 \\ R \leq 100 & 4.5 \end{cases}$$

Tento vzorec může být invertován v rozsahu  $6.5 \leq R \leq 100$  pro výpočet R-faktoru z parametru MOS prostřednictvím následujícího vztahu:

$$R = \frac{20}{3} \cdot \left( 8 - \sqrt{226} \cdot \cos\left(h + \frac{\pi}{3}\right) \right)$$

předpoklad

$$h = \frac{1}{3} \cdot \arctan 2 \left( 18566 - 6750 \cdot MOS, 15 \sqrt{-903522 + 1113960 \cdot MOS - 202500 \cdot MOS^2} \right)$$

$$\arctan 2(x, y) = \begin{cases} \arctan(y/x) & \text{for } x \geq 0 \\ \pi - \arctan(y/-x) & \text{for } x < 0 \end{cases}$$

Při zobrazení detailů konkrétního kanálu lze získat mimo jiné i konkrétní velikost parametru MOS. V dokumentaci [2] je však uvedeno, že se jedná o odhadovanou hodnotu. Porovnáme-li hraniční hodnoty uvedené v literatuře [2] (tabulka 1) můžeme konstatovat, že hodnoty určené na základě vzorce odpovídají (liší se v řádu několika setin).

## 6. RTCP XR

Jedním z nových řešení jak monitorovat parametry QoS je implementace RTCP XR. Nový VoIP managementový protokol, RTP Control Protocol Extended Reports (RTCP XR), definuje soupravu metrik, které obsahují informace pro hodnocení VoIP kvality volání a určování problémů. IETF publikovalo RTCP jako RFC 3611 [5].

Report blok VoIP metrik (obsažený v RTCP XR) může být aplikován na každou hlasovou aplikaci, pro kterou je specifikováno použití protokolu RTP a RTCP. Použití hovorových metrik, včetně R-faktoru (reprezentován 8 bity) a MOS pro kvalitu hovoru, v jiných aplikacích než je jednoduché volání dvou účastníků není definováno. Proto tedy mohou být tyto metriky označeny jako nepoužitelné v multicast konferenčních aplikacích.

## 7. Závěr

Na základě laboratorního měření jsme určili konkrétní hodnoty R-faktoru pro dané typy IP telefonů a pro podporované kodeky. Na základě tabulky 1 můžeme říci, že hraniční hodnota R-faktoru pro použití v oblasti VoIP je hodnota 50, respektive MOS 2.6.

IP telefon Siemens optiPoint 400 standart splňuje tuto podmínku pro oba podporované kodeky (G.711, G.723) a to při nezatížené síti i při zatížené síti 60 % provozem. Nevýhodou tohoto telefonu dané aplikační verze 3.1.24 je však právě podpora pouze těchto dvou kodeků.

IP telefon Welltech LAN Phone 101 splňuje tuto podmínku pro všechny podporované kodeky (G.711 a-law, G.711 u-law, G.723.1, G.729, G.729 Annex A, G.729 Annex B a G.729 Annex AB) ve směru volání A-B (kanál z testovacího telefonu) a to jak pro nezatíženou tak pro zatíženou síť. Ve směru volání B-A (kanál do testovacího telefonu) byla podmínka použitelnosti (minimální hodnota R-faktoru 50) splněna pouze při použití kodeku G.711 u-law. Pro kodeky G.729 Annex B a G.729 Annex AB nelze hodnotu R-faktoru určit, protože hovor byl dekodován jako jiný typ kodeku.

Při měření R-faktoru hovorů do veřejné sítě jsme zjistili, že pro daný koden (G.723) je hodnota konstantní a omezení je dáno pouze daným kodekem. Vysvětlení spočívá ve skutečnosti, že na daných linkách byla zajištěna požadovaná šířka přenosového pásma.

Z hlediska vzájemné kompatibility podporovaných formátů bych programy použité při analýze RTP streamu seřadil takto:

- Observer
- Ethereal
- Surveyor

### Program Surveyor:

- + dobře řešené grafické rozhraní, možnost zobrazení grafických statistik
- + přehledně zpracovaný výpis analyzovaného paketu
- + pro získání subjektivního měření hlasové kvality je možno přehrát volání (formát uložení WAV), které je složeno z RTP hlasových paketů zapouzdřených PCMU nebo PCMA (kodeky G.723, G.729 nebo G.711). Zvolený kanál hovoru je automaticky po uložení přehrán.
- v detailním výpisu QoS statistik lze v položce RTCP Name nalézt hodnotu „Cisco IOS, VoIP Gateway“. Při exportu dat do formátu CSV (Export Multi-QoS Data), pak právě tato hodnota znemožní správné načtení do programu Excel. Formát CSV je načítán do tabulky na základě oddělovacího znaku mezi jednotlivými hodnotami, oddělovacím znakem je právě znak „čárka“.
- hovor je reprezentován dvěma oddělenými audio kanály, při exportu dat jsou tyto kanály zapsány za sebe, což opět přispívá k znesnadnění zpracování dat.
- při zobrazení tabulky Channel Details obsahující konkrétní velikost R-faktoru pro oba hlasové kanály hovoru nebylo možné provést uložení (volba Export) do CSV formátu, což je podstatným nedostatkem s ohledem na skutečnosti, že data exportována prostřednictvím Export All Multi-QoS Data právě tyto údaje neobsahují.

- nepodařilo se aplikovat filtr na komunikaci mezi dvěma telefony, program stále v módu Capture zachytával všechny pakety.
- příliš malá paměť bufferu (max. 32MB), toto je možné obejít nastavením automatického ukládání bufferu (opět omezena velikost na max, 10MB). Při zachycení obsáhlejší komunikace dojde k roztržení hovorů do více souborů.
- chybné zpracování při použití kodeku G.729 Annex B , G.729 Annex A B
- chybí konkrétní výpis podporovaných kodeků

## 8. Literatura

- [1] Information about a new method for deriving the transmission rating factor R from MOS in closed form, ITU – Telecommunication Standardization Sector Temporary Document XX-E WP 2/12, Geneva, 27-31 May 2002
- [2] Surveyor – User’s Guide, Release 6.0, Finisar
- [3] [www.ethereal.com](http://www.ethereal.com)
- [4] ITU-T Recommendation G.107 (2003), The E-model, a computational model for use in transmission planning
- [5] <http://www.ietf.org/rfc/rfc3611.txt> , RTP Control Protocol Extended Reports
- [6] [http://www.cisco.com/warp/public/788/voip/codec\\_complexity.html](http://www.cisco.com/warp/public/788/voip/codec_complexity.html) , Understanding Codecs: Complexity, Hardware Support, MOS and Negotiation
- [7] Voznak , M.:Voice over IP and Jitter Avoidance on Low Speed Links, International Conference Research in Telecommunication Technology RTT2002, Zilina, 2002., ISBN 80-227-1934-X.