

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu

Analýza nasazení IP telefonie
jako základního komunikačního nástroje ve firemním prostředí

Diplomová práce

Autor: Bc. Pavel Novotný

Studijní obor: Informační management – kombinovaná forma

Vedoucí práce: Mgr. Josef Horálek Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracoval samostatně a je mým původním autorským dílem. Všechny zdroje a literatura, která byla při vypracování použita, jsou v díle řádně citovány s uvedením příslušného úplného odkazu.

V Hořicích dne

Bc. Pavel Novotný

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Mgr. Josefu Horálkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá principem VoIP telefonie a způsoby jejího nasazení ve firemním prostředí. V teoretické části bude představena funkce analogové telefonie a vývoj spojovacích systémů. Bude vysvětlena digitalizace analogového signálu a kodeky užívané v IP telefonii. Dále budou představeny základní komponenty a principy VoIP standardů pro přenos paketů hlasu v TCP/IP sítích. Pro praktický návrh budou popsány technické aspekty přechodu na VoIP ve firemních sítích.

Praktická část práce navazuje na poznatky z předchozí teorie. Na základě definovaných požadavků budou provedeny návrhy nasazení VoIP technologie v menší modelové společnosti. Součástí případových studií je řešení zapojení a přechodu firmy na hlasový provoz prostřednictvím datové sítě.

Závěrem bude uvedena cenová rozvaha navrhovaných řešení společně s popisem ekonomického a technického zhodnocení.

Annotation

This diploma thesis deals with the principle of VoIP telephony and ways of its implementation in corporate deployment. The theoretical part will be presented analog telephony principles and development of switchboard systems. Digitalization of analog signal will be explained and codecs used in VoIP telephony as well. There will be also introduced the basic principles of VoIP components and standards for transfer of voice packets in TCP / IP networks. Practical proposal will describe the technical aspects of changeover to VoIP in corporate networks.

Practical part is based on findings from previous theoretical part. Based on the specified requirements will be made model suggestions of deployment of VoIP technology in the environment of a small model company. Part of case studies are solutions for company changeover to transfer voice via the network. In conclusion will be done the balance score sheet of the prices of mentioned proposed solutions, together with a description of the economic and technical improvements.

Obsah

Seznam zkratk	ix
Seznam obrázků	xi
Seznam tabulek	xiii
1 Úvod.....	1
2 Základní principy VoIP telefonie.....	2
2.1 Základní součásti klasické telefonní sítě	2
2.2 Princip spojení v klasické telefonní síti	3
2.3 Současná veřejná telefonní síť	4
2.4 Struktura klasické telefonní sítě v České republice	5
2.5 Obecný vývoj spojovacích systémů	6
2.5.1 Generace spojovacích a přenosových systémů v telefonii	6
2.6 Signalizace v telefonii	11
2.7 Digitální zpracování signálu	14
2.7.1 Vzorkování	14
2.7.2 Shannon-Kotělníkův teorém	16
2.7.3 Kvantování	16
2.8 A/D a D/A převodníky	18
2.9 Kodeky.....	20
2.9.1 Vlastnosti kodeků	20
3 Architektura a komponenty sítě VoIP	22
3.1 Architektura IP telefonie	22
3.1.1 Distribuovaná architektura	22

3.1.2	Centralizovaná architektura.....	22
3.2	Základní komponenty a prostředí VoIP sítě	23
3.2.1	Prostředí sítě VoIP	25
4	Funkce VoIP technologie.....	26
4.1	Povinné funkce VoIP.....	26
4.2	Nepovinné (rozšířené) funkce VoIP	27
5	Protokoly VoIP	28
5.1	Síťové protokoly.....	29
5.2	Transportní protokoly TCP a UDP	29
5.3	Aplikační protokoly	30
5.3.1	Protokoly pro přenos médií RTP a RTCP	31
5.4	Signalizační řídicí protokoly peer to peer.....	32
5.4.1	SIP – Session Internet Protocol.....	32
5.4.2	H.323	36
5.5	Signalizační protokoly klient-server.....	38
5.5.1	MGCP – Media Gateway Control Protocol	38
5.5.2	SCCP – Skinny Client Control Protocol	38
5.6	Bezpečnostní protokoly	39
5.6.1	IPSec – Internet Protocol security	39
5.6.2	TLS - Transport Layer Security Protocol.....	39
5.6.3	DTLS – Datagram Transport Layer Security Protocol	39
5.6.4	SRTP a SRTCP	40
5.6.5	ZRTP – Zimmermann secure Real-time Transport Protocol	40

6	Technické aspekty implementace VoIP technologie	41
6.1	Konektivita firmy	41
6.1.1	Asymetrické ADSL/VDSL připojení	41
6.1.2	Symetrické metalické připojení SHDSL	42
6.1.3	Symetrické radiové připojení	43
6.1.4	Symetrické optické připojení	43
6.1.5	Satelitní připojení	43
6.2	Kvalita obsluhy QoS (Quality of Services)	44
6.2.1	Problémy sítí VoIP telefonie	44
6.2.2	Požadavky pro přenos hlasu v IP sítích	45
6.2.3	Aplikace QoS mechanismů při implementaci VoIP	45
6.3	Poslechová kvalita a její hodnocení	46
6.4	Výpočet a volba šířky pásma	47
6.4.1	Výpočet Erlangů	47
6.4.2	Stanovení kvality obsluhy GoS	47
6.4.3	Kalkulace počtu potřebných linek	48
6.4.4	Stanovení šířky pásma	48
6.5	Zabezpečení přenosu hlasu ve VoIP síti	48
6.5.1	Řízení přístupu k síťovému médiu na úrovni portů.	49
6.5.2	Oddělení hlasových a nehlasových služeb	50
6.5.3	Zabezpečení datových spojení	50
6.5.4	Zabezpečení signalizačních spojení	51
7	Návrh řešení nasazení VoIP ve firemním prostředí	52

7.1	Implementace VoIP technologie v menší firmě	52
7.1.1	Stávající stav hlasových a datových služeb.....	53
7.2	Navrhovaná řešení – rozhodovací analýza	55
7.2.1	Požadavky zadavatele	55
7.3	Virtuální ústředna se službou IP Centrex	56
7.3.1	Technické řešení připojení pomocí služby IP Centrex.....	56
7.3.2	Nabízené služby virtuální ústředny IP Centrex.....	58
7.4	Navrhované řešení službou 802 TRUNK.....	60
7.4.1	Technické řešení připojení službou 802 TRUNK.....	60
7.4.2	Přechodový stav	61
7.4.3	Finální fáze implementace.....	63
7.5	Koncová zařízení	65
8	Ekonomická analýza	67
8.1	Náklady na realizaci a provoz technologie.....	67
8.2	Srovnání nákladů realizací obou řešení	68
8.2.1	Pořizovací náklady:	68
8.2.2	Náklady na rozšíření.....	69
8.2.3	Provozní náklady.....	69
8.3	Výsledné srovnání	71
8.3.1	Srovnání provozních úspor.....	71
8.3.2	Doba návratnosti investice	72
8.3.3	Ukazatel úspory ROI.....	72
9	Zhodnocení přechodu na VoIP technologii	73

10	Závěr.....	75
11	Bibliografie.....	76

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
ADPCM	Adaptivní diferenční pulsně-kódová modulace (např. kodek G.726)
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
BHT	Busy Hour Traffic
BRI	Basic Rate Interface
CS-ACELP	Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction (např. kodek G.729 určený výhradně pro kompresi lidské řeči)
CAS	(Channel Associated Signalling)
CCS	Common Channel Signaling
CCM	Cisco Call Manager – Zprostředkovatel volání (nahrazuje funkce klasické TÚ)
CISCO	Cisco Systems, Inc.
CRM	Customer relationship management
CRTP	Compressed Real-Time Transfer Protocol
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DoS	Denial of Service (odmítnutí služby)
DSP	Digital Signal Processor
DTMF	Dual-tone Multi-frequency (frekvenční volba)
DWDM	Dense Wavelength-division Multiplexing
EAPOL	Extensible Authentication Protocol over LAN
FDM	Frequency-Division Multiplexing (Frekvenční multiplex)
FIFO	First In First Out (metoda řazení do front)
FXO	Foreign Exchange Office
FXS	Foreign Exchange Station
GOS	Grade of Services (kvalita hodnocení)
GSM	Global System for Mobile Communications
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
HW	Hardware
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IP Sec	Internet Protocol Security
IPv4	Internet Protocol verze 4
IPv6	Internet Protocol verze 6
ISDN	Integrated Service Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
IVR	Interactive Voice Response
JTS	Jednotná Telefonní Síť
LAN	Local Area Network
LD-CELP	Low Delay Conjugate Excited Linear Prediction (např. kodek G.728)
MC	Multipoint Controller
MCU	Multipoint Control Unit
MGCP	Media Control Gateway Protocol
MIPS	Milion Instruction Per Seconds (Počet instrukcí vykonaných za sekundu)
MOS	Mean Opinion Score

MP	Multipoint Processor
NT	Network Terminal (síťový adapter)
PAM	Pulsně-amplitudová modulace (Počáteční proces vzorkování signálu)
PBX	Private Branch Exchange (Pobočková telefonní ústředna)
PCM	Pulsně-kódová modulace (např. kodek G.711)
PoE	Power over Ethernet
POI	Payback Of Investment
PESQ	Perceptual Evaluation Speech Quality
PSQM	Perceptual Speech Quality Measurement
PSTN	Public Switched Telephone Network (Veřejná komutovaná telefonní síť)
PRI	Rozhraní
QoS	Quality of Service
RFC	Request For Comments
RJ11	Registered Jack No. 11 (registrovaný konektor č. 11 – telefonní přípojka)
RJ45	Registered Jack No. 45 (registrovaný konektor č. 45 – LAN, WAN a podobně)
ROI	Return Of Investment
RTCP	Real-Time Control Protocol
RSU	Remote Subscriber Unit (Vzdálená účastnická jednotka)
RTP	Real-Time Transfer Protocol
SCCP	Skinny Client Control Protocol
SCP	Signaling Control Point (Kontrolní bod signalizace)
SCTP	Stream Control Transmission Protocol
SDP	Session Description Protocol
SHDSL	Symmetrical High-speed Digital Subscriber Line
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SRTP	Secure Real-Time Transfer Protocol
SSP	Service Switching Point (Uzlový bod připojení signalizace)
SS7	Signaling System Number 7 (Signalizace č.7 - typ CCS signalizace)
STP	Signaling Transfer Point (Tranzitní bod signalizace)
SW	Software
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time-Division Multiplexing (Časový multiplex)
UA	User Agent
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UTP	Unshielded Twisted Pair (Nestíněná kroucená dvojlinka)
UDP	User Datagram Protocol
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VoIP	Voice over Internet Protocol
WAN	Wide Area Network
ZRTP	Zimmermann secure Real-time Transport Protocol

Seznam obrázků

Obrázek 1 Součásti tradiční telefonní sítě podle [3]	3
Obrázek 2 Hierarchie JTS v České republice podle [6]	5
Obrázek 3 Princip FDM – upraveno podle [8] a [9]	8
Obrázek 4 Princip časového multiplexu - převzato z [11]	9
Obrázek 5 Princip obou ISDN rozhraní podle [4].....	10
Obrázek 6 Princip přenosu a řízení hovoru pomocí signalizace SS7 dle [7]	12
Obrázek 7 Blokové schéma digitalizace a rekonstrukce původního signálu – převzato z [16]	14
Obrázek 8 Analogový spojitý signál a jeho vzorkování – převzato z [16]	15
Obrázek 9 Aliasing – převzato z [17].....	15
Obrázek 10 Srovnání lineární a logaritmické kvantizace – zdroj autor ze [18]	17
Obrázek 11 Princip A/D převodníku s čtyřbitovým slovem – převzato z [19].....	18
Obrázek 12 Schéma zapojení D/A převodníku s osmibitovým slovem – převzato z [26].....	19
Obrázek 13 Komponenty VoIP sítě podle [2]	23
Obrázek 14 Čtyřvrstvý model TCP/IP v sítích VoIP podle [28].....	28
Obrázek 15 Struktura hlaviček protokolů TCP a UDP (vpravo) - převzato z [28]	30
Obrázek 16 Princip paketizace dat a jejich následný přenos sítí VoiP – převzato ze zdroje [28]	31
Obrázek 17 Diagram signalizační výměny zpráv SIP protokolu – převzato z [40].....	36
Obrázek 18 Zjednodušená architektura H.323 podle [44]	37
Obrázek 19 Bezpečná autentizace pomocí 802.1x podle [48]	49
Obrázek 20 Princip oddělení provozu hlasu a dat pomocí VLAN podle [48]	50
Obrázek 21 Zabezpečení signalizace pomocí SIPS podle [48].....	51

Obrázek 22 Stávající zapojení telefonní a datové sítě modelové firmy	54
Obrázek 23 Obecné schéma řešení zapojení službou IP Centrex	57
Obrázek 24 Okno aplikace "Recepční" služby IP Centrex. Převzato z [73]	59
Obrázek 25 Fáze přechodu na VoIP technologii pomocí služby 802 TRUNK.....	62
Obrázek 26 Konečná fáze přechodu na VoIP službu 802 TRUNK 10	63
Obrázek 27 Manažerský IP telefon Yealink SIP-T46G – převzato z [76].....	65
Obrázek 28 Panasonic [77]	65
Obrázek 29 IP telefon Panasonic KX-HDV130NEB převzato z [78].....	66
Obrázek 30 Bezdrátový IP telefon Panaonicc DECT KXTGP600CEB – převzato z [79]	66
Obrázek 31 Pořizovací náklady služby IP Centrex	68
Obrázek 32 Srovnání měsíčních úspor provozních nákladů v závislosti na velikosti provozu 71	

Seznam tabulek

Tabulka 1 Kodeky ve VoIP [15]	21
Tabulka 2 Parametry MOS podle [6]	46
Tabulka 3 Seznam použitých stávajících telefonních přístrojů v modelové fiktivní firmě Elektram	54
Tabulka 4 Přidělená čísla stovkové provolby operátorem	64
Tabulka 5 Pořizovací náklady služby 802 TRUNK 10	68
Tabulka 6 Rozdělení průměrně měsíčně provolaných minut ve firmě Elektram.....	69
Tabulka 7 Měsíční provozní náklady a vyčíslení úspor řešením hlasového provozu pomocí VoIP	70
Tabulka 8 Srovnání návratnosti řešení VOIP ukazatelem POI	72
Tabulka 9 Srovnání výnosnosti řešení VoiP ukazatelem ROI	72

1 Úvod

Telefonie se za 140 let svého vývoje stala nedílnou součástí života lidí na této planetě. Kvalitní infrastruktura telekomunikační a datové sítě pro přenos informací je základem fungující ekonomiky každé země.

K nejstarší klasické telefonii se koncem dvacátého století přidružuje mobilní buňková technologie. S vynálezem fenoménu Internetu se paralelně s digitalizací klasické telefonie vyvíjí infrastruktura datových sítí. Obě prostředí jsou zpočátku odlišná zejména díky expanzi informatiky. Plošný rozvoj počítačových sítí, dostupnost a kvalita internetového připojení jsou základy pro vznik IP telefonie – přenosu hlasu po datové síti. Slučování dvou dosud oddělených přenosových infrastruktur telekomunikačních a datových sítí je někdy také nazýváno termínem konvergence. Tento proces je motivován zejména technologickými a ekonomickými důvody.

Nasazení VoIP telefonie je dnes častým řešením zejména v prostředí firem. Možnost výběru přenosové technologie a relativně nenáročného rozšíření již fungující podnikové sítě patří k důvodům tohoto rozhodnutí. Nejen firmy, ale také domácnosti a jednotliví uživatelé mohou využitím aplikace VoIP výrazně ušetřit za leckdy předražené služby operátorů klasické telefonie.

Hlavním cílem práce, která má převážně popisný charakter, je představit VoIP technologii. Bude vysvětlena funkce jednotlivých komponent a princip protokolů pro přenos hlasu v datové síti.

Dalším krokem bude popis aplikace VoIP telefonie ve firemním prostředí. Na návrhu VoIP řešení hlasového provozu menší firemní sítě bude poskytnuto ekonomické a technické srovnání oproti telefonii klasické.

Současný uživatel internetové telefonie by měl mít také povědomí o telefonii klasické, která je základem znalostí pro pochopení principu VoIP.

Práce má rovněž za cíl být podporou pro techniky a všechny osoby studující problematiku VoIP telefonie. Pro uživatele pak může být rozšířením znalostí v této doméně.

2 Základní principy VoIP telefonie

VoIP (Voice Over Internet Protocol - dále jen VoIP) telefonii lze definovat jako soubor technologií pro přenos hlasu po datové síti založených na protokolu IP. Veřejností užívané pojmy internetová telefonie nebo IP telefonie jsou dalšími synonymy pro VoIP, jak uvádí [1].

Tento mechanismus zároveň definuje způsob přenosu hlasových proudů, včetně digitalizace a následné paketizace. Datová (počítačová) síť se stává společným prostředím pro přenos hlasu. Výsledkem efektivnějšího využití přenosových cest je takzvaná konvergovaná síť, kde se hlasový provoz realizuje společně s ostatními daty po síti s přepojováním paketů. Zatímco u klasické telefonie je pro hlas sestavena fyzická cesta, v případě IP telefonie je vytvořeno pouze logické spojení. Pro uskutečnění přenosu je třeba převést hlas odesilatele do digitální podoby a na druhé straně příjemce získat tento hlas v původní pokud možno nezkreslené a nezměněné podobě. V současné době je toto řešení alternativou ke klasické telefonii, která je postavena na samostatných sítích s přepojováním okruhů. Obě technologie mají mnoho společného a v základním principu fungují podobně, jak uvádí [2].

Pro pochopení principu přenosu hlasu prostřednictvím počítačové sítě je proto bude nejprve popsát funkci telefonie klasické.

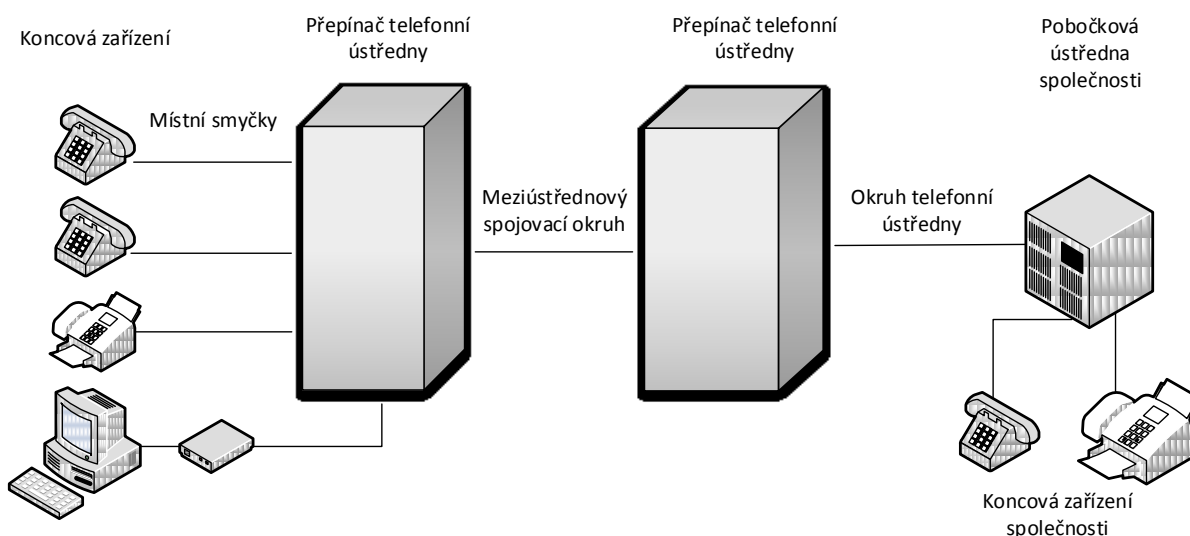
2.1 Základní součásti klasické telefonní sítě

K uskutečnění telefonního spojení mezi vzdálenými uživateli telefonní sítě musí být nejprve sestavena přenosová cesta. Dochází tím k propojení koncových zařízení uživatelů prostřednictvím telefonních ústředen a okruhů mezi nimi.

Základní součásti klasické telefonní sítě tvoří koncová zařízení (telefony, faxy atd.), která se připojují k telefonní ústředně pomocí místní smyčky. Smyčku představuje obvykle dvojice kroucených vodičů (páru), v telefonii označovaných jako a-vodič a b-vodič.

Přepínač telefonní ústředny propojuje místní smyčku volajícího a volaného účastníka na základě volbou vyslaného telefonního čísla cílového přístroje adresáta. Přepínače ústředen pak mezi sebou propojují spojovací okruhy schopné přenášet více souběžných hovorů.

Základní architektura klasické telefonní sítě je znázorněna na obrázku 1.



Obrázek 1 Součásti tradiční telefonní sítě podle [3]

2.2 Princip spojení v klasické telefonní síti

Vyzvednutím mikrotelefonu dochází k průtoku proudu a uzavření okruhu (místní smyčky) pro připojení volajícího účastníka k přepínači telefonní ústředny. O tomto připojení je volající účastník informován smyčkovou signalizací – obdržáním oznamovacího tónu. Dalšími variantami této informační signalizace stavu linky mohou být například tóny obsazeno, porucha nebo výzva k uvolnění linky.

Volbou telefonního čísla volaného účastníka dochází k adresní signalizaci pro sestavení výsledné hovorové cesty. Informace o volaném čísle pro přepínač telefonní ústředny je zasílána přístrojem volajícího ve formátu pulzní nebo tónové volby. Princip starší pulzní volby spočíval v generování volaného čísla při návratu číselníku telefonního přístroje do výchozí polohy. Docházelo tím k přerušování kontaktů relé zapojeného v obvodu místní smyčky. Novější tónová DTMF¹ volba využívá kombinací dvou generovaných frekvencí v závislosti na voleném čísle tlačítkovou klávesnicí přístroje. Více o DTMF [4].

¹ Dual-tone Multi-frequency

Po nalezení a sestavení hovorové cesty přepínačem (spojovacím polem) ústředny dojde k propojení přenosových tras mezi ústřednami. V případě volné cesty obdrží volající účastník kontrolní vyzváněcí tón, který ho informuje o vyzvánění přístroje volaného. Volaný účastník obdrží vyzváněcí tón, přestože je stejnosměrný obvod -48V jeho místní smyčky otevřený (stav zavěšeno). To je dáno zapojením obvodu kondenzátoru vedoucího střídavý vyzváněcí proud. Přihlášením volaného dochází k propojení cesty účastníků a k zahájení hovoru. Zavěšením jednoho z účastníků dochází k přerušení místní smyčky a rozpadu spojení. Obecný princip tohoto telefonního spojení je podobný napříč jednotlivými etapami vývoje klasické telefonie až po současnost. [3]

2.3 Současná veřejná telefonní síť

Veřejná komutovaná telefonní síť PSTN (Public Switched Telephone Network - dále jen PSTN) je souhrn technologií a zařízení poskytujících veřejně dostupné telefonní služby. U nás je používán také termín jednotná telefonní síť (dále jen JTS). Infrastruktura a uspořádání sítě garantují spojení libovolných účastníků této sítě bez ohledu na vzdálenost. Komunikace probíhá mezi koncovými zařízeními připojenými k veřejným telefonním ústřednám. PSTN síť zajišťuje zejména službu přenosu hlasu v reálném čase pomocí spínaných (komutovaných) okruhů. Součástí PSTN je také veřejná mobilní síť využívající digitální technologii GSM² pracující na principu buňkových mobilních radiotelefonních systémů.

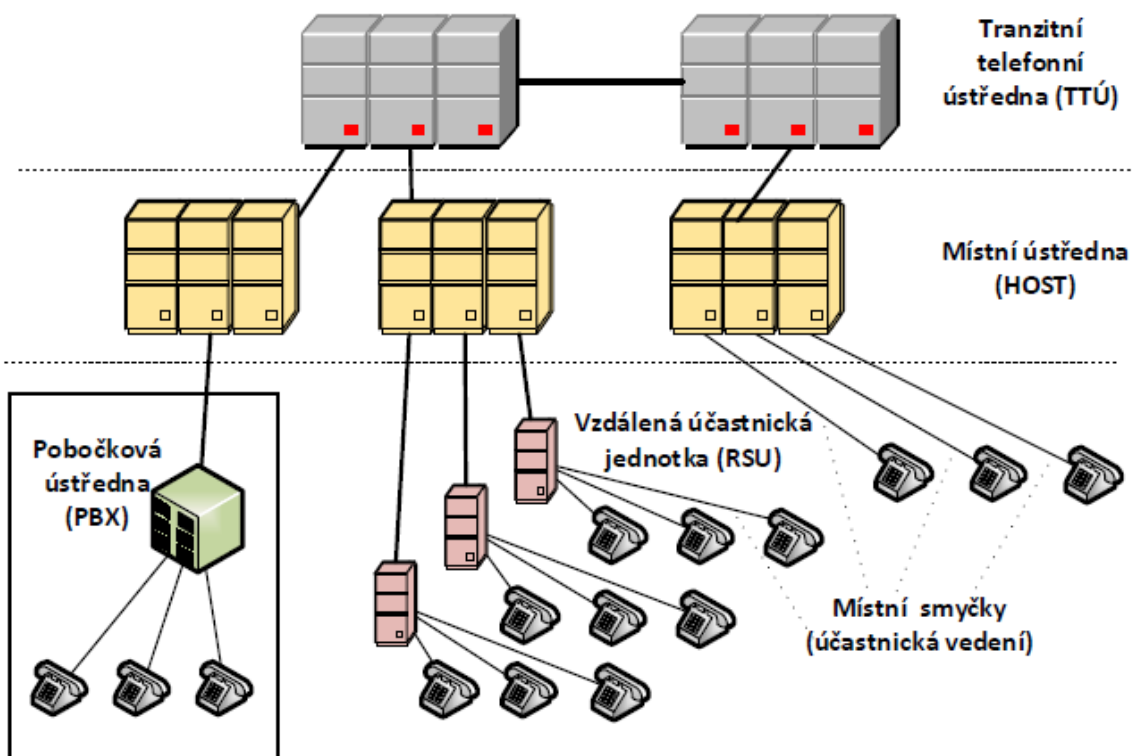
Z geografického hlediska lze veřejnou telefonní síť členit na mezinárodní a národní. Mezinárodní sítě propojují národní sítě prostřednictvím mezinárodních tranzitních ústředěn a okruhů. Národní síť každé země je pak rozdělena do několika úrovní podle velikosti země, typu sítě, použité technologie atd.

Koncová zařízení veřejné telefonní sítě nezávisle na tom, zda jsou připojena do sítě pevných linek, mobilní nebo virtuální sítě, mají pevně přidělena čísla. Přidělené numerické adresy jsou dány číslovacím plánem národní sítě každé země a jsou jedinečné. [5]

2.4 Struktura klasické telefonní sítě v České republice

Současná architektura sítě složené z klasických automatických telefonních ústředěn má v České republice třístupňovou hierarchii. Její nejvyšší patro se skládá z několika tranzitních telefonních ústředěn – hlavních spojovacích bodů páteřní telefonní sítě. Druhou vrstvu tvoří více než 140 místních ústředěn (HOST). K ústřednám jsou připojena koncová zařízení uživatelů pomocí řádově tisíců účastnických vedení (místních smyček).

Místní smyčky jsou většinou páry vzájemně kroucených vodičů. Fyzikální vlastnosti, jako útlum a kapacita mezi vodiči vedení způsobují zeslabení přenášeného signálu. Proto nemohou být účastnická vedení příliš dlouhá. Řádově jde o jednotky kilometrů. Obvykle však nebývá vedení delší než pět kilometrů. Třetí část hierarchie se skládá ze zhruba tří tisíc „předsunutých ústředěn“ nazývaných také RSU³. Tyto malé ústředny, každá s kapacitou stovek účastníků, připojují místní smyčky v lokalitách menších měst a vesnic.



Obrázek 2 Hierarchie JTS v České republice podle [6]

³ Remote Subscriber Unit

Velkou a ekonomicky významnou částí je soukromá telefonní síť ve vlastnictví firem, institucí a dnes i domácností. Skupiny koncových zařízení jsou připojeny do vlastní pobočkové ústředny PBX (Private Branch Exchange - dále jen PBX), která prostřednictvím svého rozhraní umožňuje propojení do veřejné telefonní sítě. [6]

2.5 Obecný vývoj spojovacích systémů

Klasická telefonie prošla zásadními etapami technického řešení spojovacích systémů a přenosových technologií. Vyrůstající provoz mezi ústřednami nutí telefonní společnosti k vývoji přenosových médií umožňujících současně přenos velkého počtu volání při redukci počtu fyzických vedení mezi ústřednami.

Základním úkolem spojovacích systémů je zajištění propojení vstupu a výstupu spojovacím polem neboli technické řešení přepínače telefonní ústředny. [4]

Z hlediska technického vývoje spínačů ústředen lze dělit spojovací systémy takto:

- systémy s prostorovým přepojováním (voličové, s křížovými spínači),
- digitální s časovým přepojováním,
- s přepojováním zpráv – paketů.

2.5.1 Generace spojovacích a přenosových systémů v telefonii

Přes různá hybridní mezigenerační řešení se spojovací systémy dělí dále podle historického vývoje na systémy nulté až páté generace, jak uvádí [7].

Generace 0 je spojovací systém s plně manuálním řízením a směrováním realizovaným obsluhou. Po prozvonění volajícího spojovatelka sestavila přenosovou cestu propojením kolíčků na panelu ústředny. Hovor probíhal po dvou vodičích, pro které se dodnes používá označení a-vodič, b-vodič. Signál byl po trase přenášen přes transformátory. Zkreslení a útlum přenášeného signálu povolovaly délku přenosové trasy mezi účastníky telefonního spojení maximálně do deseti kilometrů.

Generace 1 patřila automatickým ústřednám se synchronní komutací okruhů. Systém elektromechanických krokových voličů synchronního spojovacího pole byl u nás zastoupen zejména typem TESLA P51. Signalizaci a tarifování zajišťovaly proudové impulzy generované spínáním reléových prvků. Přenos analogového signálu po celé trase zajišťovaly zesilovače a také přenašeče za účelem odstranění zkreslení a šumu.

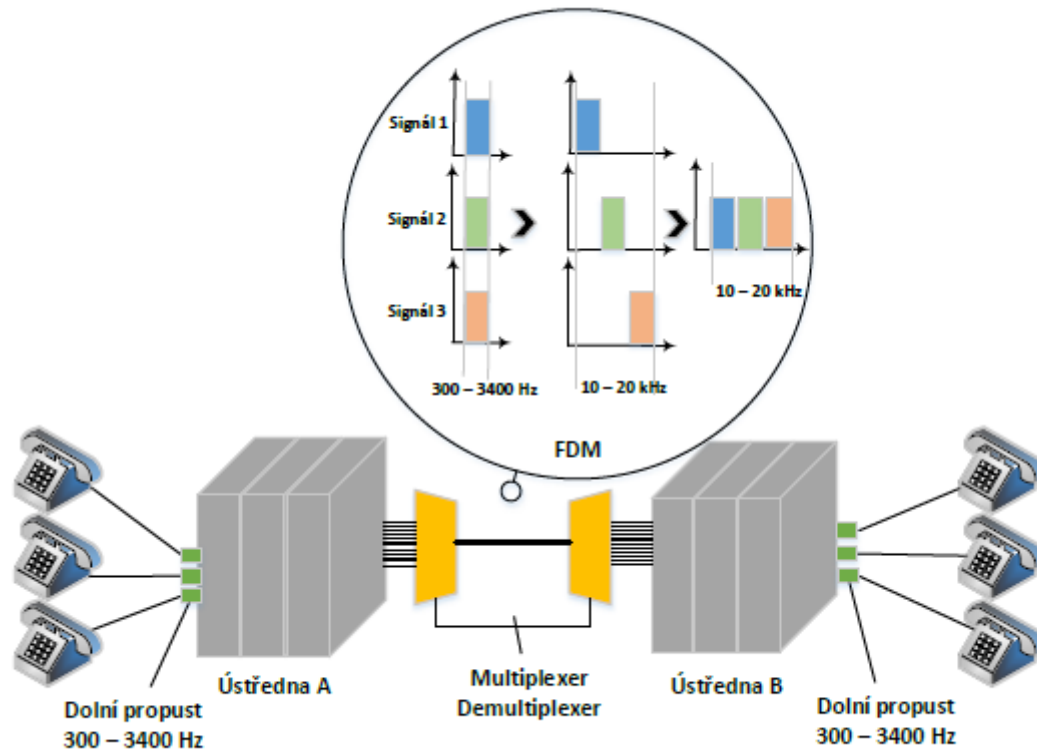
Nevýhodami technologie této generace byl malý současný počet přenášených hovorů, nízká inteligence propojování dálkových hovorů, nízká kvalita přenosu a poměrně vysoká poruchovost. Přesto se tato generace spojovacích systémů u nás udržela až do konce osmdesátých let minulého století.

Generace 2 charakterizuje telefonní ústředny s asynchronní komutací využívající elektromechanické křížové spínače (např. typy TESLA PK202, PK201, PK22 nebo PK21). Přenos proudových impulzů signalizace po a, b, vodičích nahradily frekvenční signalizační značky, které byly generovány a přenášeny spolu s hovorem. Signalizace byla automaticky zesilována a velkou výhodou byla nezávislost na platformě použitých ústředěn v cestě spojení. V dálkovém přenosovém systému jsou implementovány méně spolehlivé, ale pružnější tranzistorové zesilovače.

Generace 3 jsou ústředny zcela založené na implementaci polovodičových prvků. Spojovací pole je již plně elektronické, což významně snížilo poruchovost ústředěn. V období 80.tých let byly zástupci těchto systémů např. 2N Ateus, Omega nebo TESLA UE20. Ústředny těchto typů měly menší rozměry, nižší spotřebu a klesly také náklady na lidský dohled a údržbu. Novým závažným problémem je vzájemná nekompatibilita různých ústředěn mezi sebou. Přenášený telefonní hovor je stále v analogové formě po celou cestu signálu. Přenosové fyzické médium tvořily čtyři kroucené vodiče, kterých bylo až 40 v kabelu. To umožňovalo použití přenosové techniky frekvenčního multiplexu.

FDM (Frequency Division Multiplexing - dále jen FDM) spočívá v modulování hovorové šířky frekvenčního pásma do jiného vyššího pásma. V multiplexeru je ze vstupních kanálů posunut analogový signál do jiného frekvenčního pásma, aby se pásma vzájemně nepřekrývala. Frekvenčně posunuté signály je možné sečíst (sloučit) do jednoho širšího kanálu a provést přenos vedením. Na druhé straně je proveden obrácený postup. Pomocí demultiplexeru jsou jednotlivé dílčí signály odděleny a vráceny do původního frekvenčního pásma.

Účelem FDM je obsadit nevyužitá frekvenční pásma telefonního vedení a tím tak ušetřit kapacitu svazků mezi ústřednami. Vodiče kroucené dvojlinky jsou schopny přenést frekvenční pásmo až 100kHz. Nevýhodou je vysoký útlum a omezení přenosu horní použité frekvence. Tento princip ve zjednodušené podobě vysvětluje obrázek 3.



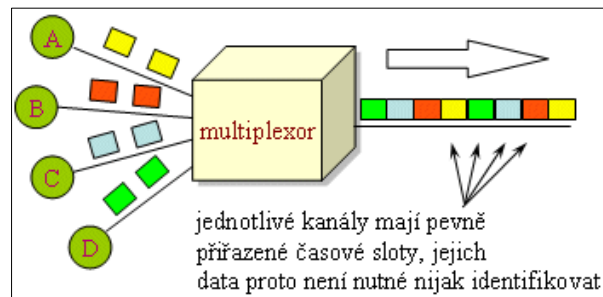
Obrázek 3 Princip FDM – upraveno podle [8] a [9]

Vodiče kroucených dvojlinek byly zejména ve svazcích dálkových vedení nahrazeny kabely koaxiálními. Konstrukce koaxiálního kabelu umožňuje přenášet vyšší harmonické signály o frekvenci 100 – 1000 kHz (FDM III. a IV. řádu) a modulovat stovky a tisíce hovorů mezi ústřednami. FDM přenosové systémy jsou charakteristické velkými přeslechy na vyšších frekvencích a špatnou kvalitou hovoru. Podrobnější popis FDM uvádí [10].

Třetí generace ústředen a přenosových systémů se u nás udržela delší dobu díky izolaci a malé pružnosti výrobních technologií socialistického bloku. Vyspělé průmyslové země začínaly v telekomunikacích nasazovat do provozu systémy využívající digitalizace signálu. To byl, jak ukazuje dnešek, správný směr vývoje spojovacích systémů.

Generace 4 jsou v principu digitální spojovací systémy. Oproti analogovému signálu jsou data v digitální podobě přenášena přesně s nulovým zkreslením i nulovým šumem. Digitalizace veřejné telefonní sítě probíhala postupně od jejího středu, tedy nejprve digitální ústředny a jejich okruhy. Větší propustnost hovorů je dána použitím optických kabelů, které umožňují sdružovat více okruhů. Předchozí FDM způsob slučování hovorů společným přenosovým médiem byl v digitalizované síti nahrazen technikou časového multiplexu. Technický princip multiplexu popsán ve zdroji [4].

TDM (Time Division Multiplexing - dále jen TDM) je systém, kdy je společná přenosová cesta rozdělena na stejné malé časové úseky. Tyto úseky, nazývané time sloty (TS) jsou předem pevně vyhrazeny pro jednotlivé dílčí přenosy (hovory).



Obrázek 4 Princip časového multiplexu - převzato z [11]

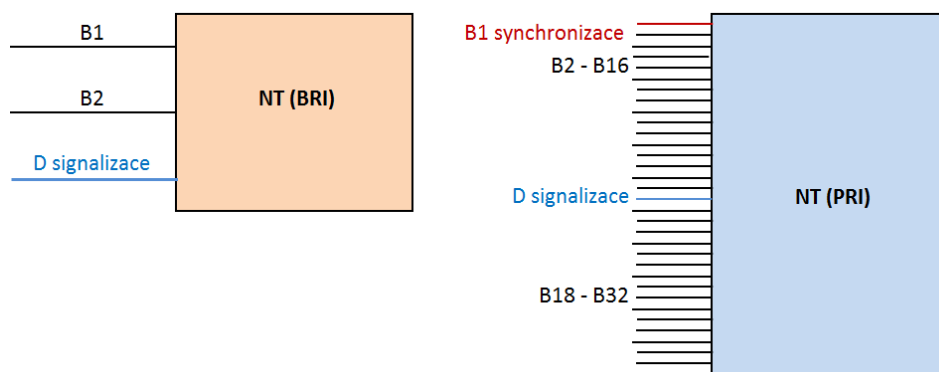
Technika časového multiplexu jedné přenosové cesty vytváří několik samostatných přenosových kanálů. Rychlosti přenosu (udávané v bitech za sekundu) nemusí být stejné. Platí však, že jejich součet musí být menší nebo rovný přenosové rychlosti "celé" přenosové cesty před jejím rozdělením. [11]

Připojená koncová zařízení účastníků zůstávají ve většině analogová. Převod signálu mezi digitálním a analogovým rozhraním obstarávají převodníky na straně ústředny, jejichž princip bude dále vysvětlen.

Ve spojovacích systémech 4. generace vzniká ISDN technologie plně digitalizované cesty mezi koncovými zařízeními zákazníka.

ISDN (Integrated Service Digital Network - dále jen ISDN) umožňuje digitální přenos informací klasickou veřejnou telefonní sítí. Okruh ISDN je tvořen nosnými B-kanály pro hlas a datovým signalizačním D-kanálem. Podle šířky přenášeného pásma se služby technologie ISDN užívají v těchto typech rozhraní jak uvádí :

- **BRI ISDN** (Basic Rate Interface) je služba s rychlostí přenosu 128 kbit/s. Tvoří ji 2 B-kanály, každý má vyhrazeno 64 kbit/s pro hovor, fax, data nebo video. Doplňující D-kanál s datovou rychlostí 16 kbit/s slouží pro přenos ústřednové signalizace. Celková přenosová rychlost včetně režie a řídicích bitů je 192 kbit/s.
- **PRI ISDN** (Primary Rate Interface) je rozhraní využívané k připojení velkých pobočkových ústředen. Využívá 32 kanálů okruhu E1⁴. 30 hovorových nebo datových kanálů je typu B, jeden D pro signalizaci. Poslední kanál slouží k synchronizaci celého přenosového TDM rámce. Celková přenosová rychlost je 2 048 kbit/s.



Obrázek 5 Princip obou ISDN rozhraní podle [4]

Obrázek 5 znázorňuje zakončení ISDN rozhraní na straně uživatele, které je řešeno síťovými adaptéry NT (Network Terminal). Toto zařízení plní různé funkce jako zakončení okruhu, napájení koncových zařízení, diagnostika atd.

Integrace hlasu a dat do společné linky uživatele pomocí této technologie je velkou výhodou. Připojenými koncovými zařízeními mohou být počítače, telefony i faxy. Více o ISDN [4].

⁴ E – Evropa (USA používá T1 okruhy s 23B + D kanály)

2.6 Signalizace v telefonii

Jak bylo již uvedeno, služba ISDN využívá D kanálu pro komunikaci s ústřednou prostřednictvím signalizace. Ta slouží v telefonii pro navázání, řízení a ukončení komunikace. Signalizace v telefonii provádí výměnu informací v různé podobě mezi jednotlivými zařízeními, které se podílejí na hlasové komunikaci. [4]

Základní rozdělení telefonní signalizace je následující:

- přístupová (mezi koncovým zařízením a ústřednou),
- síťová (mezi ústřednami),
- vnitřní (uvnitř spojovacích systémů - ústředen).

Podle typu se signalizace dělí takto:

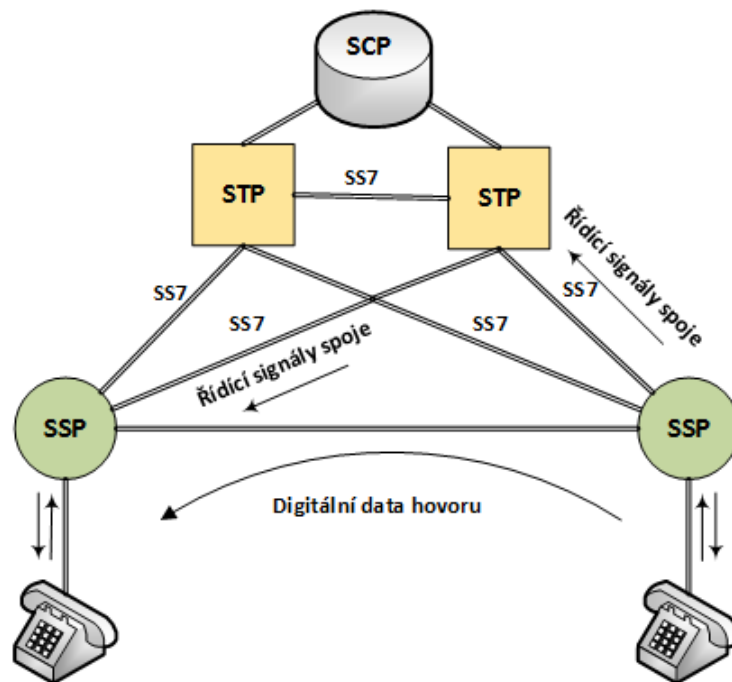
- analogová (účastnická),
- digitální (síťová signalizace ve veřejné telefonní síti).

Telefonní síť čtvrté generace využívá digitální síťovou signalizaci, která je rozdělena podle způsobu využití komunikačních kanálů na dva typy:

- **CAS** (Channel Associated Signalling) je signalizace přidružená přenosovému kanálu. Znamená to, že signalizační a hovorová data jsou přenášena ve společném kanále. Každý hovorový kanál má tak pevně vyhrazen časový rámec k přenosu signalizace. Typ CAS má nevýhodu v nižší datové propustnosti. Tato signalizace je využívána zejména v místech přechodu z analogového rozhraní na digitální.
- **CCS** (Common Channel Signaling) je typem signalizace majícím samostatný signalizační kanál pro určitou množinu hovorových kanálů. Signalizační informace ve formě paketů (datagramů) jsou přenášeny odděleně od hlasových dat. Hlasová data a signalizaci lze přenášet odlišnými přenosovými cestami. Tento typ signalizace patří dnes k nejběžněji používaným. Výhodami jsou vyšší kapacita přenosu dat a bezpečnost, která tkví v oddělení dat hovorových a signalizačních.

Důležitým typem digitální CCS signalizace užívané mezi ústřednami a operátory je SS7.

- **SS7 (Signaling System No.7)** je sada signalizačních protokolů zajišťujících přenos řídicích informací nezbytných pro poskytování telekomunikačních služeb. Tato signalizace je užívaná operátory v ISDN a GSM sítích. SS7 je implementována převážně v tranzitních sítích pro zajištění komunikace mezi jednotlivými ústřednami. Umožňuje také nasazení inteligentních sítí, dotazy do databází, zasílání SMS zpráv a řadu dalších služeb, jak je uvedeno v [4].



Obrázek 6 Princip přenosu a řízení hovoru pomocí signalizace SS7 dle [7]

Obrázek 6 popisuje architekturu sítě signalizace SS7. Tvoří ji uzlové body připojení signalizace účastníků SSP (Service Switching Point), které se nacházejí na úrovni místních ústředen. Cesta signalizačních informací řízení spojení prochází přes tranzitní body pro signalizaci STP (Signaling Transfer Point). Zde dochází k přepojování a směrování paketů podle cílové destinace. Trasa je tvořena páteří sítí okruhů tranzitních ústředen. Body SCP (Signaling Control Points) jsou rozhraním mezi SS7 a databázemi. Databáze mají funkci obsluhy dotazů a poskytování inteligentních služeb.

Předností protokolové signalizace SS7 je její univerzálnost. Poskytuje možnost spolupráce mezi různými sítěmi operátorů a jejich úrovněmi.

Pro potřebu této práce byly vysvětleny pouze základní principy signalizace prezentované [4]. Celý systém signalizace SS7 je standardizován doporučeními, které tvoří několik tisíc stran dokumentů. Podrobnou specifikaci SS7 jsou doporučení RFC⁵3332a RFC4666 [12] [13].

Spojovací systémy čtvrté generace tvoří inteligentní telekomunikační síť. Spínače ústředny jsou řízeny procesory. Jejich software zajišťuje logiku směrování, tarifování, měření a monitoring provozu v síti. Většina prvků těchto ústředny pracuje v pohotovostním⁶ režimu. Záložní jednotka každého modulu ústředny je okamžitě připravena převzít řízení za porouchaný blok. Pro záznam ústřednových dat jsou používána média optických disků. Současnými typy užívaných ústřednových systémů u nás jsou francouzský Alcatel S12 a německý Siemens EWSD.

5. generace spojovacích systémů je síťová technologie s VoIP paketovou komutací hovorů. Jejím principem se zabývá tato práce. Systémy, reprezentované produkty firem jako Asterisk, Cisco nebo Cirpack, patří mezi nativní VoIP systémy. Ke komutaci hovorů využívají datové spínače Ethernet, respektive datové sítě podporující protokoly TCP/IP. Tyto ústředny si lze představit jako softwarovou aplikaci běžící na serveru. Klasický telefonní přístroj je například zastoupen počítačem uživatele. Počítač je vybaven zvukovou kartou a je síťovým kabelem připojený k serveru. Služby běžící na tomto serveru nahrazují funkci telefonní ústředny. Analýzu volby provede aplikace serveru. V databázi najde koncový IP bod a provede spojení. Spojení mezi počítačem a serverem probíhá pomocí speciálních protokolů, které budou dále vysvětleny.

Spojovací systémy páté generace jsou zcela odlišné od všech ostatních a plně vychází z počítačové a síťové techniky, jak uvádí [7].

Zásadní podmínkou pro sestavení hovoru, jeho řízení a signalizaci v prostředí současné telefonie spočívá v převodu hovorového signálu do digitalizovaného tvaru. Tento proces bude popsán v následující kapitole.

⁵ RFC (Request For Comments) - soubor doporučení standardů, internetových protokolů a komunikačních systémů

⁶ Používá se také anglický termín stand-by

2.7 Digitální zpracování signálu

Signál je obecně fyzikální veličina, která slouží většinou ve formě okamžitých hodnot k vyjádření informace. Také lidský hlas je plynule měnící se vlnová křivka analogového signálu. Mikrofon telefonního přístroje během hovoru převádí akustický hovorový signál na prvotní elektrický spojitý signál. Pro přenos tohoto signálu datovou sítí je potřeba provést jeho úpravu. Znamená to provést frekvenční omezení signálu. K vymezení pracovní frekvenční oblasti se používají filtry, jiným termínem frekvenční propusti. Více o těchto obvodech [14]. Dalšími procesy zpracování analogového signálu jsou pak vzorkování, kvantování a následné kódování. Na výstupu je proveden proces obnovy přeneseného toku dat. Pojem obnova znamená v tomto případě převod diskrétního signálu zpět na analogový signál, který bude co nejpodobnější svým původním vstupním hodnotám.[15] Celý proces digitálního zpracování signálu je blokově znázorněn na obrázku 7.



Obrázek 7 Blokové schéma digitalizace a rekonstrukce původního signálu – převzato z [16]

Celý tento mechanismus digitalizace signálu je potřeba v jednotlivých krocích vysvětlit.

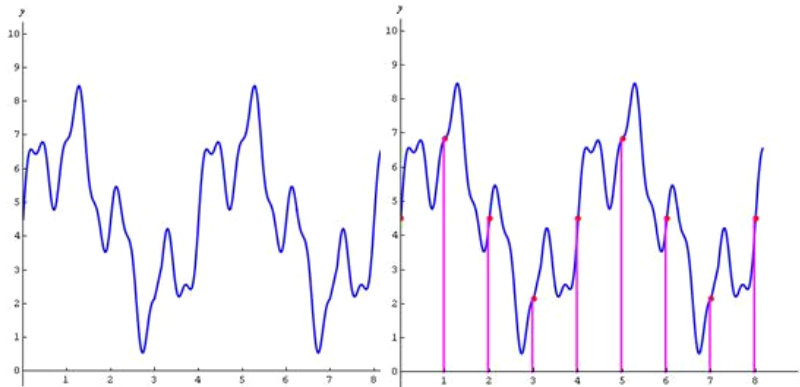
2.7.1 Vzorkování

Analogový signál, je charakterizován spojitostí v čase a okamžitých hodnotách. Může nabývat libovolné hodnoty z daného spojitého intervalu možných hodnot. Spojitý analogový signál je pro digitalizaci nutno převést na signál diskrétní, tedy tvar posloupnosti konečného počtu hodnot. Znamená to, nejprve provést jeho vzorkování. Tento odběr hodnot signálu ve zvolených okamžicích T_v se nazývá vzorkovací perioda.

Vzdálenost mezi odebranými úseky je rychlost vzorkování (vzorkovací frekvence) a lze ji vyjádřit vztahem:

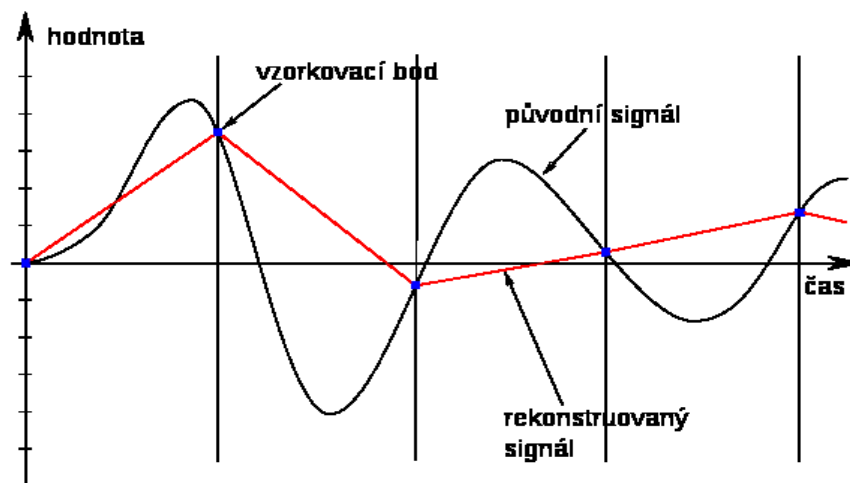
$$F_v = \frac{1}{T_v} \left[\text{vzorků/s} \right] \text{ nebo } [\text{Hz}].$$

Jak lze vyvodit z následujícího obrázku 8, čím vyšší je zvolená vzorkovací frekvence, tím více informací bude z původního signálu získáno.



Obrázek 8 Analogový spojitý signál a jeho vzorkování – převzato z [16]

Podstatný problém vyvstává se stanovením počtu odebraných vzorků v určitém čase. Pokud je interval vzorkování větší, tedy odebíraných vzorků je méně, dochází k aliasingu⁷ – vlnovému zkreslení. To je vidět z následujícího obrázku 9:



Obrázek 9 Aliasing – převzato z [17]

⁷ Aliasing – v češtině „falšování“

Nedostatečné množství zaznamenaných hodnot vzorků nestačí k rekonstrukci původního průběhu signálu. Dochází ke zkreslení původní informace spojitého signálu. Výsledkem pak je ztráta kvality poslechu a zkreslený zvuk na straně příjemce.

Opačným případem může být převzorkování – odebrání většího množství vzorků signálu, než je potřeba. Dochází tak sice k eliminaci aliasingu, avšak vzorkování zabere větší šířku pásma, než je nezbytně nutné, jak uvádí [3].

2.7.2 Shannon-Kotělnikův teorém

Výpočet optimálního množství odebraných vzorků stanovil podle [18] již v roce 1933 americký fyzik a inženýr Harry Nyquist ve svém teorému, kdy rychlost odebrání vzorku by měla být dvojnásobkem nejvyšší vzorkovací frekvence. Podle tohoto pravidla platí vztah mezi vzorkovací frekvencí F_v a maximálním kmitočtem F_{max} , který přenosový systém zvládne přenést jako:

$$F_v = F_{max} * 2.$$

Pro potřeby digitalizace a přenosu hlasu v telefonii je přenášeno hovorové pásmo v rozmezí 300 – 3400 Hz, což zaručuje dostatečnou srozumitelnost. V praxi se užívá frekvenčního rozsahu 0 – 4000 Hz. Dvojnásobné množství odebíraných vzorků je tedy 8 kHz a vzorkovací perioda 125 μ s je výsledkem dosazení do vztahu

$$T_v = \frac{1}{F_v} [s].$$

2.7.3 Kvantování

Signál upravený vzorkováním je signál diskrétní v čase, ale spojitý v amplitudě. Jde stále o analogový signál, označovaný jako PAM⁸ – pulzně amplitudová modulace. Další úpravou je kvantování, kdy je každému vzorku přiřazena hodnota diskrétní úrovně s předem zvolenou přesností. Jelikož je teoreticky možných nekonečně mnoho hodnot amplitud, zaokrouhluje se na nejbližší číslo na zvolené stupnici.

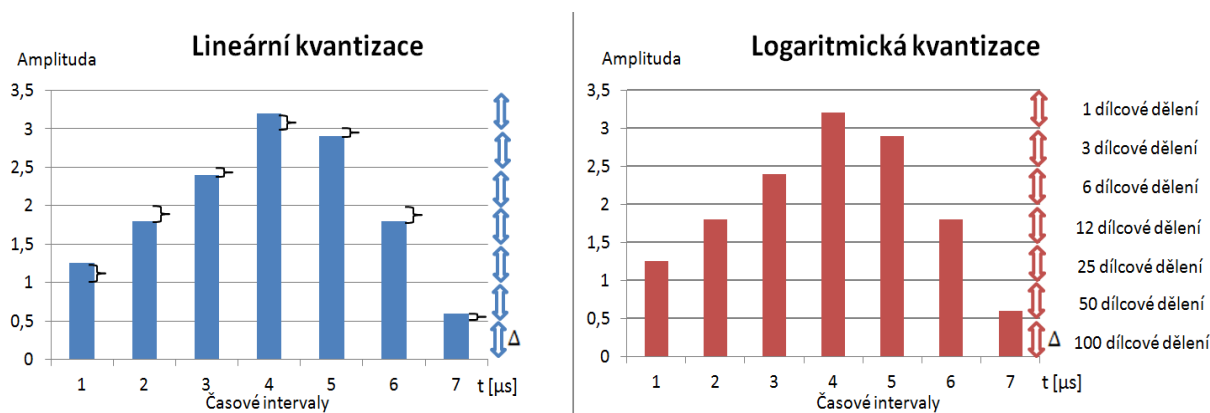
⁸ Pulse Amplitude Modulation

U daného převodníku se udává počet úrovní kvantizace vztahem:

$$N = 2^b,$$

kde b je počet bitů v kódových slovech. Při kvantování dochází k chybám při převodu (zaokrouhlování) hodnoty na nejbližší kvantizační úroveň. Jednotlivé úrovně mají šířky Δ . Chyba nazývaná kvantizační zkreslení (šum) může nabývat hodnot $\pm \frac{1}{2} \Delta$. Tato odchylka se na hovorové lince projevuje sykotem.

Jsou-li stanoveny kvantizační úrovně jednotné šířky Δ , pak se jedná o lineární kvantizaci (obrázek 10 vlevo).



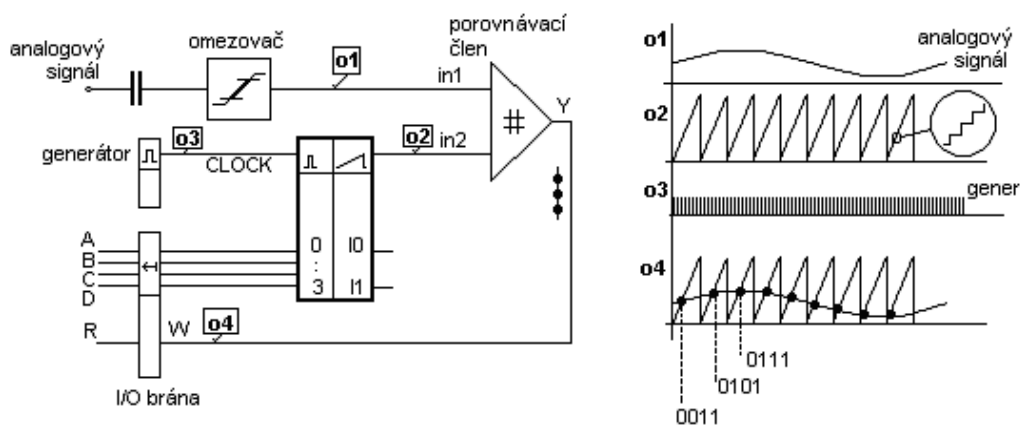
Obrázek 10 Srovnání lineární a logaritmické kvantizace – zdroj autor ze [18]

Chyba způsobená kvantizací se u lidského hlasu více projevuje při nižších hodnotách amplitudy signálu. Ta je také při běžném hovoru frekventovanější než amplituda vyšší. Z toho důvodu je užitá logaritmická stupnice, jejímž rozdělením je odebráno více vzorků při nižších hodnotách amplitudy signálu (obrázek 10 vpravo). O digitalizaci signálu více v [15].

Pro účely přenosu hlasu v telefonii je postačující odebrání vzorku o velikosti 8 bitů. První bit určuje polaritu odebraného vzorku. Další 3 bity přiřazují členění (segment) na logaritmické stupnici. Poslední čtyři bity udávají hodnotu v jemném členění každého segmentu. Jak již bylo popsáno, používá se vzorkovací frekvence 8000 vzorků za sekundu při šířce slova jednoho vzorku 8 bitů. Šířka použitého pásma je daná součinem těchto hodnot. Výsledná hodnota 64 000 bitů za sekundu (64 kbit/s) je pouze teoretickou hodnotou šířku pásma zabíranou přenosem hlasu. K této hodnotě je dále nutno připočítat prostor (režii) pro hlavičky paketů, zdrojovou a cílovou adresu, které je s hlasovými daty nezbytné přenášet. [3]

2.8 A/D a D/A převodníky

A/D převodník - provádí přeměnu analogového vstupního signálu na tok bitů o velikosti 64kb/s. Má podobu jednoduchého integrovaného obvodu, který slouží k přenosu a zpracování signálu v digitálních telefonních systémech. Převodník se zpravidla skládá z dolní propusti, vzorkovacího obvodu a kodéru, který slučuje funkce kvantování a kódování. Takto zpracovaný digitální signál lze dále přímo využít (zobrazení, vložení do paměti) nebo převést D/A převodníkem zpět na analogový signál. Obrázek 11 znázorňuje zapojení čtyřbitového A/D převodníku, jehož funkce zde bude dále vysvětlena.



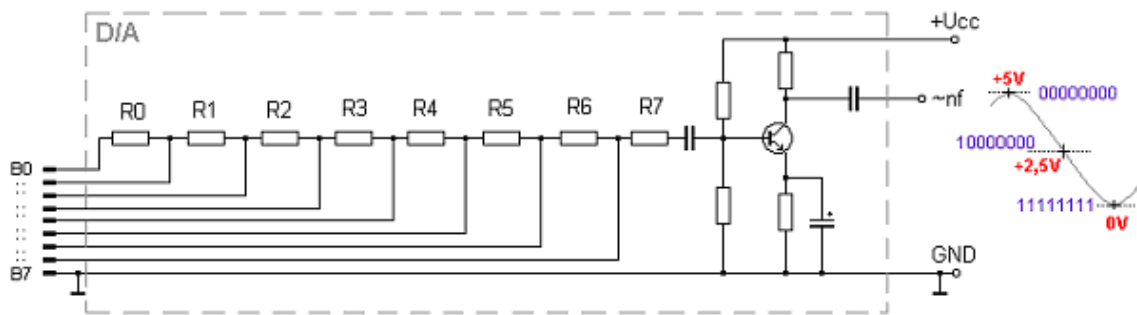
Obrázek 11 Princip A/D převodníku s čtyřbitovým slovem – převzato z [19]

Analogový signál je před digitalizací na vstupu pomocí frekvenční propusti upraven do určitého napěťového pásma. Maximum úrovně signálu je na výstupu po jeho úpravě dáno logickým stavem bitů 1111 minimum úrovně stavem 0000. Signál je omezovačem lineárně nebo logaritmicky rozložen mezi tyto dvě úrovně. Upravený signál přichází na vstup in1 analogového porovnávacího členu. Na druhý vstup komparátoru (in2) je přiveden skokový pilovitý signál z A/D čítače. Externí generátor obdélníku (CLOCK) řídí postupné krokované skoku pilového průběhu. Generování obdélníku probíhá neustále a nezávisle, velikost skoku obdélníka o určitou úroveň napětí si řídí sám čítač A/D. Při rovnosti napětí na vstupu komparátoru in1 a in2 je vyhodnocen výstupní bit Y jako logická 1.

Kvalita digitalizace signálu je daná frekvencí skokové pily (vzorkování) a také počtem výstupních bitů. Výstupní bit Y (log1) je informací, že analogový signál in1 má "přibližně" stejnou hodnotu jako pila sestavená z napěťových skoků (přírůstků) in2. Aktuální hodnota analogového signálu v tomto okamžiku odpovídá nastavení 0 až 3 pinů binárního kódu.

Výstupní bit Y je využit jako bit W (Write) pro zapsání hodnoty pinu 0 až 3 do vnitřních paměťových buněk I/O brány. Zápis se provede pouze v případě rovnosti vstupů in1 a in2. V jiném případě je vstup ABCD I/O jednocestně zapojené brány uzavřen vysokou impedancí. Na požadavek připojených obvodů jsou digitální data čtena z vnitřních buněk I/O brány za pomoci vstupu R (Read), kdy stav R=log1 dává signál k překopírování obsahu vnitřních paměťových buněk na vnější čtyřbitovou sběrnici. [19]

D/A převodník - zajišťuje opačný proces přeměny signálu. Zapojení obvodů převodníku (obrázek 12) slouží k přeměně digitálního hovorového signálu 64kb/s o šířce slova 8 bitů na vstupu. Na výstupu je získán zkreslený analogový signál, který je modulován do účastnického vedení s koncovým zařízením v podobě například sluchátka nebo reproduktoru. Tvarové zkreslení je způsobeno chybou kvantizace při digitalizaci signálu.



Obrázek 12 Schéma zapojení D/A převodníku s osmibitovým slovem – převzato z [26]

Logické úrovně digitálního signálu přicházejí na vstupy převodníku B0-B7, které jsou propojeny s paralelní kombinací rezistorů. Střídáním bitových kombinací na vstupu jsou do obvodu zapojovány odpovídající obvody rezistorů a tím vznikají různé napěťové úrovně napětí na bázi tranzistoru. Tranzistor je zapojený jako NF zesilovač s posuvem fáze o 180° se vstupním napětím +5V. Při vstupním bitovém slově s hodnotou 11111111 dochází k maximálnímu buzení tranzistoru na bázi a k jeho úplnému otevření. Díky tomuto zapojení se pak na výstupu objeví 0V. Při opačném stavu 00000000 není na vstupu žádné napětí a tranzistor je uzavřen. Tomu odpovídá maximální napětí na výstupu.

Změnami bitových kombinací na vstupech B0 – B7 jsou vytvářeny změny napětí na bázi tranzistoru. Přes vazební kondenzátor jsou pak změny přeneseny na nízkofrekvenční analogový výstup. Vyhlažovací kondenzátor v emitoru tranzistoru částečně zaoblí hranaté změny přechodů obdélníků. Šířka osmibitového slova vytváří ve výsledku (2^8) - 256 hodnot úrovně napětí.[20].

2.9 Kodeky

Signál ve tvaru posloupnosti bitů je nutno stlačit neboli provést jeho kompresi z důvodu úspory šířky pásma. Tento proces kódování a dekodování signálu zajišťují kodeky⁹.

Kodeky jsou počítačové programy nebo speciální hardware implementovaný s dalšími funkčními bloky přímo na čipu. Výhodnější možnost skýtá forma DSP¹⁰ procesoru, kdy lze přímo programově instrukčním souborem měnit nebo modifikovat kodeky a jejich verze.

Spotřebovaná šířka pásma pro hlasový přenos je jednou cennou komoditou VoIP telefonie. V lokálních firemních sítích musí jejich správce znát přesnou šířku zabraného pásma pro každé volání do veřejných WAN¹¹ sítí. Volbou vhodného kodeku nazývanou technika kódování lze pomocí několika proměnných ovlivňujících šířku pásma vypočítat jeho celkovou míru využití. Ekonomickým cílem je zajištění rovnováhy mezi potřebou kvality hlasu a náklady na šířku pásma sítě. Obecně platí přímá úměrnost - čím vyšší spotřeba šířky pásma na volání, tím vyšší náklady.

2.9.1 Vlastnosti kodeků

Jednotlivé kodeky mají rozdílnou složitost a nároky na šířku pásma. Jejich důležité vlastnosti pro nasazení ve VoIP telefonii jsou dané těmito sledovanými parametry:

- **Typ kódování** je daný algoritmus kódování signálu.
- **Přenosová rychlost**¹² potřebná k plynulému přenosu zakódovaných dat v kbit/s.
- **Výpočetní složitost** udává náročnost na výkon procesoru v milionech instrukcí vykonaných za sekundu (označuje se jako MIPS¹³).
- **Zpoždění** signálu při kódování může způsobit potíže při komunikaci, kritická hranice zpoždění je udávána hodnotou 200 ms. Čím nižší zpoždění, tím lépe pro kvalitu přeneseného hlasu.
- **MOS** (Mean Opinion Score) je kritérium hodnocení kvality řečového signálu, které bude dále podrobněji rozebráno.

⁹ Kodér – dekodér

¹⁰ Digital Signal Processor.

¹¹ Wide Area Network – rozsáhlá datová síť – zde Internet

¹² Užívá se také anglický termín Bitrate

¹³ Million Instructions Per Second

VoIP telefonii jsou využívány tyto kodeky řady G podle standardizace organizace ITU-T¹⁴.

Tabulka 1 Kodeky ve VoIP [15]

Typ kodeku	Algoritmus	Přenosová rychlost (kb/s)	MIPS	Zpoždění (m/s)	MOS
G.711	PCM	64	-	0,75	4,1
G.723.1	MP-MLQ	6,3	6,3	30	3,9
G.723.1	ACELP	5,3	20	30	3,65
G.726	ADPCM	32	1	1	3,85
G.728	LD-CELP	16	30	3 – 5	3,61
G.729.A	CS-ACELP	8	11	10	3,7
G.729	CS-ACELP	8	20	10	3,92

G.711 PCM (Pulse Code Modulation) je kodek s principem popsaným v části o digitalizaci analogového signálu. Proces vzorkování a kvantování analogové vlnové křivky nepřináší žádnou úsporu šířky pásma. PCM modulace se vzorkovacím kmitočtem 8 kHz a šířkou 8 bitů na vzorek bez komprese využívá pro samotná data hlasu šířku pásma 64 kb/s. Výhodou je kvalita přenášeného zvuku. Tento základní kodek podporují všechna VoIP zařízení.

G.726 ADPCM (Adaption Diferencial Code Modulation) je modulace založená na principu zasílání tzv. diferenčního signálu. Není tak kódován celý signál, ale rozdíl aktuálního vzorku oproti předchozímu.

G.729 CS-ACELP (Algebraic Code Excited Linear Prediction): Na základě vzorků řeči při konverzaci je dynamicky sestavována „kniha kódu“. Ta obsahuje seznam již použitých kombinací jedniček a nul. Následující použité kódy, které jsou dopředně zaslány prostřednictvím vyrovnávací paměti, se s tímto seznamem porovnávají. Pokud jsou kódy již v seznamu uloženy, je zaslána pouze adresa umístění. Tento způsob přináší osminásobnou úsporu šířky pásma oproti PCM modulaci a je nejčastěji využíván ke kódování pro přenos hlasu ve VoIP telefonii. Nevýhodou kodeku G.729 je výhradní zaměření na přenos hlasu.

G.728 LD-CELP (Low Delay Conjugate Linear Prediction) je v podstatě kodek CS-ACELP využívající redukovanou knihu kódů pro dosažení menšího zpoždění přenosu na úkor šířky pásma. Více problematice kodeků v [15] a [21].

¹⁴ ITU-T International Telecommunication Union – Mezinárodní telekomunikační unie – úřad pro normalizaci telekomunikací

3 Architektura a komponenty sítě VoIP

3.1 Architektura IP telefonie

Z pohledu poskytování služeb je možno dělit uspořádání VoIP sítě do dvou možných architektur. Výběr záleží primárně na geografickém uspořádání lokalit sítě. Model je nutno volit dle rozmístění a role jednotlivých prvků pro řízení volání v rámci sítě WAN.

3.1.1 Distribuovaná architektura

Síť IP telefonie tvořenou více nezávislými lokalitami, s vlastními prvky řízení volání tvoří distribuovaný model architektury. Prostřednictvím sítě WAN jsou tyto jednotlivé prvky propojeny. Tento model distribuovaného zpracování volání umožňuje vytvořit zcela autonomní prostředí. Pro případ výpadku nebo nedostatečné kapacity přenosových cest slouží většinou jako záloha veřejná telefonní síť. Znamená to, že při selhání datové sítě WAN nepřichází lokalita o funkce ani služby IP telefonie. Komunikace mezi lokalitami probíhá prostřednictvím veřejné telefonní sítě.

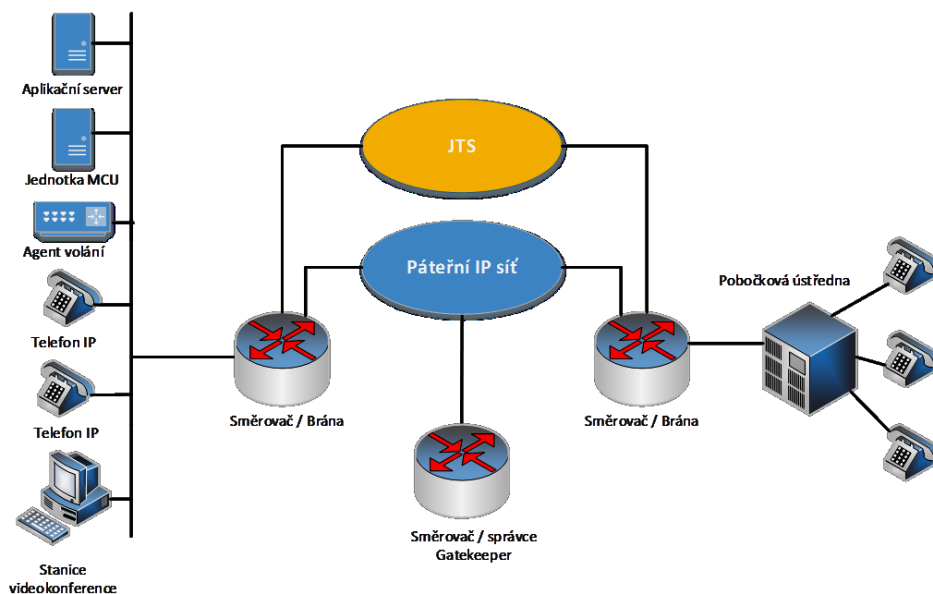
3.1.2 Centralizovaná architektura

Model je charakteristický jedním centrálním prvkem v síti WAN pro řízení volání, který zajišťuje služby pro více vzdálených lokalit. Pro přenos dat mezi jednotlivými lokalitami je využívána síť WAN. Ta přenáší také signalizaci pro řízení volání mezi vzdálenými lokalitami a centrálním prvkem. Vzdálené lokality jsou tak vždy závislé na centrálním prvku řízení volání. Centralizovaná architektura přináší úspory za správu a údržbu. Směrovače umístěné na hranicích sítě WAN vyžadují nastavení řízení kvality služeb QoS¹⁵. Jde například o řízení fronty na základě priorit a využívání dalších mechanismů, k zamezení přetížení WAN linek s následným snížením kvality probíhajících hovorů jak uvádí [9]. Problematika QoS bude dále podrobněji vysvětlena.

¹⁵ *Quality of Service*

3.2 Základní komponenty a prostředí VoIP sítě

Prostředky realizace hlasového volání prostřednictvím IP sítě mají analogické funkce s komponenty klasické telefonie. Úlohu zajištění přenosu hlasu plní zařízení a aplikace zachycené na obrázku 13.



Obrázek 13 Komponenty VoIP sítě podle [2]

Koncová VoIP zařízení jsou podobná běžným síťovým prvkům s rozdílem v rozšířené podpoře hlasových služeb. Vývojáři byl kladen důraz zejména na kompatibilitu a stavebnicové uspořádání pro účely profesionálního nasazení ve firemních prostředích. Konfigurace a nasazení jednotlivých komponent závisí na konkrétních požadavcích zákazníka a firemních síťových technologiích.[22]

IP telefony – jsou označovány také někdy pojmem terminál. Na rozdíl od klasické telefonie mohou být implementovány v podobě hardware nebo software.

- **Softwarové IP telefony** jsou telefonní aplikace¹⁶ běžící v klasickém počítači nebo tabletu. Příkladem je například X-Lite [23]. Volání lze realizovat s pomocí sluchátek nebo reproduktoru a mikrofону. Další možností IP softwarového telefonu (klienta) je jeho přímá instalace do operačního systému mobilního telefonu.

¹⁶ Například Skype, X-Lite.

- **Hardwarové IP telefony** jsou telefonní zařízení přímo určená pro VoIP telefonii. Přístroje podobné vzhledem klasickým telefonům nabízejí uživateli daleko větší nabídku nových pokročilých funkcí. Jejich připojení je realizováno datovým UTP¹⁷ kabelem do ethernetové sítě prostřednictvím konektoru RJ-45. Datový kabel může být zároveň napájecím a nahrazovat funkci síťového adaptéru. Podmínkou je výbava aktivních prvků sítě technologií PoE¹⁸ (Power over Ethernet). Vestavěný síťový přepínač VoIP telefonu dovoluje k přístroji zároveň připojit počítač, což šetří další port aktivního prvku. [8]
- **Agent volání** (Zprostředkovatel volání) nahrazuje ve VoIP síti klasickou telefonní ústřednu. Základními funkcemi tohoto prvku je řízení a směrování hovorů, překlad adres, správa a řízení šířky pásma. Příkladem nejznámějšího zprostředkovatele volání je CCM (Cisco Call Manager). Tento agent volání je softwarová komponenta běžící na serverech schválených společností Cisco.
- **Brána** (Gateway) zajišťuje přechod (překlad) hovorů mezi různými druhy sítí. Zároveň slouží jako přípojné zařízení pro analogová a digitální zařízení nebo prvky (telefony, faxy, PBX ústředny, šifrovací klíče atd.).
- **Řadič spojení** (Gatekeeper) se stará o dohled na šířku pásma přístupu sítě WAN, jenž bývá omezena. Je-li šířka pásma nedostatečná, může řadič provést restriktce v podobě zákazu dalších hovorů. K nastavení šířky pásma pro jednotlivé kodeky je nutno konfigurovat směrovač a bránu. Podrobné informace pro zařízení Cisco lze získat například ve zdroji [24].
- **Aplikační server** slouží k zajištění služeb hlasové pošty, jednotného zasílání zpráv atd.
- **Řadič konference MCU** (Multipoint Control Units) zajišťuje společnou on-line komunikaci více účastníků volání. Umožňuje tak uživatelům hlasovou nebo video konferenci z různých míst světa. Konferenční hovor dovoluje současnou komunikaci více účastníků telefonního hovoru. MCU se skládá ze dvou částí. MC – Multipoint Controller slouží k zajištění hovorové signalizace při konferenci, MP – Multipoint Processor zajišťuje obsluhu multimediálních kanálů, mixování audia atd. [2]

¹⁷ UTP - *nestíněný kabel s kroucenou dvojlínkou pro připojení k Internetu*

¹⁸ PoE = *Power over Ethernet – využití datového kabelu IP telefonu současně i k jeho napájení*

3.2.1 Prostředí sítě VoIP

Jak bylo již zmíněno, hlasová komunikace je v prostředí VoIP realizována prostřednictvím datové sítě. Právě aktivní prvky jako přepínače (switche) a směrovače (routery), jsou součástí klasických datových sítí a zajišťují konektivitu mezi koncovými zařízeními, případně jednotlivými sítěmi. [3]

- **Směrovač** (router) je zařízení, které přeposílá „routuje“ datagramy k jejich cíli. Router pracuje ve třetí vrstvě ISO/OSI modelu. Slouží k propojení subsítí a oddělení broadcastových domén. Hraniční router slouží k propojení sítí LAN a WAN. [25]
- **Přepínač** (switch) pracuje jako síťové zařízení v linkové vrstvě ISO/OSI modelu. Jeho primárním účelem je přepínání ethernetových rámců na základě MAC¹⁹ adresy.[26]
- **FXS** (Foreign Exchnage Station) port má vlastnosti klasické telefonní linky a lze jím připojit analogový telefonní přístroj nebo bezšňůrový telefonu DECT. Zajišťuje napájení, vyzvánění telefonu, a oznamovací tón. Připojuje se přes RJ-11 konektor.
- **FXO** (Foreign Exchange Office) je port rozhraní směrovače pro připojení do klasické telefonní sítě přes klasickou pobočkovou ústřednu PBX, port je připojen přes konektor RJ-11.
- **BRI** port pro připojení digitální ISDN linky (2 hovorové kanály). BRI porty lze podobně jako u portů FXO využít také jako záložní kanál při výpadku internetového připojení.
- **PSTN** port bývá součástí některých bran a slouží výhradně k připojení analogové telefonní linky. Brána s tímto portem umožňuje používat pomocí jednoho telefonního přístroje jak klasickou linku nebo IP síť. Výběr typu volání (VoIP či klasická telefonní linka) je řízen obvykle pomocí provolby. Při výpadku datové sítě brána s PSTN portem přepíná na režim volání v klasické telefonní síti.
- **DECT** (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) je digitální bezšňůrový telefonní standard, jehož princip se podobá mobilním buňkovým systémům. Provoz probíhá v nezaplatněném pásmu, vyhrazeném pouze pro DECT, tedy bez možných ovlivnění s jinými systémy a standardy[27].

¹⁹Jedinečný identifikátor síťového zařízení, který používají různé protokoly druhé (spojové) vrstvy OSI

4 Funkce VoIP technologie

Pro koncového uživatele standardní JTS jsou všechny prvky klasické telefonní sítě transparentní. V případě migrace na VoIP technologii je třeba znát všechny funkce, komponenty a protokoly zajišťující správnou funkci přenosu hlasu v konvergované síti. Funkce VoIP telefonie lze rozdělit na povinné a nepovinné, jak je uvedeno v [2].

4.1 Povinné funkce VoIP

- **Signalizace** jsou informace generované pro sestavení, dohled a ukončení připojení mezi dvěma koncovými body. Nabízí se zde analogická podobnost v sestavení telefonního hovoru v klasické telefonii, kdy je využíván protokol signalizace SS7. VoIP telefonie využívá typy signalizačních protokolů peer-to-peer a klient-server.
- **Databázové služby** jsou poskytovány uživateli VoIP technologie přístupem do databáze. Nabízí mu například informace o bezplatných číslech, identifikaci volaného, možnost, zda lze dané volání uskutečnit, či možnost zpřístupnění informací. Služby databáze dále zahrnují přístup k informacím o fakturaci, doručování jména volajícího a služby volacích karet. Poskytovatel má možnost řídit a zajišťovat přístup ke službám a tím vytvářet jedinečné portfolio databázových služeb jednotlivým segmentům uživatelů.
- **Řízení nosných služeb (bearer)** je mechanismus dohledu a správy nad nosnými kanály sloužícími k přenosu hlasových volání. Jde o zajištění signalizace odpovídající za sestavení (vyhrazení) hovorové cesty. Odpovídá rovněž za správné zrušení vyhrazené hovorové cesty při ukončení hovoru jedním z účastníků. Je obdobou signalizace SS7 v klasické telefonii. Zprávy o připojení a odpojení v síti IP přenášejí protokoly SIP, H.323, H.248 nebo MGCP, o kterých bude dále podrobněji zmíněno.
- **Kodeky** VoIP sítě jsou implementovány prostřednictvím software koncových zařízení nebo bran. Mohou být rozděleny na ztrátové a bezeztrátové. Bezeztrátové kodeky zachovávají veškerou hodnotu informačního signálu. Příkladem je kodek G.711 (PCM) používaný v JTS síti. Ztrátové kodeky využívají nedokonalosti lidského sluchu. Z hovorového signálu lze odstranit některá zatěžující data bez omezení pocitu poslechu živitele. Nejpoužívanějším kodekem ve VoIP sítích je kodek G.729.

4.2 Nepovinné (rozšířené) funkce VoIP

VoIP technologie poskytuje uživateli aplikace s dalšími rozšířenými funkcemi zajišťujícími vysoký komfort služeb. Pro pochopení výhod VoIP telefonie je vhodné představit alespoň některé z publikovaných služeb. [2]

- **Pokročilé směrování volání** je služba výběru trasy spojení volání s ohledem na faktory, jako jsou například: denní doba, hustota provozu, náklady na spojení, kvalita hovoru atd. Služba tak může zásadním způsobem ovlivnit cenu, popřípadě kvalitu VoIP telefonie.
- **Systém jednotného zasílání zpráv** je zajištěn centrálním uživatelským rozhraním, kdy uživatelé mají možnost čtení zpráv, faxů, případně hlasové pošty z jedné schránky doručené pošty. Služba přispívá zejména ve firmách k eliminaci komunikačních šumů a zvýšení produktivity práce.
- **Odstranění zpoplatnění meziměstských hovorů** může přinést ve firemním prostředí směrováním hovorů do IP sítě velkou úsporu nákladů. To je při velkém množství telefonních hovorů mezi vzdálenými pobočkami firmy pro uživatele ekonomicky atraktivní.
- **Zabezpečení** umožňuje správci IP sítě zajistit nezbytnou ochranu přenášených dat a informací. Přenášená informace může být zajištěna v podobě šifrování důležitých dat k zamezení zneužití případným neoprávněným příjemcem paketů.
- **Služby telefonních aplikací** nabízejí uživateli další alternativu využití IP telefonů. Kromě přenosu hlasové informace lze v případě dostatečné šířky pásma přenášet například video a to i pro více účastníků (videokonference), případně další data.

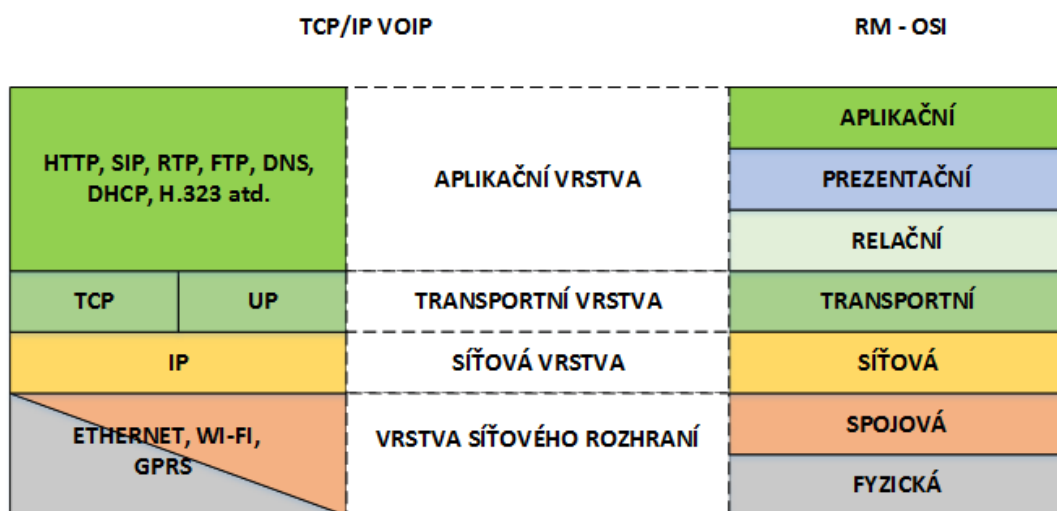
Vybavení současných VoIP ústředen umožňuje v případě zahlcení, či výpadku WAN sítě směrovat hovor přelivem do klasické JTS sítě.

5 Protokoly VoIP

Digitalizovaný komprimovaný hovorový signál ve formě toku dat je výstupem kodeku. Tyto bity je třeba rozdělit (paketizovat) a přenést datovou sítí od volajícího k volanému. Vlastní spojení a přenos dat ve VoIP síti obstarávají protokoly (standarty).

Protokol je jednoznačně definovaný soubor pravidel, podle kterých obecně probíhá vlastní výměna dat. Definuje pravidla, řídicí syntaxi, sémantiku a synchronizaci vzájemné komunikace. Protokoly jsou uspořádány do vrstev v rámci protokolového modelu TCP/IP (Transmission Control Protocol Internet Protocol - dále jen TCP/IP). Model TCP/IP popisuje strukturu datové sítě, která je založena na principu paketového přenosu. Úkolem každého protokolu je zajistit určitou funkci, a tím poskytovat služby sousední vyšší - nadřazené vrstvě. Protokol zároveň využívá služeb nejbližší nižší podřazené vrstvy. Za podmínky nasazení stejných protokolů na obou koncových bodech spolu vždy komunikují protokoly stejné odpovídající vrstvy.[28]

Architekturu TCP/IP modelu a jeho protokolů užívaného v sítích VoIP zachycuje obrázek 14.



Obrázek 14 Čtyřvrstvý model TCP/IP v sítích VoIP podle [28]

Pro správné pochopení funkce VoIP budou v následujících podkapitolách popsány vysvětleny funkce a úlohy protokolů jednotlivých vrstev modelu TCP/IP.

5.1 Síťové protokoly

Nejnižší vrstva síťového rozhraní bývá v rámci modelu TCP/IP rozdělena na vrstvu fyzickou (Physical Layer) a spojovou (Data Link Layer). Úkolem síťové vrstvy je interpretace signálů na přenosovém médiu (optické, bezdrátové, metalické sítě) a sdílení přenosového média mezi více zařízení. V datových sítích provádí tato vrstva směrování²⁰ dat od zdroje k cíli nezávisle na použité přenosové technologii. Důraz je kladen především na rychlost přenosu. Spolehlivost přenosu obstarávají vyšší související vrstvy modelu. [28]

IP protokol (Internet Protocol) přenáší zprávu mezi zdrojem a cílem. Pro přenos hlasu jsou pakety prostřednictvím protokolu IP doručovány zapouzdřenými zprávami protokolu UDP nebo TCP na předem stanovené IP adresy. Protokoly vyšších vrstev obstarávají veškerou funkcionalitu doručování IP paketů a zajišťují jeho spolehlivost. IP protokol je užíván ve dvou verzích. První verze IPv4 byla specifikována v roce 1981 organizací IETF²¹. Nejdůležitějším kritériem tohoto standardu je velikost prostoru IP adres 2^{32} čísel. Rychlý rozvoj informačních technologií brzy ukázal nedostatečnou kapacitu adres. Následně vytvořený protokol IP ve verzi IPv6 s dalšími vylepšeními má prostor adresace rozšířen na 2^{128} adres. Podrobnou specifikaci tohoto standardu lze nalézt například v RFC 791 [29].

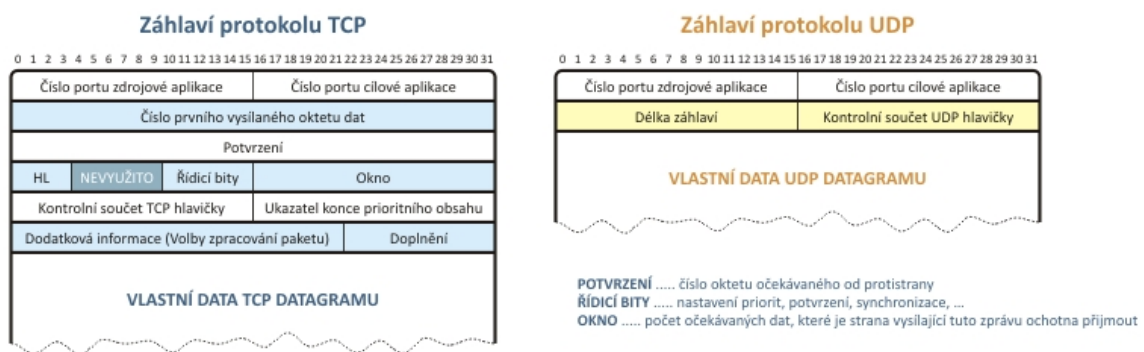
5.2 Transportní protokoly TCP a UDP

TCP (Transmission Control Protocol) je základním protokolem Internetu a obstarává spolehlivý přenos dat ke svému cíli ve správném pořadí a bez chyb. Protokol před zahájením přenosu vytváří virtuální okruh a pro zajištění spolehlivého doručení, jsou jednotlivé segmenty dat číslovány. Po každém odeslaném paketu protokol TCP očekává od cílového prvku potvrzení přijetí. Nedojde-li k odezvě od příjemce, protokol zahájí opakované odeslání paketu. Spolehlivost transportního protokolu TCP využívají aplikace citlivé na ztrátu dat (přenos souborů, elektronická pošta nebo webové stránky). Podrobněji se lze s protokolem seznámit v RFC 793. [30]

²⁰ Pro směrování se používá také anglický výraz *routing*

²¹ *Internet Engineering Task Force*

UDP – User Datagram Protocol je zjednodušenou alternativou protokolu TCP. Jednodušší struktura záhlaví tohoto protokolu odbourává některé složité procesy a umožňuje tak velmi efektivní transport dat při zachování rychlosti přenosu síťové vrstvy. UDP protokol je povahou své služby nespojový a tak před zahájením přenosu nevytváří kontrolní mechanismy pro záruku doručení paketů. Odstranění nespolehlivosti přebírá protokol vyšší aplikační vrstvy. Přenos dat protokolem UDP je užívaný ve VoIP sítích zejména z důvodu rychlosti. Přenos dat hlasu či videa je na zpoždění velmi citlivý. Bližší specifikaci UDP protokolu lze najít v RFC 768. [31]



Obrázek 15 Struktura hlaviček protokolů TCP a UDP (vpravo) - převzato z [28]

5.3 Aplikační protokoly

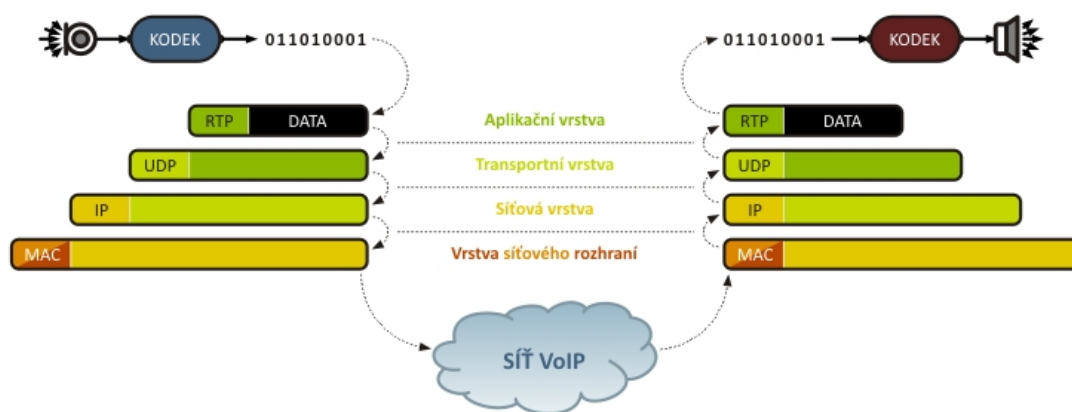
Úkolem protokolů aplikační vrstvy je vytvářet prostředí pro spolupráci rozhraní jednotlivých vzdálených aplikací. Koordinovat spolupráci mezi aplikačními procesy běžícími na vzdálených systémech je nutné například pro funkčnost programů nebo přenos hlasu.

Protokoly aplikační vrstvy ve VoIP sítích lze rozdělit do dvou základních skupin. V té první jsou přenosové protokoly, které obstarávají přenos informace k uživateli například ve formě hlasu, videa, apod. Ve druhé skupině pracují signalizační protokoly zajišťující podmínky vlastního přenosu dat (jak uvádí [28]).

Pro pochopení principu přenosu hlasu, případně videa je nutno aplikační a přenosové protokoly popsat podrobněji.

5.3.1 Protokoly pro přenos médií RTP a RTCP

RTP (Real-time Transport Protocol) je přenosový protokol zajišťující přenos zpráv v reálném čase. Byl navržen k zajištění podmínek spolehlivého doručení dat hlasu, textu nebo videa. Doplnuje tak protokol UDP nižší transportní vrstvy, nad kterým pracuje. Standard RTP nedisponuje mechanismy záruky doručení paketů a jejich správného pořadí, ale označuje jednotlivé zprávy pořadovými čísly. Ostatní multimediální aplikace pak mohou rozeznat případný chybějící paket. Dochází tak k synchronizaci přenášených dat v reálném čase. Standardizovaný formát RTP protokolu je jako ostatní uvedené protokoly standardem organizace IETF. Specifikace protokolu je volně dostupná pod označením RFC 3550. [32]



Obrázek 16 Princip paketizace dat a jejich následný přenos sítí VoIP – převzato ze zdroje [28]

RTCP (Real-time Transport Control Protocol) zajišťuje sledování kvality přenosu dat, která jsou přenášena prostřednictvím protokolu RTP. Protokol RTCP data nepřenáší, pouze pravidelně vysílá kontrolní data zařízením účastnících se komunikace. Zajišťuje tak monitoring důležitých parametrů přenosu. Protokol RTCP je podpůrným řídicím protokolem standardu RTP. Doplnuje přenášené pakety o další informace, podle kterých může vysílající strana dynamicky měnit například rychlost přenosu na základě požadavků opačné strany. RTCP standard pomáhá příjemci detekovat ztrátu nebo zpoždění paketů a kompenzovat kolísání latence (časová prodleva) v síti. Poskytuje služby řízení toku a kontroly zahlcení sítě.

Obecně lze shrnout, že protokol RTP zajišťuje přenos informací v reálném čase. Sesterský protokol RTCP dává zpětnou vazbu v údajích o kvalitě přenosu informací. Více o tomto standardu v jeho specifikaci RFC 3605. [33]

5.4 Signalizační řídicí protokoly peer to peer

Název sítě peer-to-peer někdy také označované P2P, lze vyjádřit českým významu termínu jako „rovný s rovným“. Jde o typ sítě s probíhající symetrickou komunikací mezi koncovými zařízeními nebo počítači. Koncová zařízení obsahují takovou inteligenci, která umí iniciovat požadavek či naopak být instruována žádostí a vykonat potřebné operace. Jednotlivé uzly sítě jsou založeny na distribuované architektuře řízení, ve které chybí centrální úloha serverů. Konkrétními zástupci signalizačních standardů sítě typu peer-to-peer jsou protokoly H.323 nebo SIP. [34]

5.4.1 SIP – Session Internet Protocol

Signalizační standard SIP je řídicím protokolem aplikační vrstvy. Provádí sestavení relace v síti, dohled nad průběhem a ukončení stávajícího spojení. Pojmeme spojení nebo relace je chápán hovor, přenos videa nebo spojení mezi automatickými zařízeními. Princip protokolu SIP je založen na textově kódovaných zprávách. Jednou z předností SIP protokolu je jednoduchost. Čtení protokolových zpráv umožňují uživateli standardní textové prohlížeče bez nutnosti překladu dat z binárního kódu. SIP je protokolem čistě signalizačním a je závislý na činnosti nižších vrstev. Pro svůj přenos využívá nejčastěji UDP protokolu transportní vrstvy na portu 5060. Nepodílí na doručování dat hovoru ani videa, což má na starosti protokol RTP. SIP nezajišťuje ani prostředí řízení spojení. To obstarává protokol SDP.

SDP (Session Description Protocol) je protokol odpovídající za užití příslušných kodeků, přidělování čísel portů pro datové přenosy a odhad schopností zařízení. Bity protokolu SDP jsou přenášeny v těle SIP paketů. Bližší specifikace tohoto protokolu v RFC 4566.[35]

V klasických telekomunikačních sítích využívajících systému signalizace SS7 sdílí řízení jednotlivá spolupracující síťová zařízení. U standardu SIP jsou naopak řídicí funkce orientovány na koncová zařízení. Prvky sítě pracují jako jednoduché směrovače. Základní specifikace standardu SIP je v RFC 3261. [36]

Správa a řízení komunikace v síti VoIP na bázi protokolu SIP je založena na architektuře a spolupráci následujících komponent: [28].

Architektura SIP protokolu

je soubor funkcí protokolu poskytujících uživatelským agentům možnost vytváření funkčního spojení v IP síti. Základní síťové komponenty podílející se na sestavení relací na základě SIP protokolu jsou:

- **Uživatelský agent UA** (User Agent) je logické označení představující koncové zařízení nebo Proxy server. Z hlediska software lze jeho funkce rozdělit na dvě části – klient a server.
- **Klientská část UAC** (User Agent Client) vysílá žádosti různých typů (registrace koncového zařízení, žádost o komunikaci atd.) na serverovou část UAS.
- **Serverová část UAS** (User Agent Server) reaguje na příchozí žádosti a odpovídá klientské části UAC.

Koncová zařízení s uživatelským agentem mají formu počítačového programu (Software Client) nebo telefonu (Hardware Client). Podmínkami jsou implementovaný software pro IP telefonii k tvorbě a příjmu SIP zpráv a logická adresace koncových zařízení.

- **Registrační server** (Registrar server) zajišťuje služby registrace uživatelských agentů, kteří při dostupnosti v síti zasílají serveru žádost REGISTER. Ten na základě údajů jejich logické adresy eviduje jejich aktuální polohu. Dochází ke svázání SIP adresy (identity uživatele) a IP adresy koncového zařízení. Údaje jsou uloženy na lokalizačním serveru pro účely směrování v IP síti.
- **Lokalizační server** (Location server) poskytuje informaci o umístění jednotlivých koncových zařízení na základě databáze zpráv registračního serveru nebo údajů vložených správcem sítě. Pro vyhledávání je využíván protokol LDAP²², což je standardizovaný protokol pro přístup k adresářovým službám. O tomto protokolu [37].
- **Redirect server** – slouží uživatelskému agentu pro vyhledávání serverové části uživatelského agenta volaného. Redirect server zjistí prostřednictvím lokalizačního serveru polohu (adresu) požadovaného UAS. Lokalizaci předává zpět klientskému UA. Uživatelský agent pak navazuje spojení sám.

²² *Lightweight Directory Access Protocol.*

- **Proxy server** – přijímá požadavky UA klientů pro vytvoření spojení a podílí se na jejich směrování v IP síti. Je-li uživatel registrován na vlastním serveru, pak je žádost přeposlána přímo na jeho koncové zařízení. Proxy sever získává IP adresu koncového zařízení z lokalizačního serveru. Patří-li IP adresa cizímu SIP serveru, pak je žádost přeposlána na cílový server s dotazem do záznamů v systému DNS²³. Proxy server ověřuje identitu uživatelů. Pouze uživatel se správnými identifikačními údaji je oprávněn tento proxy server užívat.

Tento výše uvedený seznam serverů bývá často aplikován jako kombinace funkcí jediného zařízení označovaného jako SIP server nebo SIP proxy server. [9].

Adresace zpráv pomocí SIP protokolu

Uživatelé VoIP sítě jsou odlišeni SIP adresou, která je zároveň jednoznačně identifikuje. Její syntaxe je velmi podobná adrese klienta e-mailové pošty. Příkladem takové adresy je *user@doména*. V nejjednodušším případě lze provést SIP komunikaci pouze na základě znalostí vzájemných IP adres. Formát adresy je potom *user@IPadresa*. Podmínkou je aktivní SIP User Agent, pro přijetí příchozího volání. Ve VoIP je obvyklým způsobem adresace označení uživatele jedinečným telefonním číslem. Doménová část pak specifikuje adresu SIP serveru operátora, například *987654321@operator.cz*. Pro navázání spojení s uživatelem této adresy je nejprve nutná registrace jeho SIP adresy v IP síti. Uživatel (administrátor) zadá adresu do koncového zařízení, které následně tuto registraci provede. Dojde tak ke svázání adresy IP koncového zařízení se SIP adresou uživatele. Konkrétní podoba registrace má potom podobu *user@domain ↔ IP adresa, jak uvádí* [28].

Zprávy protokolu SIP

Jak již bylo zmíněno, zprávy SIP protokolu jsou jednoduché. Je to uspořádaný řetězec znaků v textovém formátu UTF-8²⁴. (RFC 3629) [38].

Zprávy jsou strukturou podobné internetovému protokolu výměny zpráv webu HTTP – Hyper Text Transfer Protocol. (RFC 2616) [39].

²³ Domain Name System.

²⁴ UCS Transformation Format.

Komunikace probíhá mezi klientskou a serverovou částí (UAC a UAS) uživatelských klientů. Zprávy probíhají formou žádostí (metody) a odpovědí. Následující stručný přehled uvádí pouze základní třídy žádostí a odpovědí definovaných RFC 3261 [36].

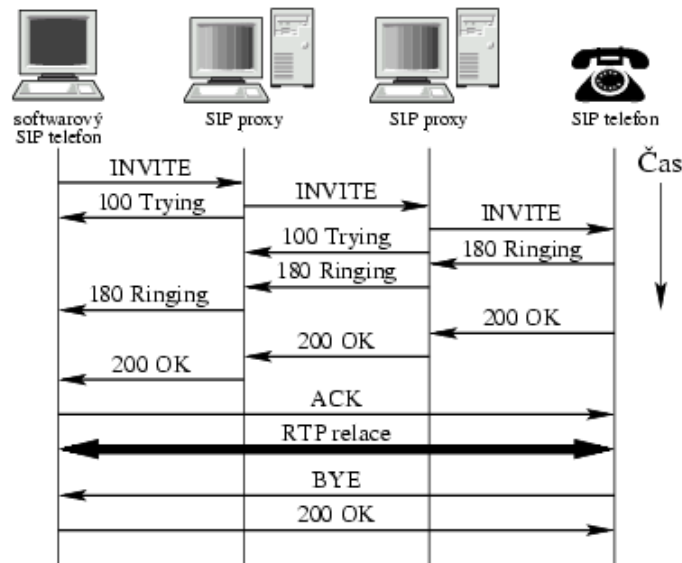
Žádosti protokolu SIP:

- **REGISTER** – žádost o registraci klienta do sítě u registračního serveru a zahájení registračního procesu.
- **INVITE** – žádost o navázání spojení nebo změnu parametrů existujícího spojení. Žádost obdrží volaný přímo nebo je zpráva směrována přes proxy servery. Po doručení zprávy zjistí volaný okolnosti možného spojení (uživatel je dostupný, obsazený, přesměrovaný, případné podporované kodeky, atd.) Na tomto základě vyšle jednu z následujících odpovědí.
- **ACK** – žádost, kterou klient potvrzuje obdržení konečné odpovědi na předchozí žádost INVITE.
- **BYE** – žádost o ukončení spojení, po potvrzení protistranou, že je spojení ukončeno.
- **CANCEL** – žádost o zrušení probíhající žádosti INVITE. Uživatel se rozhodne přerušit sestavování ještě nenavázaného spojení (nebylo dosud sestaveno). Vyšle k UAC zprávu CANCEL. Odpovědí protistrany je chybové hlášení a pokus navázání spojení je ukončen.
- **OPTIONS** – žádost o zaslání přehledu funkcí podporovaných serverem (typy zpráv, kodeky, typy médií obsluhovaných protistranou atd.).

Odpovědi protokolu SIP:

- **1xx** (průběh) – informace vzdálené strany o průběhu zpracování žádosti.
- **2xx** (úspěch) – úspěšné přijetí a zpracování žádosti.
- **3xx** (přesměrování) – informace, kam přesměrovat žádost.
- **4xx** (chyba klienta) – žádost klienta nebyla ve správném formátu nebo ji tento server nemůže obsloužit. Na jiném serveru však může být žádost úspěšná.
- **5xx** (chyba serveru) – chyba na straně serveru. Žádost nelze serverem obsloužit, přestože byla vytvořena podle pravidel.
- **6xx** (fatální chyba) – ukončení pokusu o navázání relace z důvodu chyby. Důvodem může být odmítnutí uživatelem, typ kodeku není podporován atd.

Na obrázku 17 je znázorněno navázání, průběh komunikace a ukončení spojení aplikací pomocí zpráv SIP protokolu mezi IP telefonem a softwarovou telefonní aplikací.



Obrázek 17 Diagram signalační výměny zpráv SIP protokolu – převzato z [40]

Podrobnější specifikace sestavování hovorů a komunikace prostřednictvím protokolu SIP lze najít ve standardu RFC 3665 [41].

5.4.2 H.323

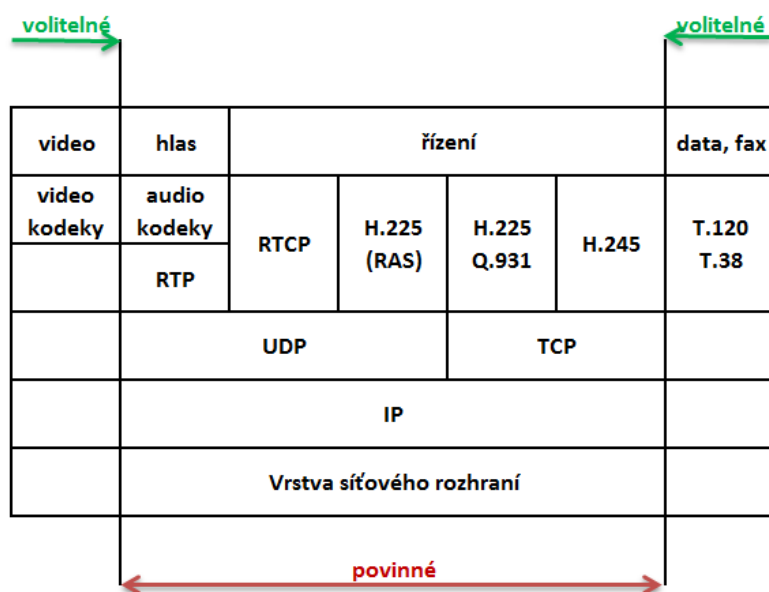
Protokol nazývaný také standardem H.323 z roku 1996 s doporučením ITU-T je dnes již modifikován v několikáté verzi. Byl původně určen pro multimediální aplikace a na jeho vývoji se významně podílely telekomunikační společnosti. Tento historicky první řídicí standard VoIP je užíván převážně v páteřních sítích. Dal by se také charakterizovat jako množina komplexních řešení, komponent, protokolů a funkcí podílejících se primárně na přenosu multimediálních služeb. H.323 vychází z protokolu Q.931 technologie ISDN a upravuje protokol přenosu paketů na formát vhodný pro IP síť.

Architektura a komponenty standardu H.323:

Většina protokolů standardu H.323 a jejich funkce zde již byla zmíněna. Pro doplnění pak jsou uvedeny následující standardy:

- **H.225** (RAS a Q.931) jsou protokoly definující signalizační zprávy pro sestavení, dohled a rozpad spojení. RAS řídí komunikaci mezi koncovými zařízeními a bránou. Q.931 je signalizační protokol pro sestavení, dohled a rozpad spojení v síti ISDN. Více o standardu H.225 v doporučení ITU-T RFC 3629 [42].
- **H.245** protokol definuje signalizační zprávy pro vyjednání parametrů přenosového kanálu. Bližší specifikace tohoto standardu v dokumentech RFC 2616 ITU-T [43].

Uvedený obrázek 18 ilustruje zjednodušeně architekturu souboru standardů H.323.



Obrázek 18 Zjednodušená architektura H.323 podle [44]

Jak je vidět z obrázku 18 výše, podpora služeb přenosu hlasu u tohoto standardu je povinná. Video a data jsou služby volitelné.

Z komponent využívajících standardu H.323, je nutno zmínit terminál, který je jedinou základní povinnou výbavou H.323 sítě. Slouží k obousměrné komunikaci v reálném čase s terminály jiných sítí. Nepovinnými prvky jsou pak gateway (brána), gatekeeper a jednotka MCU.

Jedna H.323 síť může obsahovat libovolné množství terminálů, MCU a bran, vždy však pouze jeden gatekeeper. Výše uvedené dělení prvků IP sítě s protokolem H.323 je pouze logické. Jednotlivé komponenty bývají často integrovány do jednoho produktu. Jednotka MCU může být například integrována přímo v terminálu. O standardu H.323 čerpáno z [45].

5.5 Signalizační protokoly klient-server

jsou signalizační standardy neobsahující inteligenci pro řízení volání. Tyto protokoly pouze zasílají nebo přijímají zprávu o událostech nějakému centrálnímu prvku. Většinou je to agent volání. Zástupci protokolů typu klient-server jsou standardy MGCP a SCCP. [2]

5.5.1 MGCP – Media Gateway Control Protocol

je protokolem typu klient-server řízení hovorů v centralizované architektuře správy volání. „MGCP nabízí výhodu centralizované správy bran a zajišťuje dobré škálovatelné řešení IP telefonie, jak uvádí Wallace (2009, str. 27)“. Protokol byl vytvořený pro správu volání v rámci spolupráce sítí VoIP a PSTN. Řízení brány je realizováno centrálním prvkem s vyšší inteligencí. (agent volání). Tento zprostředkovatel volání iniciuje a sestaví hovor, stanoví pravidla (signalizace) a poté již probíhá tok hovorových dat RTP a RTCP bez jeho intervencí. Síť MGCP tvoří fyzická zařízení (komponenty) a logická zařízení (koncepty MGCP). MGCP protokol komunikuje s protokoly H.323 i SIP. Není ovšem protokolem zástupným, spíše doplňujícím. Bližší specifikace tohoto protokolu v RFC 2705 [46].

5.5.2 SCCP – Skinny Client Control Protocol

je posledním zde představeným signalizačním protokolem. Proprietární protokol firmy Cisco slouží ke komunikaci mezi aplikací agenta volání UCM a koncovými body IP sítě. Agent volání je informován o jakékoliv akci koncového zařízení. Posílá zpět instrukce, jak má koncové zařízení vybavené nižší inteligencí reagovat na tuto událost. V praxi to například znamená, že pokud uživatel vyzvedne sluchátko, protokol SCCP obstarává informaci zasílanou agentem volání směrovači, aby poslal koncovému zařízení oznamovací tón. Více o SCCP standardu přímo u firmy Cisco [47].

5.6 Bezpečnostní protokoly

Při řešení problematiky zabezpečení VoIP sítí by měli uživatelé zvážit fakt náchylnosti přenosu hlasu na parametry QoS, které budou dále vysvětleny. To může nepříznivě ovlivnit kvalitu přenosu nebo dokonce způsobit nedostupnost služby. Hlasová komunikace je provoz v reálném čase a to znamená, že ztráta nebo poškození paketů jsou nenahraditelné.

Z toho důvodu je třeba věnovat zabezpečení hlasového provozu mimořádnou pozornost a hledat kompromis mezi bezpečností a kvalitou. K následujícím protokolům použito zdroje o bezpečnosti ve VoIP [48].

5.6.1 IPSec – Internet Protocol security

je standard zabezpečení signalizace i datového provozu na síťové vrstvě. Je možné jej implementovat v IPv4 a je již pevnou součástí IPv6. IPsec zajišťuje autentizaci, integritu, důvěrnost dat a provádí automatickou správu klíčů. Díky časově proměnným parametrům je ochranou proti útoku přehráním. Bližší specifikace standardu IPsec je v RFC 4301 [49]. Způsoby zabezpečení virtuálních privátních sítí protokolem IPsec uvádí [50].

5.6.2 TLS - Transport Layer Security Protocol

je kryptografický protokol, který vznikl ze staršího protokolu SSL (Secure Sockets Layer). TLS pracuje nad TCP protokolem. Zajišťuje důvěrnost a integritu dat. Umožňuje autentizaci serveru a klienta. Autentizace serveru je povinná a autentizace klienta volitelná. Šifrování dat probíhá symetrickými klíči, které si obě strany mezi sebou vymění. Podrobnou specifikaci protokolu lze nalézt v RFC 4346 [51] a RFC 2246 [52].

5.6.3 DTLS – Datagram Transport Layer Security Protocol

představuje upravený zabezpečovací protokol TLS pro spolupráci s UDP protokolem. Funkčnosti DTLS s UDP protokolem je dosaženo minimální modifikací prvků TLS. DTLS protokolem lze zabezpečit aplikace VoIP, které si mohou dovolit ztrátu paketů za cenu nízkého zpoždění. Podrobné specifikace tohoto standardu lze najít v RFC 4347 [53].

5.6.4 SRTP a SRTCP

Protokoly RTP a RTCP neobsahují žádné mechanismy zajištění integrity, autentičnosti a důvěrnosti. Rozšířením těchto standardů o požadované vlastnosti vznikly protokoly SRTP (Secure Real-time Transport Protocol), jehož bližší specifikace je v RFC 3711[54] a SRTCP (Secure Real-time Transport Control Protocol). K šifrování je použito algoritmu AES, aniž by se došlo k nárůstu velikosti přenášených dat. Na straně příjemce jsou data zvětšena o hlavičku autentizace, která každý paket navýší o 10 bitů.

5.6.5 ZRTP – Zimmermann secure Real-time Transport Protocol

vznikl rozšířením SRTP protokolu. Na základě aplikace Diffie-Hellmanova algoritmu pro výměnu klíčů je vygenerována sdílená tajná informace. Ta je poté využita k sestavení zabezpečeného spojení protokolem SRTP. Protokol ZRTP nevyžaduje dopřednou znalost sdíleného tajemství, certifikáty ani infrastrukturu PKI (Public Key Infrastructure). Klíče si strany vyměňují v rámci rozšíření hlaviček RTP paketů. ZRTP si ponechává sdílené tajemství z předchozího spojení, čímž je umožněna autentizace a prevence před útokem typu man-in-the-middle²⁵ bez použití certifikátu. Podrobná specifikace protokolu v RFC 6189 [55].

²⁵ Útočník odposlouchává hovor mezi účastníky spojení

6 Technické aspekty implementace VoIP technologie

6.1 Konektivita firmy

Datové spojení je pro firmy nepostradatelný pracovní nástroj a komunikační kanál. V případě výběru špatného připojení mohou být ohroženy podnikatelské aktivity uvnitř i vně firmy.

Konektivitu (připojení) firemní sítě LAN k veřejné IP síti WAN je možno realizovat několika způsoby. Každá z technologií má určité přednosti i omezení. [56]

6.1.1 Asymetrické ADSL/VDSL připojení

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) nebo **VDSL** (Very High Speed DSL) je nejběžnější a nejlevnější způsob připojení současných uživatelů.

Rychlost připojení dat lze rozdělit na data přenášená k uživateli (download), a data odesílaná nebo odcházející od uživatele (upload). U ADSL a VDSL je rychlost přicházejících dat vyšší, než rychlost dat odcházejících do veřejné datové sítě. Tato asymetrie je pro většinu uživatelů vyhovující za těchto podmínek:

- vyhledávání informací na webu, stahování souborů, obrázků a občas i videa,
- korespondence elektronické pošty s občasným posíláním příloh,
- maximální sdílení (agregace) ADSL linky do deseti uživatelů, VDSL linky do dvaceti uživatelů.

Technologie ADSL/VDSL je nevhodná pro tyto uživatelské činnosti:

- profesionální přenos hlasu a videa,
- přenos velkého množství dat,
- podnikové servery (problémy s dostupností a rychlostí stahování dat),
- přenos dat mezi firemními lokalitami,
- řízení online aplikací.

Dalšími problémy připojení technologiemi ADSL a VDSL jsou rychlost a agregace.

Agregace je sdružení přípojky pro více uživatel dohromady. Je to poměr udávaného omezení účastníků datové linky ve své komunikaci (kolik uživatelů sdílí kapacitu linky společně). Pro domácnosti je udávaná agregace až 1:50, pro firmy 1:20.

Rychlost připojení je dána fyzikálními principy, jako je vzdálenost přípojky od ústředny, či předsunutého zařízení (DSLAM²⁶) v rozvaděči poskytovatele. Pro nejvyšší rychlost připojení by vzdálenost neměla překročit 700 metrů. Poskytovateli udávané rychlosti připojení ADSL (8 a 16 Mbit/s), (VDSL 20 a 40 Mbit/s) jsou většinou zavádějící. Dosažená skutečná rychlost v daném místě uživatele může být díky výše uvedeným skutečnostem podstatně nižší při stejné platbě. Volba maximálních rychlostí uživatelem není ve většině případů ani možná. O principu technologie ADSL a VDSL v [57].

6.1.2 Symetrické metalické připojení SHDSL

SHDSL (Symmetrical High-speed Digital Subscriber Line) je technologie, umožňující využití stávajícího metalického telefonní vedení k vysokorychlostnímu přenosu dat.

Provádí se skládáním více párů vedení do jednoho přístupu (obvykle 2 nebo 4 páry pro obousměrný provoz). Tak lze zvýšit rychlost přenosu až na 20 Mbit/s při stejném downloadu i uploadu. Hodnota přenosové rychlosti je dána vzdáleností ústředny, kvalitou metalického vedení nebo počtem volných párů vedení k dispozici. Poskytovatel garantuje agregaci pro tuto službu 1:1. Požadovaná cena je obvykle v jednotkách tisíců korun měsíčně v závislosti na rychlosti připojení. SHDSL technologie je vhodným způsobem připojení pro:

- firmy s více zaměstnanci, malá a větší call centra,
- profesionální přenos hlasu (VoIP) a videa mezi uživateli,
- webové podnikové servery,
- přenos streamovaného videa přímo z firmy,
- obousměrný přenos dat mezi lokalitami,
- řízení online aplikací.

²⁶ DSL Access Multiplexor – přístupové zařízení pro vstup do datové sítě na straně poskytovatele.

6.1.3 Symetrické radiové připojení

Přístup k internetu je také možné zajistit formou radiového připojení. Rychlost tohoto připojení je dnes v řádech jednotek až stovek Mbit/s. Rádiové připojení se dělí na služby pracující v licencovaném pásmu a ve volném pásmu.

Licencované pásmo umožňuje připojení pomocí radiových nebo také někdy nazývaných mikrovlnných pojítek. Tyto radioreleové spoje pracují při přímé viditelnosti na vzdálenost zhruba 10 - 50 kilometrů. Výhodou pojítek je spolehlivost přenosu a odolnost. Nevýhodou je cena radiového pojítka v řádech desítek až sta tisíce korun za jeden „mikrovlnný skok“. Dalšími výdaji jsou platby za pronájem frekvence v licencovaném pásmu.

Volné pásmo využití připojení pojítky mimo centra měst znamená téměř poloviční cenu oproti radioreleovým spojům licencovaného pásma. Rizikem je rušení neodborně namontovaného zařízení. Součástí připojení pomocí volného pásma může být internetové připojení na bázi WiFi. Bezdrátové připojení slouží k pokrytí vnitřních prostor budov pro přístup zařízení k internetu nebo interní datové síti. Připojení pomocí WiFi na větší vzdálenosti není kvalitní. Pro firemní užití je toto připojení nevhodné. Problémy jsou v obsazenosti kanálů, nespolehlivosti spojení pomocí směrové antény, rušení a možnosti odposlechu.

6.1.4 Symetrické optické připojení

Optický přístup k Internetu je určen pro vyšší rychlosti připojení v řádu Gbit/s. Jeho cena je vysoká a pohybuje se v řádech spíše desítek až stovek tisíc korun. Výhodnější může být využití již existujícího optického kabelu v dané lokalitě zákazníka pro sdílení služby více uživateli. Kapacita páru optických vláken je 10 Gbit/s. Dnešní technologie vlnového multiplexu DWDM²⁷ poskytuje řešení pro až 80 různých vlnových délek vysílaných po jednom páru současně. Teoreticky lze tedy využít rychlosti až 800 Gbit/s.

6.1.5 Satelitní připojení

Satelitní připojení je u nás dostupné odkudkoliv. Může být symetrické i asymetrické, ale díky velkému zpoždění je zcela nevhodné pro přenos hlasu.

²⁷ Dense Wavelength-division Multiplexing - vlnový multiplex se nejčastěji používá při přenosu informace optickým způsobem

6.2 Kvalita obsluhy QoS (Quality of Services)

znamená v telekomunikacích soubor technologií a funkcí zajišťujících požadovanou kvalitu přenosu dat sítěmi. Nástroj QoS specifikuje určité vlastnosti a parametry, které zajišťují předvídatelný síťový provoz s eliminací problémů popsaných v následující kapitole. [3]

Aplikace pro přenos hlasu, případně videa mají díky provozu v reálném čase jiné požadavky oproti klasickým datovým přenosům. QoS upřednostňuje provoz hlasových paketů před ostatním provozem z důvodu eliminace zpoždění dat hlasu. QoS nabízí velmi užívané omezování a vyhrazování přenosového pásma. Omezování znamená nastavení maximálního pásma, které může být použito. Vyhrazování přenosového pásma je garance hodnoty minimální šířky pásma, které bude pro daný provoz vždy k dispozici.

6.2.1 Problémy sítí VoIP telefonie

- **Zpoždění (Delay)** – data dorazí do cíle příliš pozdě. Celkový čas přenosu dat od počátečního bodu ke koncovému je ovlivněn řadou okolností. Na zpoždění má vliv například vzdálenost (zpoždění signálu), kódování, komprese, zdržení ve frontách (uložení v mezipaměti), atd.
- **Variace zpoždění (Jitter)** – rozdílné zpoždění způsobované frontami po cestě přenosu.
- **Ztrátovost paketů (Packet loss)** – Dojde-li cestou přenosu ke ztrátě paketu nebo je-li paket zahozen z důvodu malé propustnosti, pak je vyslán znovu. To změní pořadí doručení paketu.
- **Doručení mimo pořadí (Out-of-order delivery)** – případ, kdy pakety putují různou cestou nebo jsou na základě ztráty či zahození vyslány znovu.
- **Šířka pásma (Bandwidth)** – je využíváno nepravidelně a neekonomicky, kdy například stahováním velkého souboru je zabírána velká šířka pásma na úkor hlasového provozu.

6.2.2 Požadavky pro přenos hlasu v IP sítích

K optimální funkci VoIP telefonie by v praxi mělo být dosaženo těchto doporučných hodnot:

- latence – koncové zpoždění (doba mezi vysláním paketu a jeho doručením) < 150 ms,
- jitter – kolísání zpoždění (rozdíl v intervalech mezi přijímanými pakety) < 30 ms,
- ztrátovost paketů – podíl přijatých a vyslaných paketů za čas < 1%.

6.2.3 Aplikace QoS mechanismů při implementaci VoIP

Uživatel aplikující nástroje QoS by měl nejprve stanovit vlastní kritéria pro výběr daného mechanismu, jak uvádí [3].

1. **Stanovení požadavků na výkonnost sítě.** Jde o interní stanovení zpoždění, časové nestability a ztrátovosti paketů pro hlas video a data v síti.
2. **Specifikace provozu do tříd podle priorit.** Například hlas – vysoká priorita (malé zpoždění), obrazové pakety – nižší priorita (větší zpoždění). Podle doporučení Cisco by počet tříd neměl překročit 10.
3. **Dokumentace QoS politiky a její vysvětlení uživatelům.**

Na základě vlastních kritérií by uživatel měl volit některé nástroje z následující kategorie QoS mechanismů doporučených společností Cisco:

Best-effort service – neposkytuje QoS. Tato kategorie klasického TCP/IP provozu užívá metodu řazení FIFO – pakety vychází z fronty ve stejném pořadí, v jakém přišly.

Integrated services (IntServ) – nejprve je pomocí síťové signalizace mezi zařízeními striktně vyhrazena (vyjednána) šířka pásma. Teprve poté jsou posílána data. Pro tuto rezervaci cesty je využíváno protokolu RSVP (Resource Reservation Protocol), jehož bližší specifikaci lze najít v doporučení RFC2205 [58]. Garantovaný QoS pomocí tohoto mechanismu je velmi málo užíván. Podmínkou je podpora aplikací a všech směrovačů (jejich konfigurace) v cestě přenosu. Nevýhodou nástroje je náročnost na zdroje a nedostatek škálovatelnosti.

Differentiated services (DiffServ) – je současně nejpoužívanější metodou QoS. Pakety jsou rozděleny do tříd podle typu při příchodu na směrovač. Záznam klasifikace je proveden do hlavičky paketu a další zacházení s těmito třídami paketů závisí na konfigurovaných parametrech zvolených uživatelem.

6.3 Poslechová kvalita a její hodnocení

Kvalitu hovorového signálu přeneseného určitým typem kodeku lze číselně vyjádřit. V současné době existují dvě kategorie měření.

Subjektivní metoda měření využívá stupnici MOS (Mean Opinion Score), která je definována v rámci doporučení ITU-T. Testovací subjekty hodnotí známkami v rozsahu stupnice 1 - 5 kvalitu přenosu hovoru ve smyslu konverzačním nebo poslechovém. Význam jednotlivých známek je zachycen v tabulce 2.

Tabulka 2 Parametry MOS podle [6]

Známka	Hodnocení	Vlastnosti poslechu
5	vynikající kvalita	neznatelné rušení
4	dobrá kvalita	rušení je rozpoznat, ale není obtěžující
3	průměrná kvalita	rušení lze rozeznat a je mírně obtěžující
2	nízká kvalita	rušení obtěžuje, nutno vyvinout úsilí porozumět
1	špatná kvalita	rušení velmi obtěžuje, řeč je nesrozumitelná

Nevýhodami této metody měření je časová náročnost, nákladnost a subjektivita názorů. Výsledné hodnocení je dáno zprůměrováním hodnocení více uživatelů a nemusí vést k jednotnosti výsledků mezi jednotlivými skupinami testujících.

Druhým typem měření kvality přenosu je objektivní metoda, která se dělí do dvou podkategorií:

PSQM (Perceptual Speech Quality Measurement) je digitální metoda měření signálu, kdy se měří rozdíl mezi vstupem a výstupem signálu, tedy rozdíl mezi kvalitou řeči odeslané a obdržené na druhém konci komunikačního kanálu.

PESQ (Perceptual Evaluation Speech Quality) metoda měří také kvalitu signálu digitálně. Její porovnání se vztahuje k měření MOS, tedy s předpokladem, že naměřená hodnota PESQ metodou by se měla přibližně rovnat MOS analýze. Podrobněji o metodách MOS v doporučeních ITU [59].

6.4 Výpočet a volba šířky pásma

Šířka spotřebovaného pásma hlasovým provozem je pro uživatele důležitým cenovým a technickým faktorem užívání veřejné IP sítě. Logicky je tato hodnota nejvyšší v době provozní špičky. Ta nese v telefonii označení hlavní provozní hodina BHT (Busy Hour Traffic). Ke stanovení hledané hodnoty optimálně dimenzované šířky pásma sítě je nejprve potřeba provést výpočet několika pomocných faktorů. Tímto poměrně složitým procesem statistických výpočtů a analýz se zabývá obor provozního inženýrství [3].

Zjednodušená metoda výpočtu doporučená firmou Cisco uvádí následující postup výpočtu. [3]

6.4.1 Výpočet Erlangů

Jednotka Erlang představuje celou jednu hodinu používání telefonní linky. Uživatele zajímá hodnota počtu Erlangů v nejvytíženější hodině provozu BHT. Prvním krokem je zjištění celkového počtu minut provolaných za měsíc. Údaj lze najít na telefonním účtu společnosti nebo výpisu telefonního provozu firemní ústředny.

Objem provolaných minut v hlavní provozní hodině je dán statisticky ověřeným vztahem:

$$BHT = \frac{\Sigma \text{celkového měsíčního provozu (min.)}}{22} \times 0,15 [\text{min.}].$$

Pro hodnotu v jednotkách Erlangů je výsledek ještě upraven:

$$ERL = \frac{BHT}{60} [\text{hod.}].$$

6.4.2 Stanovení kvality obsluhy GoS

Kvalita obsluhy GoS (Grade of Services) je přijatelné procento hovorů zamítnutých v době hlavní provozní hodiny BHT. Návrháři telefonních IP sítí je doporučena hodnota 1%.

6.4.3 Kalkulace počtu potřebných linek

Nyní lze získané hodnoty ERL a GoS dosadit do modelu výpočtu Erlang B²⁸, který je doporučen pro firemní síť. Tento postup vyřeší kalkulátor například na webových stránkách <http://erlang.com/calculator/erlb>. [60]

6.4.4 Stanovení šířky pásma

Poslední fáze výpočtu spočívá v dosazení hodnoty počtu potřebných linek a specifické parametry hovorů pro VoIP síť do dostupné aplikace výpočtu šířky pásma. Ta je k dispozici například na <http://erlang.com/calculator/lipb>. Specifickými parametry jsou například typ použitého kodeku, typ sítě a další hodnoty mající vliv na velikost šířky pásma. Podrobnější specifikaci výpočtu uvádí [61].

6.5 Zabezpečení přenosu hlasu ve VoIP síti

Bezpečnostních hrozeb ve VoIP telefonii je velké množství. Tato nebezpečí se dělí na čtyři základní skupiny podle [48] :

- útoky na dostupnost služby (DoS²⁹),
- zlomyslné aktivity s cílem narušit integritu služeb (například špatné účtování),
- SPIT (SPAM over IP Telephony),
- odposlouchávání nebo záznam hovoru.

Z těchto hrozeb je pro běžného uživatele nejzávažnější odposlech nebo záznam hovoru. VoIP telefonie je v tomto ohledu daleko zranitelnější než klasická JTS. V současné době je možno získat řadu dostupných softwarových nástrojů k analýze a zpětné rekonstrukci zachycených paketů do souboru s možností jeho přehrání. Z hlediska útočníka je ideální odposlech jednoho z koncových bodů spojení, neboť podle konfigurace VoIP sítě se signalizační a datové spojení realizuje odlišnými trasami.

Zabezpečení hlasových služeb v lokální síti LAN lze provést některými doporučenými způsoby převzatými z [48].

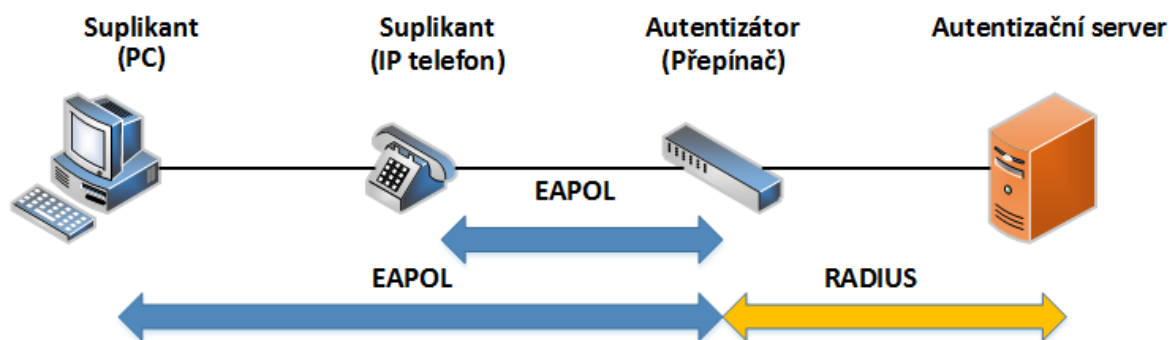
²⁸ Další modely výpočtu pro jiné účely ve zdroji [4]

²⁹ Denial of Service – odmítnutí služby

6.5.1 Řízení přístupu k síťovému médiu na úrovni portů.

Zajištění bezpečnosti na úrovni portů je definováno standardy IEEE³⁰ 802.1x. Jedním z doporučení je architektura bezpečnostního rámce autentizace v sítích LAN³¹. Tento mechanismus obsahuje tři navzájem komunikující entity:

- **Suplikant** – prvek, který se chce přihlásit do sítě (počítač, IP telefon).
- **Autentizátor** – prvek zprostředkující autentizaci (ověření identity) klienta. Tento aktivní síťový prvek (přepínač) komunikuje se suplikanty prostřednictvím protokolu EAPOL (Extensible Authentication Protocol over LAN). Obdržené přihlašovací informace jsou přeposlány autentizačnímu serveru. Ten po ověření suplikanta (klienta) přístup do sítě umožní nebo zamítne. Bližší specifikace protokolu v RFC 3748. [62]
- **Autentizační server** – ověřuje na základě vlastních informací identitu suplikanta. Ke komunikaci s autentizátorem využívá obvykle protokol RADIUS, který je popsán v (RFC 2866. [63]



Obrázek 19 Bezpečná autentizace pomocí 802.1x podle [48]

Bezpečná autentizace je pouze částí informační bezpečnosti hlasu v IP sítích. Dalším pilířem je integrita přenesené informace a její utajení. Komunikaci mezi koncovými zařízeními IP telefonem a prvkem sítě (přepínač) lze útočníkem odposlechnout nebo modifikovat. Úroveň spojové vrstvy není nijak zabezpečena.

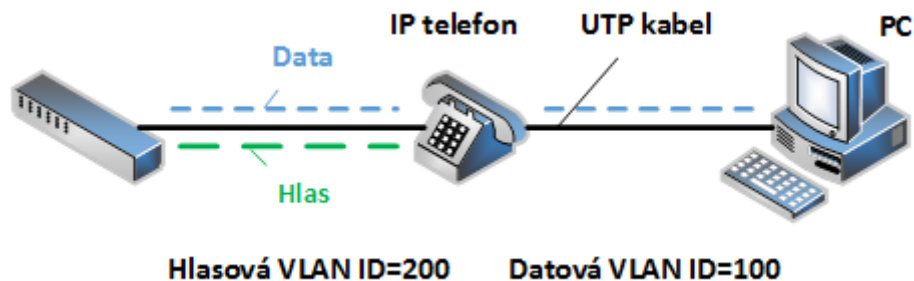
Komplexním řešením bezpečnosti šifrováním rámců a bezpečné výměny šifrovacích klíčů spojové vrstvy se zabývá doporučení IEEE 802.1AE-2006. [64]

³⁰ The Institute of Electrical and Electronics Engineers - Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství

³¹ Local Area Network (lokální síť, místní síť) - počítačová síť pokrývající malé geografické území, většinou firemní nebo domácí síť

6.5.2 Oddělení hlasových a nehlasových služeb.

Toto řešení znamená oddělení VoIP provozu od datových přenosů a vytvoření virtuálních VLAN (Virtual LAN) sítí. Postup definuje doporučení IEEE 802.1q. [64]



Obrázek 20 Princip oddělení provozu hlasu a dat pomocí VLAN podle [48]

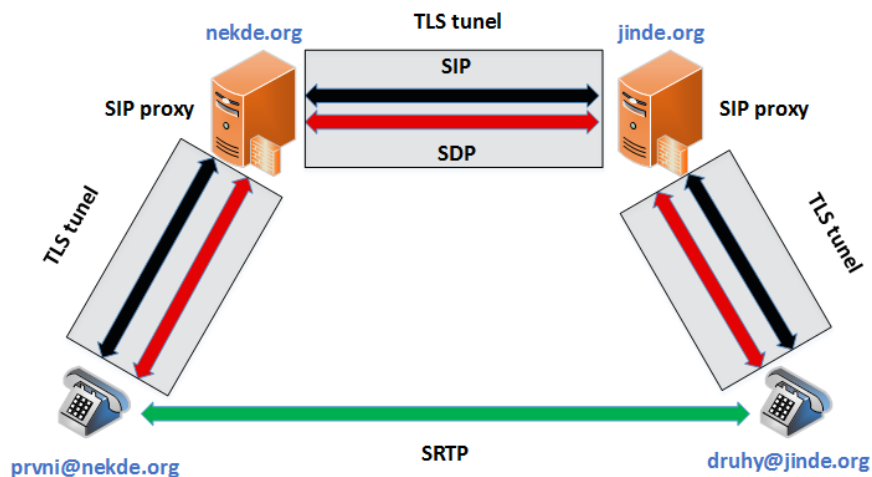
Obrázek 20 znázorňuje doporučené vytvoření hlasových virtuálních sítí – VVLAN (Voice VLAN), které přináší některé výhody. Hlavní spočívá v jednodušší konfiguraci sítě, kdy uživatel dává prioritu hlasovým paketům VVLAN jejich značením pro QoS. Z tohoto plyne další výhoda, kdy síťová VoIP zařízení se nemusí zabývat všemi pakety v síti, ale pouze generovanými v rozsahu hlasové VLAN.

6.5.3 Zabezpečení datových spojení

Hlas v podobě toku dat je IP sítí přenášen prostřednictvím protokolu RTP, kdy jako transportní protokol je užíván protokol UDP. K zabezpečení přenosu dat slouží standardizované kryptografické protokoly IPsec, SRTP, ZRTP a DTLS, jejichž základní princip byl již zmíněn v kapitole o protokolech. Nevýhodou každého zabezpečení šifrováním je stoupající režie datového provozu, což se odráží ve vyšším zpoždění a jitter.

6.5.4 Zabezpečení signalizačních spojení

Způsob adresace nazývaný SIPS (Secure SIP) spočívá v užití URI (Uniform Resource Identifier) ve formátu *sips:volany@nejakadomena.cz* místo *sip:volany@nejakadomena.cz*. Každý proxy server v cestě mezi zdrojem a cílem si přidává do SIP záhlaví své směrovací informace. Proto je zabezpečení pomocí TLS použito mezi každými dvěma zařízeními přenosové cesty.



Obrázek 21 Zabezpečení signalizace pomocí SIPS podle[48]

Celá výše zmíněná problematika bezpečnosti provozu ve VoIP telefonii je velmi obsáhlá. Větší problém, než je nasazení různých technických prostředků, bezpečnostních protokolů a kryptografických algoritmů se může skrývat v samotném uživateli VoIP telefonie. Všechna řešení zabezpečení mohou být zbytečná a finančně zatěžující, pokud firemní síť není ve správě zodpovědných a poučených uživatelů. Podrobněji o bezpečnosti v [65].

7 Návrh řešení nasazení VoIP ve firemním prostředí

Nasazení IP telefonie představuje pro zákazníka (koncového uživatele) řadu ekonomických a technických výhod, které jsou předností oproti klasické telefonii. [66]

Důvody implementace VoIP technologie

- Úspory nákladů při budování vnitřní struktury okruhů pro hlasový provoz uvnitř firmy v rámci propojení poboček firmy.
- Výrazná úspora investic do klasické telefonní sítě konvergencí hlasového a datového provozu do jediné LAN infrastruktury. Telefonní provoz je realizován společně s dalšími datovými IP službami v jedné síti.
- Bezplatné volání mezi jednotlivými pobočkami v privátní datové síti s podporou VoIP, přestože účastníci spojení mohou být od sebe geograficky vzdáleni tisíce kilometrů.
- Snížení nákladů ve společnosti za odchozí provoz. U VoIP volání nabízí alternativní telekomunikační operátor vždy úsporu zhruba 20 – 30 % oproti tarifům klasické telefonie.
- Propojení počítačů a přístup k sítím dalších poboček firmy díky jediné virtuální VoIP síti.
- Zisk v podobě vyšší efektivity práce s využitím služeb IP telefonie, které klasická telefonie uživateli není schopna nabídnout. Administrativa telefonních služeb a přístup do databází přímo prostřednictvím displeje IP telefonu. Propojení telefonních služeb do systémů CRM³².

7.1 Implementace VoIP technologie v menší firmě

Případová studie popisuje dva možné způsoby řešení telekomunikačních služeb menší fiktivní firmy, které přestává z technických i ekonomických důvodů vyhovovat prostřední klasické telefonie. Společnost proto zvažuje využít vybudovanou ethernetovou síť k připojení hlasových služeb prostřednictvím VoIP technologie.

³² *Customer relationship management – Databázový systém orientovaný na řízení vztahů se zákazníky*

Modelová firma Elektram je obchodní firma s elektromateriálem a přidruženou výrobou rozvodných skříní a elektrických rozvaděčů. Sídlo společnosti v Hradci Králové se skládá ze dvou přilehlých objektů – obchodního sídla společnosti a menší výrobní haly s centrálním skladem. Firma má dále moravskou pobočku v Brně, kterou tvoří jedna budova plnící funkci obchodního zastoupení firmy, prodejny a skladu. Celá společnost má 58 zaměstnanců.

Rozhodnutí pro implementaci IP telefonie bylo učiněno na základě kapacitně nevyhovujícího stavu pobočkové ústředny v centrální firmě a zastaralých koncových zařízení. Dalším důvodem je rostoucí poptávka po výrobcích firmy a tedy budoucí možné zvyšování počtu zaměstnanců firmy. Důsledkem je předpoklad nárůstu telefonního provozu společnosti.

7.1.1 Stávající stav hlasových a datových služeb

Klasická telefonní síť:

Firma nyní používá ve své centrále digitální pobočkovou ústřednu Panasonic KX-TD816CE z roku 1998, do které jsou připojeny 4 ISDN linky rozhraní typu BRI. Typ této pobočkové ústředny lze dnes získat pouze ve výprodeji. Problematická začíná být také servisní podpora a dostupnost HW dílů a nových SW verzí. ISDN linky jsou konfigurovány v sériovém zapojení a jsou schopny obsloužit současně maximálně 8 externích hovorů. Koncová zařízení firmy jsou starší telefony Panasonic. Pro sklad a výrobu je použito připojení dvou digitálních bezšňůrových přístrojů Panasonic KX-TG6411 s technologií DECT. Na ISDN linkách v Hradci Králové jsou zřízeny tři desítkové provolbové bloky čísel.

Moravská pobočka firmy je připojena pomocí jedné ISDN linky rozhraní BRI, která je schopna obsloužit dva hovory současně. Digitální linka je připojena pomocí terminálu NT Plus. Tento terminál je vybaven vstupním rozhráním pro přivedení ISDN linky a konektory pro připojení digitálních i analogových koncových zařízení. ISDN Pobočka Brno má přiděleno k využití jedno hlavní číslo a bezplatně tři další čísla, která lze libovolně přidělit koncovým zařízením (o připojení ISDN v [4]). Službu poskytuje operátor O2.

Technické specifikace použitých telefonních přístrojů a pobočkové ústředny a koncová zařízení je možno najít v obchodech s telekomunikačními výrobky Panasonic [67] [68].

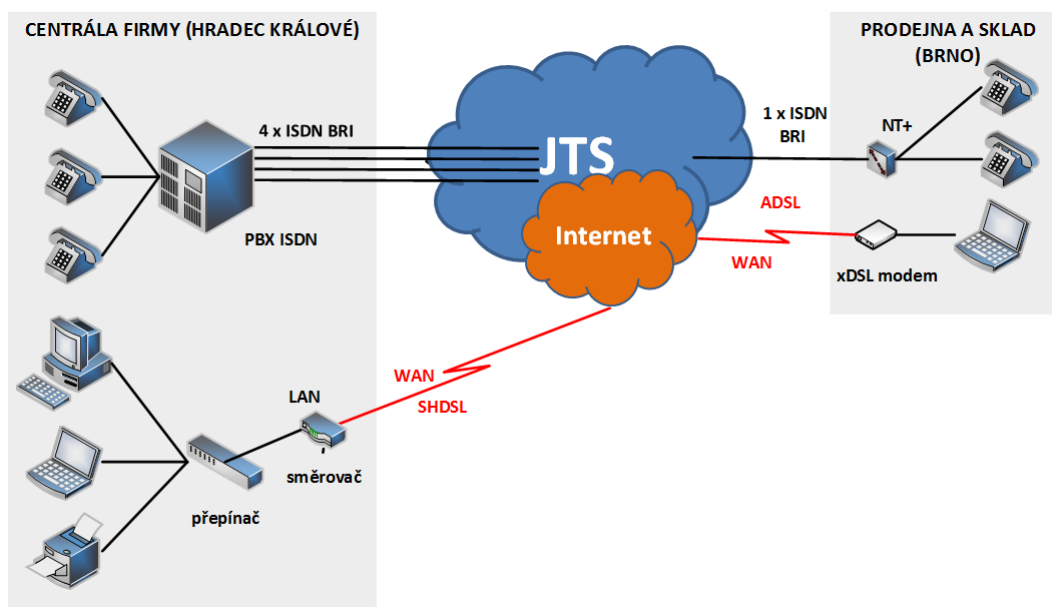
Počty přístrojů a jejich rozdělení na jednotlivých pracovištích udává následující tabulka 3.

Tabulka 3 Seznam použitých stávajících telefonních přístrojů v modelové fiktivní firmě Elektram

Pobočka Hradec Králové	Manažerský telefon Panasonic KX-T7565	Standardní telefon Panasonic KX-TS520	Bezšňůrový telefon Panasonic KX-TG6411
Sekretariát	1	1	
Management	3		
Ekonomické oddělení		3	
Sklad		1	1
Výroba		1	1
Kancelář techniků		3	
Obchodní oddělení		5	
IT oddělení		2	
Pobočka Brno			
Prodejna a sklad	1	1	
Součet přístrojů	5	17	2
Celkem přístrojů			24

Datové připojení:

Společnost má v centrále vybudovanou ethernetovou síť s páteřním datovým připojením typu SHDSL rychlostí 6 Mbit/s. V moravské pobočce je datové připojení realizováno ADSL s udávaným připojením 20 Mbit/s. Poskytovatelem připojení je rovněž operátor O2.



Obrázek 22 Stávající zapojení telefonní a datové sítě modelové firmy

Firma má vlastního správce IT sítě LAN s pověřením managementu firmy ke správě hlasových služeb a připojení k Internetu. Společnost hodlá ve svých prostorách provozovat jen jednu infrastrukturu (síťové rozvody) společně pro hlasové a datové služby.

7.2 Navrhovaná řešení – rozhodovací analýza

Firemní zákazník, který se rozhodne využívat pro hlasový provoz IP síť, má několik možností řešení. Nejobvyklejším je vybudování telefonního IP prostředí přímo ve firmě s pořízením komponent, které nahrazují klasickou telefonní ústřednu. Dalším z řešení je možnost využití virtuální VoIP ústředny operátora a poskytovatele služeb.

Vedení společnosti Elektram zvažuje tyto varianty přechodu na VoIP technologii:

- Virtuální IP ústředna firmy O2 se službou IP Centrex včetně pronájmu koncových zařízení.
- Vybavení firmy vlastní IP ústřednou s dalšími zařízeními a pronájem hlasových kanálů u společnosti RIO Media – služba 802 TRUNK.

7.2.1 Požadavky zadavatele

Vedení společnosti rámcově specifikovalo požadavky na budoucí řešení hlasových služeb:

- propojení všech poboček v rámci protokolu IP a propojení místních sítí LAN,
- jednotný geografický číslovací plán obou sídel firmy,
- vzdálený bezpečný přístup ke správě hlasových služeb,
- možnost přidávání a rušení linek hlasových služeb,
- možnost využití volání zkráceným číslem v rámci všech poboček mezi sebou,
- bezplatné interní volání ve společnosti,
- možnost propojení hlasových služeb s vlastními aplikacemi,
- možnost sekretářských funkcí pro management společnosti (příjem, řízení a předávání příchozích hovorů sekretářkou),
- vlastní nezávislá správa služeb na příslušné lince kdykoliv a odkudkoliv,
- okamžitá a snadná informace o výpisech volání a účtování hovorů celé společnosti s možností jejich zpracování administrativně.

7.3 Virtuální ústředna se službou IP Centrex

Poskytovaná služba s názvem IP Centrex nabízí firemní nasazení VoIP telefonie bez přítomnosti IP pobočkové ústředny na straně zákazníka. Znamená to, že IP koncová zařízení klienta jsou přímo připojena k virtuální ústředně, která je vytvořena na HW operátora. Jednotlivá koncová IP zařízení sdílí lokální datovou síť zákazníka. Signalizace pro řízení hovorů je zabezpečována protokolem SIP. Nejsou vyžadovány samostatné přípojky s vyhrazenou přenosovou kapacitou. Připojení k LAN síti zákazníka znamená úsporu přenosové kapacity pásma také v době skutečného volání, neboť pakety hlasu jsou v síti upřednostňovány pomocí mechanismu QoS. Řešení IP Centrex nabízí operátor a poskytovatel služby společnost O2 na svých stránkách pro firemní telefonii [69].

7.3.1 Technické řešení připojení pomocí služby IP Centrex

Po dohodě s operátorem O2 bude za výhodnou cenu navýšena rychlost datového připojení linky SHDSL v Hradci Králové na 8 Mbit/s.

Pro vytvoření funkčního VoIP prostředí a konfigurace nových IP přístrojů bude instalován nový ethernetový přepínač zajišťující technologii Vybraný typ přepínač HP 2530-24-PoE umožňuje vytvoření samostatné hlasové sítě VLAN. Dále je vybaven technologií PoE pro napájení SIP telefonů. Technická specifikace přepínače uvedena na stránkách vybraného prodejce společnosti HP. [70]

Firma Elektram provede rozšíření vlastní LAN sítě o nový přepínač. Stávající směrovač do veřejné datové sítě bude nakonfigurován na QoS.

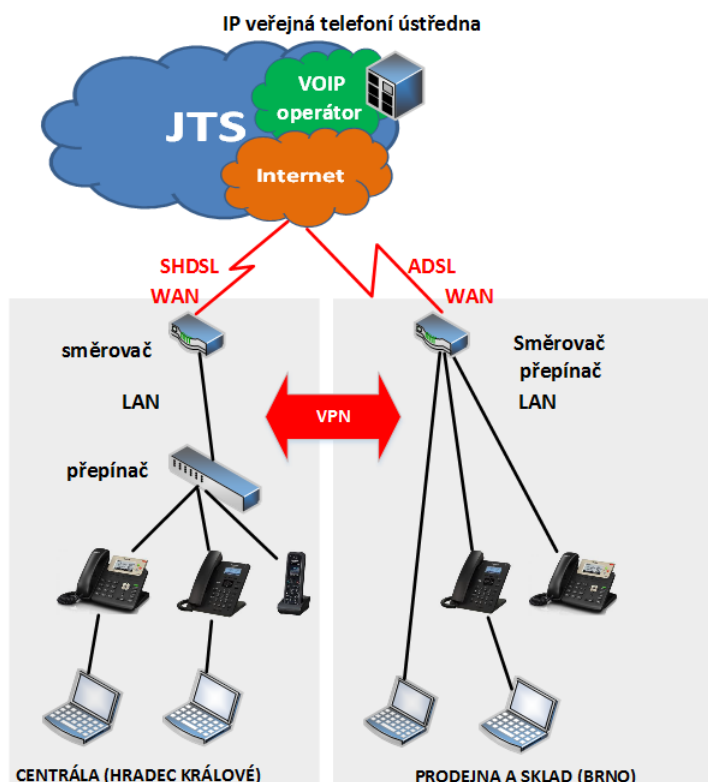
Po podepsání smlouvy o poskytnutí 24 hovorových VoIP kanálů s danými čísly bude uzavřen SLA³³ se společností O2. Poskytovatel služby zajistí odbornou instalaci a autorizaci koncových zařízení v rámci objednávky služby IP Centrex. Instalované typy telefonních IP přístrojů odpovídají vybavením a funkcemi pracovní náplni jednotlivých oddělení společnosti. K možnému porovnání všech řešení přechodu na VoIP jsou vybrány stejné IP přístroje, jaké poskytuje O2 na stránkách ceníku služby. [71] Bude provedena kompletní obměna všech koncových telefonních zařízení. Nebude tedy nutné řešit pronájem VoIP brány.

³³ Service Level Agreement - smlouva sjednaná mezi poskytovatelem služby a jejím uživatelem

Společnost O2 provede změnu služby se zachováním původních čísel provolby. Stávající hlavní číslo spojovatelky ústředny bude při přechodu použito jako číslo pro veškerý příchozí provoz. V případě nedostupnosti volaného čísla uvnitř PBX bude provoz směřován na toto číslo (sekretariát).

V pobočce Brno po realizaci přechodu na IP Centrex ještě zůstanou po dobu tří měsíců připojeni na ISDN linku pro příchozí volání na stávající čísla pobočky. Zároveň začne být datová linka ADSL využívána i pro přenos hlasu službou IP Centrex. Brněnská pobočka dostane v rámci jednotné hlasové sítě firmy dvě původní čísla sídla v Hradci Králové. Datové připojení firmy zůstane zachováno v rámci služby Internet Optimal Plus. Operátor O2 udává připojení maximální rychlostí 20 Mbit/s v downloadu a 2 Mbit/s v uploadu [72]. Toto řešení je pro brněnskou pobočku dostatečné, i když vzhledem k agregaci a vzdálenosti přípojného vedení od ústředny umožňuje reálnou rychlost 8 Mbit/s.

Po třech měsících bude brněnská ISDN linka odpojena a na původní hlavní číslo moravské pobočky bude pronajata u operátora O2 hláska o přečíslování na dobu dalších tří měsíců.



Obrázek 23 Obecné schéma řešení zapojení službou IP Centrex

Takto realizované řešení umožní převést provoz hlasu na VoIP ve společnosti během několika dní. Operátor služby IP Centrex garantuje dostupnost³⁴ datové služby hodnotou 99,9990% (slangově vyjádřeno pět devítek). Znamená to procento času v daném období, obvykle za rok, kdy je služba v provozu. Z hlediska poruchovosti to znamená nedostupnost hlasového provozu ze strany operátora zhruba 5,26 minut ročně. [3] Pro zákazníka je to dostatečná záruka zajištění hlasového provozu. Z tohoto důvodu nebude bráno na zřetel zálohování hlasového provozu jinou cestou.

7.3.2 Nabízené služby virtuální ústředny IP Centrex

Služby IP Centrex poskytují uživateli standardní služby pobočkových ústředen, ale také velkou škálu doplňkových nadstandardních služeb, které jsou k dispozici většinou jen u velkých a složitých ústředen. Jejich pořízení a zejména případná modifikace jsou komplikované, nákladné a časově náročné. K využívaným službám v současné době patří:

- Automatická spojovatelka,
- Call Centrum,
- Konzole „Recepční“.

Automatická spojovatelka – IVR³⁵ vytváří první dojem na volajícího zákazníka do společnosti. Tuto službu nastavuje a modifikuje sám zákazník s možnostmi:

- Odbavování a filtrování příchozích hovorů.
- Nezná-li volající číslo pobočky ani konkrétní jméno volaného – spojovatelka nabídne seznam oddělení.
- Volající zná číslo volaného - zadá číslo linky pomocí DTMF volby.
- Je-li konkrétní provolbová linka obsazena nebo se volaný nepřihlásí, pak je volání přeměřováno na spojovatelku, která udrží volajícího v systému (nemusí volat znovu), nabídne mu další možnosti - přepojení na někoho jiného, přepojení na mobilní telefon.
- Poslechnutí důležitých informací.
- Záznamy o využití IVR včetně informací o příchozích voláních.

³⁴ Užívá se také anglický výraz – *Availability*.

³⁵ *Interactive Voice Response - Interaktivní hlasová odezva*

Call Centrum - je virtuální centrum příjmu hovorů. Obsahuje uživatelem zadané a nastavené algoritmy pro směrování a distribuci hovorů. Příchozí hovor je řazen do fronty a zákazník může obdržet informace o svém pořadí nebo přibližném čase zbývajícím do odbavení jeho volání.

Konzole „Recepční“ - umožňuje v grafickém prostředí správu příchozích hovorů a jejich přidělování volaným zaměstnancům. Tato služba na rozdíl od IVR preferuje přijímání telefonního hovoru člověkem. Obsluha řídí cíle volání na monitoru počítače pomocí myši způsobem „táhni a pusť“. Obsluha má k dispozici také informace o stavu linky volaného.

Službu „Recepční“ lze snadno propojit s adresářem firmy poštovního serveru. Požadované kontakty mohou být potom jednoduše vyhledány.



Obrázek 24 Okno aplikace "Recepční" služby IP Centrex. Převzato z [73]

Tyto nadstandardní služby jsou placeny měsíční platbou dle platného ceníku služeb operátora. Veškerá uživatelská nastavení služby IP Centrex lze provádět po registraci na portále <https://web3.o2menu.cz/Login/>. K představení nabízených služeb bylo použito oficiálních reklamních materiálů společnosti O2 [69].

7.4 Navrhované řešení službou 802 TRUNK

Druhou variantou sjednocení firemních sítí pro hlas a data je telefonní VoIP ústředna zákazníka připojená k operátorské ústředně v síti 802.cz. Pro konkrétní řešení požadavku firmy Elektram bude nasazena služba 802 TRUNK 10. Služba je nabízena na webových stránkách pro firemní VoIP telefonii společnosti RIO MEDIA a.s.[74].

Služba garantuje 10 vyhrazených hlasových kanálů (SIP trunků), které umožní provádět současně 10 externích hovorů vlastní IP ústřednou klienta. Množství interních volání uvnitř firemní sítě je závislé pouze na typu použité ústředny zákazníka. Podmínkou služby je podpora připojení protokolem SIP na straně PBX zákazníka, připojení k Internetu s pevnou (statickou) IP adresou a nutnost uzavřít závazek na službu v trvání 24 měsíců. Provozovatel doporučuje šířku pásma hovorového kanálu pro obousměrný provoz 128 kb/s.

Součástí služby je směrování určeného bloku telefonních čísel na zákaznickou pobočkovou ústřednu. Ke službě 802 TRUNK 10 lze vyhradit rozsah až 100 telefonních čísel umožňujících provozovat na straně klienta až 100 poboček s přímým telefonním spojením.

7.4.1 Technické řešení připojení službou 802 TRUNK

V prvotní fázi přechodu na konvergovanou síť bude nutno dovybavit strukturovanou lokální síť LAN v Hradci Králové o další komponenty.

WELLmPBX-100 je pobočková ústředna modulárního typu pro malé a střední firmy. Její modularita spočívá v možnosti rozšíření ústředny o FXS, FXO, BRI a GSM porty. Prakticky lze ústřednu nakonfigurovat na 16 FXS/FXO portů, případně 8 BRI nebo 4 GSM porty. K této VoIP ústředně je možno připojit až 100 účastníků (poboček) při maximální obsluze až 22 současně volajících. Pro požadované řešení má ústředna přidělenou pevnou IP adresu. Ústředna podporuje všechny běžně užívané kodeky hlasu a videa. Základními funkcemi této pobočkové ústředny jsou přepojení a přesměrování hovoru, podržení hovoru.

Dalšími nadstandardními (placenými) funkcemi jsou:

- call centrum (volací fronty),
- víceúrovňová automatická spojovatelka,
- blacklist (zamezení) pro příchozí i odchozí hovory,

- nahrávání hovorů,
- podrobný výpis hovorů - CDR report,
- firewall,
- jednoduché nastavení přes intuitivní webový management s administrátorskou a uživatelskou úrovní. Více o WELLMPBX-100 u prodejce Mironet Computers.[75]

Pobočková IP ústředna připojena páteří SHDSL linkou k deseti hlasovým trunkům na VoIP ústředně poskytovatele služby 802 TRUNK 10. Zákazník si vybral provolbový blok 100 čísel. K provedení plynulého přechodu na IP telefonii prostřednictvím služby 802 TRUNK bude třeba vytvořit plán implementace, který se skládá ze zajištění těchto bodů:

Datová konektivita: Podobně jako u předchozího řešení byla rychlost datového připojení linkou SHDSL v Hradci Králové navýšena na 8Mbit/s. V brněnské pobočce zůstalo připojení realizováno technologií ADSL (20Mbit/s).

Číslovací plán: V rámci sjednocení číslovacího plánu obou lokalit firmy na nový provolbový blok 100 čísel bude potřeba zajistit dočasné funkční volání klientů na stávající čísla společnosti. Doba tohoto přechodového stavu je stanovena 3 měsíce.

7.4.2 Přechodový stav

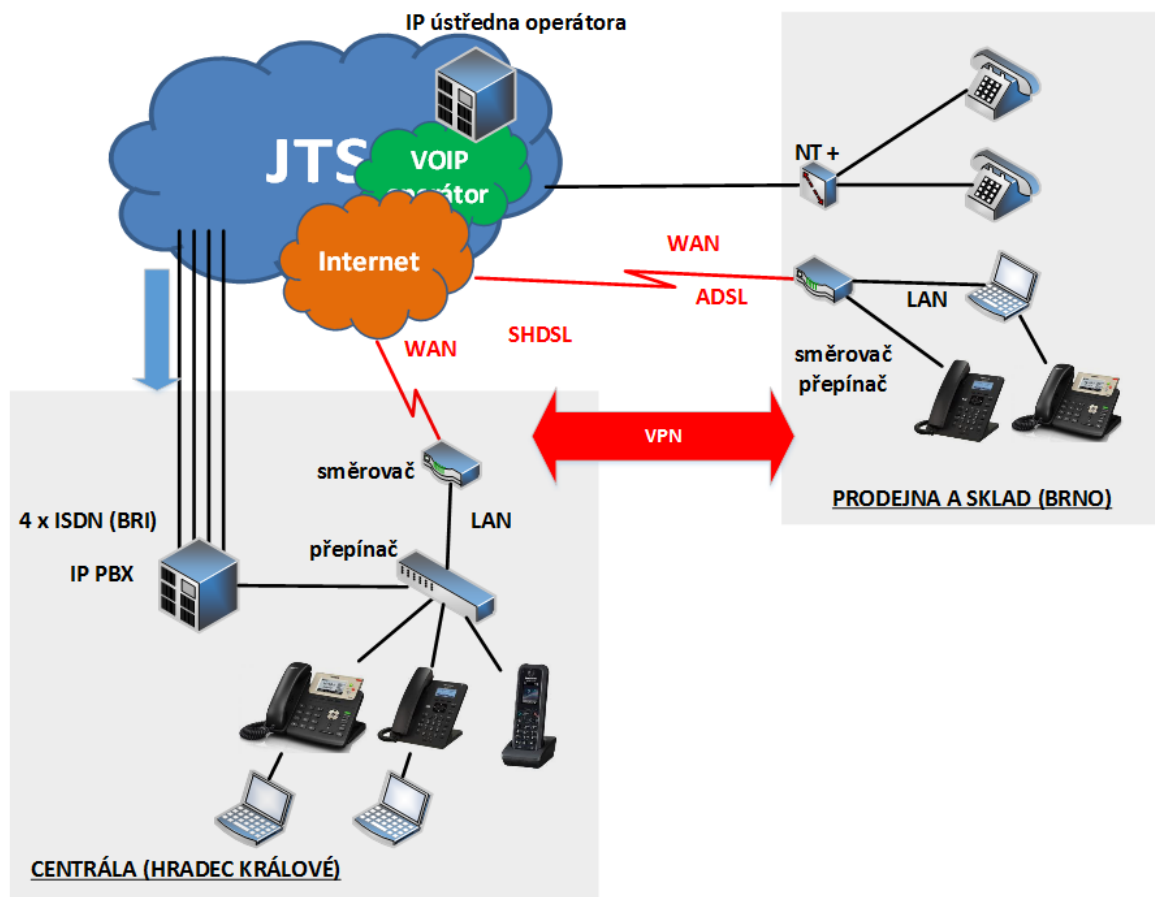
V této fázi realizace připojení budou provedeny následující kroky:

- konfigurace a rozšíření strukturované sítě LAN a vytvoření VLAN (nový přepínač),
- konfigurace směrovače CISCO (QoS),
- nastavení bezpečnostních prvků (Firewall) do sítě WAN,
- připojení a konfigurace IP ústředny (ISDN linky na porty BRI),
- připojení a konfigurace IP telefonů.

Společnost využije nabídku poskytovatele si tuto službu vyzkoušet. Na základě firmou zaslané IP adresy a portu poskytovatel přiřadí trunk z vlastního zkušebního rozsahu telefonních čísel, aby funkcionalitu bylo možno vyzkoušet. Pokud bude služba fungovat bez závad a kvalita hlasu bude uspokojivá, je možno službu uvést do ostrého provozu.

V této fázi dojde k zachování původních ISDN linek připojených do původní ústředny. Nakonfigurováním čtyř portů BRI IP ústředny Well s úpravou směrování volání bude tato ústředna plnit funkci IP brány a provádět překlad příchozích volání (na původní provolbová čísla ISDN rozhraní) do IP sítě firmy. Ta budou směrována na nová čísla sekretariátu. Bude provedeno odpojení původní telefonní ústředny Panasonic.

Všichni významní zákazníci a zaměstnanci budou dopředu obeznámeni s přechodem na nový firemní číslovací plán. Firma informaci zveřejní na vlastních webových stránkách a provede interní administrativní změny související s novým řešením.



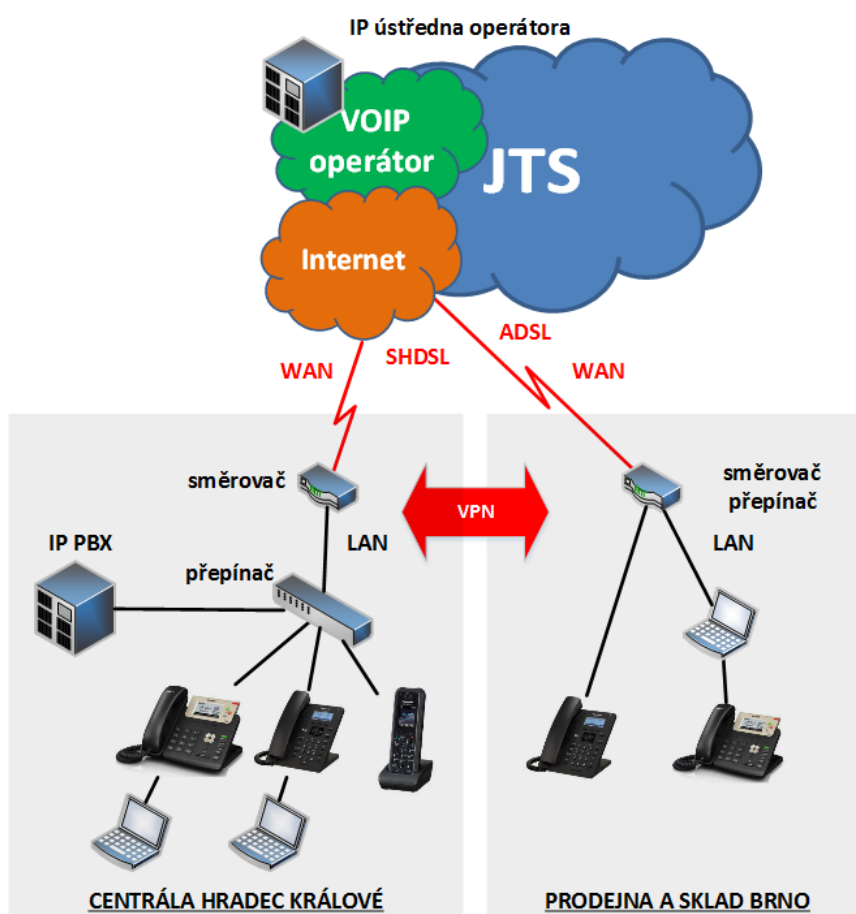
Obrázek 25 Fáze přechodu na VoIP technologii pomocí služby 802 TRUNK

V brněnské pobočce, která přejde na IP hlasový provoz, zůstane souběžně po dobu 3 měsíců přechodu v provozu ISDN linka pro příchozí volání na původní čísla. Odchozí volání ze společnosti a příchozí volání na nový provolbový blok přidělený operátorem budou probíhat po přidělených hlasových kanálech operátorem 802.cz.

7.4.3 Finální fáze implementace

Po třech měsících provozu dojde ke zrušení všech ISDN linek společnosti a veškerý hlasový provoz bude směřován přes IP ústřednu. U operátora O2 bude dále po dobu půl roku na původním hlavním čísle firmy pronajata hláska s informací o přečíslování na konkrétní nový blok čísel.

Pronajaté hovorové trunky operátorem služby 802 TRUNK 10 umožňují realizaci až 10 externích současných volání. Došlo k navýšení kapacity o dva hovorové kanály oproti původnímu řešení ISDN linkami.



Obrázek 26 Konečná fáze přechodu na VoIP službu 802 TRUNK 10

Telefonní provoz vzdálené pobočky firmy v Brně připojené přes ADSL linku je řízen IP ústřednou v Hradci Králové. Zálohováním hovorových cest proti výpadku se v tomto případě vedení firmy rozhodlo nezabývat. Řešení probíhající současně v obou sídlech společnosti by měla mít minimální dopad na firemní zákazníky i provoz firmy. Vlastní konfigurace telefonního provozu firmy je doporučena v době s minimálním provozem.

Provoz mezi oběma místy společnosti je tak sjednocen do jedné virtuální firemní sítě VoIP. Účastníci této sítě VPN (Virtual Private Network) mohou mezi sebou komunikovat prostřednictvím přímého bezplatného volání.

Zaměstnanci mají možnost volit celé číslo pobočky (např. ředitel 495 222 322) nebo krátkou volbou čísla 22 pobočkové linky. Rozsah přidělených čísel operátorem 802.cz je znázorněn v Tabulce 4.

Tabulka 4 Přidělená čísla stovkové provolby operátorem

Přidělený provolbový blok 495 222 3xx od operátora 802.cz	Pobočka pro přímé volání	Linky pro vnitřní volání
Centrála HK	495 222 301 - 89	01 - 89
Sekretariát	495 222 311 - 19	10 - 19
Management	495 222 321 - 29	20 - 29
Ekonomické oddělení	495 222 331 - 39	30 - 39
Obchodní oddělení	495 222 341 - 49	40 - 49
Sklad	495 222 351 - 54	50 - 54
Výroba	495 222 355 - 54	55 - 59
Kancelář techniků	495 222 361 - 69	60 - 69
IT oddělení	495 222 371 - 79	70 - 78
Pobočka Brno	495 222 390 - 99	90 - 99

7.5 Koncová zařízení

IP telefony zaměstnanců byly vhodně vybrány s ohledem na funkci jednotlivých oddělení a pozic. U vybraných IP telefonů jsou zmíněny pouze některé technické parametry. Podrobnější specifikace lze najít v uvedených odkazech na technické specifikace zařízení.

- Ředitel společnosti – Manažerský VoIP telefon Yealink SIP-T46G s velkým, 4,3” TFT-LCD displejem, seznam na 1000 kontaktů, duální 1Gb/s (směrovač / přepínač), integrovaný USB port pro připojení Bluetooth a náhlavní soupravu, 15 programovacích tlačítek. [76]



Obrázek 27 Manažerský IP telefon Yealink SIP-T46G – převzato z [76]

- Sekretariát, management společnosti, prodejna v Brně – IP telefon Yealink SIP-T23P, základní manažerský model, 3 SIP účty a duální 100Mb/s switch, seznam na 1000 kontaktů, podpora XML seznamu, PoE. [77]



Obrázek 28 Panasonic [77]

- Ostatní zaměstnanci – Panasonic KX-HDV130NEB, jednoduchý IP telefon, 2xSIP účet, 2xLAN, PoE, 2.3" displej, 2 programovatelná tlačítka, paměť na 500 čísel. [78]



Obrázek 29 IP telefon Panasonic KX-HDV130NEB převzato z [78]

- Sklad a výroba – bezdrátový IP telefon Panasonic DECT KXTGP600CEB, dosah signálu cca 300 m ve volném prostranství, 50 metrů v zástavbě, 8x SIP účet, registrace až 8 bezdrátových sluchátek na základnovou stanici, 1x LAN port, telefonní seznam pro 500 čísel, konektor pro náhlavní soupravu (RJ9), 200 hodin pohotovostního režimu, 11 hodin hovoru. [79]



Obrázek 30 Bezdrátový IP telefon Panaonicc DECT KXTGP600CEB – převzato z [79]

8 Ekonomická analýza

Z ekonomického hlediska je zřejmé, že každá podobná změna přináší menší či větší investice. Přejít na VoIP telefonii dnes obvykle neznamená vyšší počáteční cenu řešení než vybudování nebo obměna telefonní sítě klasické technologie. Na počáteční rozvahu je třeba pohlížet z hlediska vysoké přidané hodnoty technologie IP telefonie, zjednodušení managementu služeb a nižších nákladů.

8.1 Náklady na realizaci a provoz technologie

Při každé realizaci návrhu je třeba zohlednit faktory nákladů na realizaci a další provozní náklady. Tyto dva ekonomické ukazatele by měly korespondovat s požadavkem stabilní kvality a přiměřené ceny. V případě realizace přechodu firmy na VoIP telefonii lze náklady obecně dělit:

Pořizovací náklady – jsou vstupní výdaje firmy, mezi které patří například:

- vybudování, renovace nebo rozšíření lokální sítě (strukturovaná kabeláž),
- prostředky vynaložené na síťové komponenty (IP koncová zařízení),
- náklady na nákup a instalaci příslušných zařízení (software a licence zařízení),
- mzdové náklady na konfiguraci (externí technik operátora),
- možné náklady na přechodovou fázi řešení VoIP (informování klientů o změně, hlásky o přečíslování u operátora),
- možné budoucí náklady na rozšiřování IP technologie (upgrade HW a update SW).

Provozní náklady – jsou náklady, které lze následně rozdělit:

- Fixní – pevné finanční náklady vynaložené pravidelně v každém zúčtovacím období za služby a potřeby. Patří sem například měsíční pronájem služeb a zařízení, paušální poplatky (tarifní balíček).
- Variabilní náklady – jsou proměnlivé náklady v závislosti na používaných službách (částka za hovorné podle délky volání a cílové destinace nebo operátora a typu sítě).

8.2 Srovnání nákladů realizací obou řešení

8.2.1 Pořizovací náklady:

Co se týče pořizovací ceny konvergence, obě porovnávaná řešení se výrazně liší. Cena zřízení služby IP Centrex (pomineme-li přidání přepínače) je minimální. Poskytovatel VoIP služby zákazníkovi pronajímá jak datové kanály pro přenos hlasu, tak IP telefonní přístroje. Do zřizovacích nákladů je třeba také zahrnout částku za úpravu LAN sítě (kabeláž, konektory, práce technika) a konfiguraci aktivních prvků.

Obrázek 31 Pořizovací náklady služby IP Centrex

Položka	Počet jednotek	Cena za jednotku bez DPH	Cena celkem
Přepínač HP 2530-24-PoE+	1	12 784 Kč	15 469 Kč
Úprava LAN	1	3 500 Kč	4 235 Kč
Náklady celkem			19 704 Kč

Služba 802TRUNK zahrnuje vstupní investici zejména v podobě IP ústředny, přepínače a koncových zařízení. Operátor RIO Média účtuje zřizovací poplatek služby ve výši 4 000 Kč. Nutno podotknout, že také vynaložená částka odhadnutá na úpravu infrastruktury sítě a konfiguraci je pro zákazníka o něco vyšší.

Tabulka 5 Pořizovací náklady služby 802 TRUNK 10

Položka	Počet jednotek	Cena jednotky bez DPH	Cena celkem
Zřizovací poplatek	1	4 000 Kč	4 840 Kč
IP ústředna Well ePBX-100	1	7 430 Kč	8 990 Kč
Přepínač HP 2530-24-PoE+	1	12 784 Kč	15 469 Kč
Telefon Panasonic KX-HDV130	18	1 212 Kč	26 397 Kč
Telefon Yealink SIP-T23G	3	1 575 Kč	5 717 Kč
Telefon Yealink T46G	1	4 670 Kč	5 651 Kč
Telefon DECT Panasonic KX-TGP600CEB	2	2 169 Kč	5 249 Kč
Úprava LAN a konfigurace IP PBX	1	5 000 Kč	6 050 Kč
Pořizovací náklady celkem (Kč)			78 364 Kč

Výsledné pořizovací náklady v obou tabulkách jsou uvedeny v korunách včetně DPH.

8.2.2 Náklady na rozšíření

Výhodou služby IP Centrex je lineární škálovatelnost služby. Znamená to, že zákazník může plynule měnit počet pronajatých hovorových kanálů. Náklady na rozšíření nebo redukci telefonního provozu jsou flexibilnější a naprosto pod kontrolou společnosti.

Varianta s IP ústřednou umožňuje v případě výrazného snížení provozu změnit službu na 5 pronajatých hlasových kanálů. V případě nárůstu provozu pak lze navýšit provoz na 20 nebo 30 hlasových kanálů. Důležité pak je zajištění dostatečné šířky pásma. Co se týká vnitřní LAN sítě zákazníka, bude dostatečně dimenzována přidáním přepínače a v budoucích letech není potřeba žádných nákladů na rozšíření.

8.2.3 Provozní náklady

V této podkapitole budou srovnány všechny tři varianty provozu firmy Elektram a.s. Pro výpočet variabilních nákladů bude provedena analýza účtů za hovorné firmy v loňském roce. Zprůměrováním je vypočteno množství provolaných minut a typ volání.

Tabulka 6 Rozdělení průměrně měsíčně provolaných minut ve firmě Elektram

Celkem	-----	6000
Typ volání	%	minut
Místní / dálkové	42%	2520
Interní v rámci společnosti	22%	1320
Mobilní sítě	32%	1920
Zahraničí - Slovensko	3%	180
Zahraničí - Německo	1%	60

Úhrn provolaných minut je odhadnut na průměrných 6 000 jednotek za měsíc. K analýze přechod na VoIP volání bude třeba pro výsledný výpočet úspory podchytit také celkový počet minut provolaných měsíčně pouze uvnitř firmy – tedy také včetně volání do brněnské pobočky a opačně. Tvoří 22% z celkového hovorného.

Celkové fixní a variabilní provozní náklady vyčíslují nájem za služby a hodnotu provolaných minut.

Bylo použito platných ceníků na rok 2016 společnosti O2 [80]. Dále bylo čerpáno z ceníku služeb TRUNK802 [74] a hlasových tarifů VOX802 firmy RIO Media [81]. Udávané ceny jsou včetně DPH.

Následující tabulka 7 shrnuje provozní náklady všech variant hlasového provozu modelové firmy Elektram. Výsledný souhrn provozních nákladů jednotlivých VoIP řešení byl odečten od jasně nejdražších současných nákladů na klasický hlasový provoz. Výsledkem jsou měsíční úspory získané přechodem na IP telefonii při měsíční sumě volání 6000 minut.

Tabulka 7 Měsíční provozní náklady a vyčíslení úspor řešením hlasového provozu pomocí VoIP

Služba	Počet jednotek	Cena za jednotku (bez DPH)	ISDN	IP Centrex	IP Centrex tarifní balíčky	802 TRUNK 10
ISDN2 BRI - nájem	5	695,00 Kč	4 205 Kč			
Provolbový blok 30 čísel - nájem	1	267,00 Kč	323 Kč			
Telefonní přístroje - nájem	24	24,79 Kč	720 Kč			
Volání místní	3 840	0,99 Kč	4 600 Kč			
Volání mobil	1 920	3,99 Kč	9 270 Kč			
Volání zahraničí	240	2,59 Kč	752 Kč			
ADSL připojení Brno - nájem	1	412,40 Kč	499 Kč			
24 linek IP nájem	24	50,00 Kč		1 452 Kč	1 452 Kč	
ADSL připojení Brno - nájem	1	412,40 Kč		499 Kč	499 Kč	
Volání místní / dálkové	2 520	0,85 Kč		2 592 Kč		
Volání v rámci firmy	1 320	0,00 Kč		0 Kč		
Volání do mobilních sítí	1 920	3,89 Kč		9 037 Kč		
Volání do zahraničí	240	2,29 Kč		665 Kč		
Nájem SIP telefonu KX-HDV130	17	35,00 Kč		720 Kč	720 Kč	
Nájem SIP telefonu Yealink T23G	4	70,00 Kč		339 Kč	339 Kč	
Nájem SIP telefonu Yealink T46G	1	140,00 Kč		169 Kč	169 Kč	
Nájem SIP DECT telefonu TGP 600	2	99,00 Kč		240 Kč	240 Kč	
Terifní balíček Volání CZ*	21	247,00 Kč			6 276 Kč	
Tarifní balíček Volání Zahraničí**	3	454,00 Kč			1 648 Kč	
Pronájem služby 802 TRUNK 10	1	350,00 Kč				424 Kč
ADSL připojení Brno - nájem	1	412,40 Kč				499 Kč
Volání místní / dálkové	2 520	0,43 Kč				1 311 Kč
Volání v rámci firmy	1 320	0,00 Kč				0 Kč
Volání do mobilních sítí	1 920	2,80 Kč				6 505 Kč
Volání do zahraničí	240	0,50 Kč				145 Kč
Měsíční provozní náklady (Kč)			20 368 Kč	15 713 Kč	11 343 Kč	8 884 Kč
Provozní úspora za měsíc oproti stávajícímu stavu (Kč)				4 656 Kč	9 025 Kč	11 485 Kč

*Paušální tarifní balíček „Volání CZ“ nabízí v rámci služby IP Centrex zákazníkům neomezené volání do pevných a mobilních linek v České republice.

** Paušální tarifní balíček „Volání Zahraničí“ obsahuje neomezené volání do pevných a mobilních linek v České republice. Navíc je zde 1 000 volných minut do zóny 0. (Patří sem i Německo a Slovensko). [80]

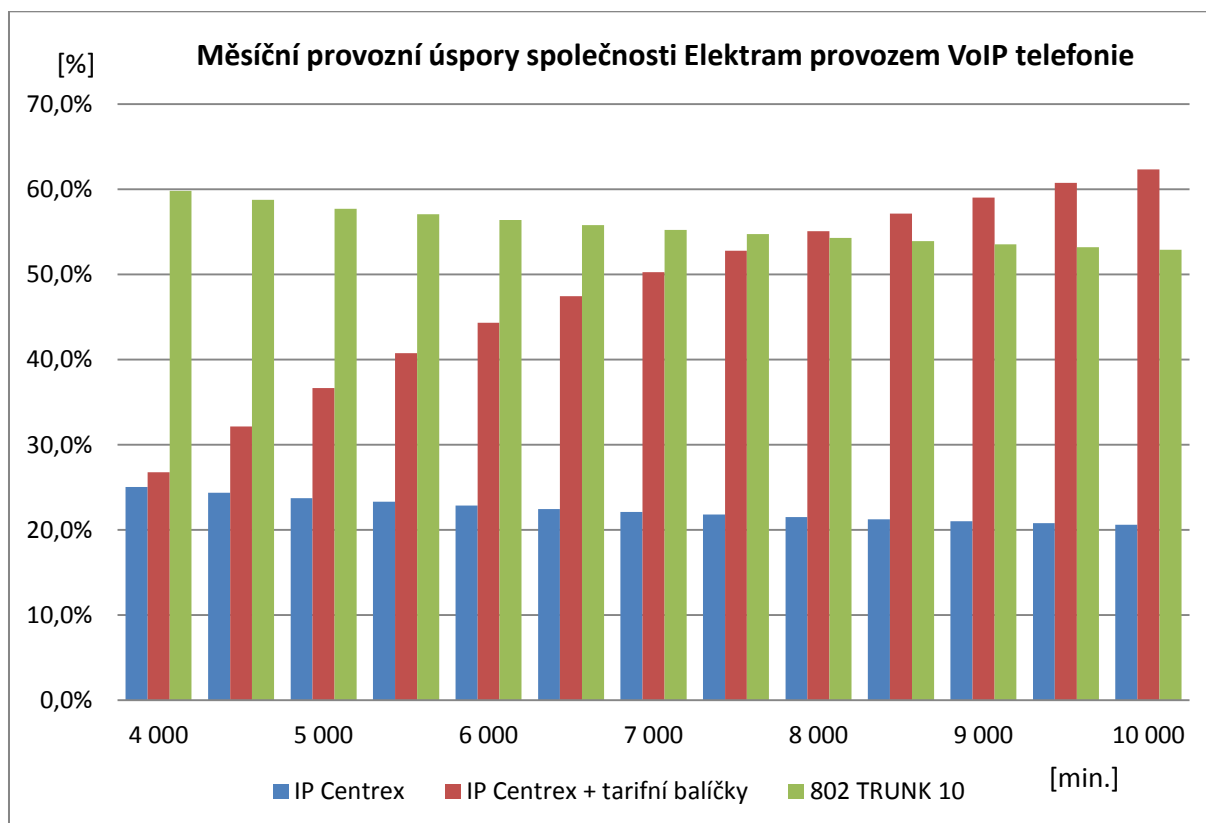
8.3 Výsledné ekonomické srovnání

Srovnáním obdržných výsledků přináší společnosti nejvyšší úsporu přechodem na VoIP řešením 802 TRUNK 10. S vlastní IP ústřednou je tato měsíční úspora více než 11 tisíc korun oproti stávajícímu provozu klasické telefonie. Služba IP Centrex přináší s tarifními paušály měsíční rozdíl přes 9 tisíc korun, s klasickými tarify pak přes 4 a půl tisíce korun měsíčně.

8.3.1 Srovnání provozních úspor

Z komparativní analýzy provozních úspor vychází pro současný provoz firmy vítězně řešení s vlastní pobočkovou IP ústřednou. Značné pořizovací náklady do ústředny a vlastního zařízení vyvažuje vyšší úspora z provozu. Z grafu na obrázku 30 je vidět závislost měsíční výše úspor firmy na počtu provolaných minut. Kdyby firma zvolila řešení IP Centrex s tarifním paušálem, pak by úspory při nárůstu hlasového provozu firmy na 8 000 minut měsíčně byly vyšší. Investice do IP Centrex je tím výhodnější, čím vyšší je telefonní provoz firmy.

Obrázek 32 Srovnání měsíčních úspor provozních nákladů v závislosti na velikosti provozu



8.3.2 Doba návratnosti investice

Pro výběr způsobu řešení přechodu klasické telefonie na VoIP lze po vyčíslení všech provozních úspor spočítat přibližnou dobu návratnosti investic POI (Payback Of Investment) do VoIP technologie:

$$POI = C_{HW}/S_{VOIP},$$

kde C_{HW} jsou náklady na pořízení vybavení, S_{VOIP} je měsíční úspora nákladů z VoIP provozu. Použitím zmíněného vztahu pro výpočet vyšly následující hodnoty udávané v měsících:

Tabulka 8 Srovnání návratnosti řešení VOIP ukazatelem POI

Návratnost technologie VoIP v měsících	POI
Řešení IP Centrex	4,6
Řešení IP Centrex s tarifními balíčky	2,4
Řešení 802 TRUNK 10	7,2

Jak je patrné z výpočtu, investice do hardware a VoIP ústředny se v tomto modelovém případě vrátí v horizontu přibližně 3 - 8 měsíců. Služba IP Centrex má dobu návratnosti kratší vzhledem k minimálním pořizovacím nákladům.

8.3.3 Ukazatel úspory ROI

Souvisejícím ukazatelem je inverzní ukazatel ROI (Return Of Investment) udávající úsporu (příjem, zisk) z jednotky investovaného kapitálu:

$$ROI = S_{VOIP}/C_{HW}.$$

Ukazatel ROI je srovnáván s běžnou úrokovou mírou. Investor se tak rozhoduje, zda je výhodnější investice do bankovních nástrojů nebo do nové technologie.

Tabulka 9 Srovnání výnosnosti řešení VoiP ukazatelem ROI

Úspora z jednotky investovaného kapitálu	ROI
Řešení IP Centrex	21,6%
Řešení IP Centrex s tarifními balíčky	41,9%
Řešení 802 TRUNK 10	13,9%

Nejvýnosnější investicí je v tomto případě zřízení služby IP Centrex s tarifními balíčky. Výpočet ukazatelů POI a ROI dle [82].

9 Zhodnocení přechodu na VoIP technologii

Pro výsledné hodnocení je třeba provést analýzu výsledku přechodu modelové společnosti na hlasový provoz po datové síti.

Pokud společnost zvládne zajistit implementaci a zprovoznění služby s IP ústřednou vlastními silami, získá v horizontu sedmi až osmi měsíců zřizovací investici zpět. Největší výhodou této služby jsou jednoznačně nejnižší provozní náklady při této frekvenci volání. Další úspora z provozu, kterou nebylo možno odhadnout je vteřinová tarifkací hovorů operátora RIO Média. Pro srovnání - společnost O2 účtuje automaticky první minutu volání a teprve poté probíhá tarifkace hovoru po vteřinách.

Služba 802 TRUNK 10 může mít v úsporách na hlasovém provozu další fázi. K IP ústředně lze připojit modul GSM brány, která umožní směřovat hovory do GSM sítí za hovorné bez propojovacích poplatků mezi sítěmi. Rovněž umožní volat zaměstnancům z firemních mobilů do společnosti v rámci skupinového volání.

Nevýhodou je fakt, že společnost RIO Media neposkytuje téměř žádnou podporu svých produktů, kromě přímo specifikovaných řešení na webových stránkách. Zřízení hlasových služeb přes internetový obchod může mít dopad na hlasový provoz společnosti. Zvláště při případných technických potížích zákazníka, který ve vlastní firmě investoval nemalou částku do instalace zařízení.

Varianta IP Centrex má pro koncového zákazníka jednoznačnou výhodu v technické jednoduchosti a nižších pořizovacích nákladech díky nájmu telefonních IP přístrojů. Servis hlasové podnikové sítě operátorem je zajištěn SLA. Je tím zároveň garantována dostupnost služby poskytovatelem. Oproti řešení 802 TRUNK 10 je zde možnost výměny porouchaných IP telefonních přístrojů v rámci SLA i po záruce. Lineární škálovatelnost s možností plynule odebrat nebo přidávat do pobočkové sítě další kanály je také velkou předností. Zajímavá je varianta této služby s tarifními balíčky, kdy zákazník může za paušál volat neomezeně a to v případě nárůstu hlasového provozu ve firmě přináší vyšší provozní úspory.

Menší nevýhodou se jeví nutný nájem koncových zařízení operátora bez možností pořízení vlastních telefonů. Nájem přístrojů zaplatí poskytovateli jejich cenu zhruba za tři roky.

Ve výsledném srovnání se v tomto měřítku nasazení VoIP telefonie jeví pro firemního zákazníka komfortnější služba IP Centerex s tarifními balíčky při vyšším hlasovém provozu. Služba 802 TRUNK je výhodná ekonomicky při nižším provozu a v menších firmách.

Obě vlastní navrhovaná řešení lze vzhledem k relativně minimálním požadavkům a nákladům realizovat v praxi v relativně krátké době s minimálním dopadem na provoz firmy.

Pozitivním způsobem tohoto navrhovaného řešení lze hodnotit výsledek ekonomické analýzy. V obou z doporučených způsobů přechodu na internetovou telefonii šetří současný zákazník měsíčně desítky procent nákladů za provoz a telefonní infrastrukturu. Návratnost investic do konvergence firemních sítí se pohybuje v řádech měsíců. Částka je logicky závislá na způsobu a velikosti VoIP řešení, objemu hlasového provozu, popřípadě na požadavcích zákazníka.

10 Závěr

Komunikace ve vnitřním prostředí firmy i vně směrem k zákazníkům je její tváří a vizitkou. Nejedná se pouze o komunikaci textovou prostřednictvím webového rozhraní jako email, online chatovací programy, ale důležitá je také hlasová komunikace prostřednictvím telefonních služeb. V tomto směru je VoIP telefonie řešením, na které již přešlo nebo plánuje přejít řada uživatelů. Rozmach IP telefonie posledních let umožnil menším a středně velkým společnostem využít služby především virtuálních IP ústředí.

Příkladem je navržené řešení IP Centrex. K němu srovnávané řešení s vlastní IP pobočkovou ústřednou a HW ve vlastní správě je pro uživatele náročnější, ale ve výsledku o něco levnější. IP Centrex je komfortnější a nepřináší investici do zařízení.

Obecně lze konstatovat, že řešení hlasových služeb pomocí VoIP telefonie je přínosem pro všechny typy uživatelů, ať jde o koncového zákazníka s jedním VoIP telefonem nebo velkou společnost s potřebou rozsáhlého sofistikovaného VoIP systému.

Současní poskytovatelé telefonních VoIP služeb hledají stále nové způsoby, jak přilákat více zákazníků pro svůj v současnosti primární produkt telekomunikační konektivity. Současně se snaží rozšiřovat portfolio nabízených služeb, které by svou přidanou hodnotou přispěly ke zjednodušení a také častějšímu používání těchto služeb.

Přes veškerá výše uvedená pozitiva má VoIP telefonie řadu nedostatků a technických úskalí, které odrazují potenciální zákazníky od její aplikace v praxi. Jedním z nejpodstatnějších je závislost na kvalitním datovém připojení k poskytovateli služby. V důležitých odvětvích tak bez zálohování například klasickou telefonní linkou hrozí výpadek hlasového a datového provozu firmy. Dalšími překážkami jsou zde probíraná nutná technická opatření jako QoS, garantovaná hlasová šířka pásma nebo faktor nižší bezpečnosti přenosu hlasu oproti klasické telefonii.

Přesto je řešení přenosu hlasu po datové síti VoIP dobrou alternativou ke způsobu hlasové komunikace prostřednictvím klasické telefonie. V budoucnosti bude tato technologie jistě hojně využívanou vzhledem k její snižující se ceně a zvyšující se spolehlivosti a bezpečnosti ochrany dat.

11 Bibliografie

1. **PETERKA, Jiří.** Jiří Peterka: Jak funguje VOIP? *eArchiv.cz: archiv článků a přednášek Jiřího Peterky.* [Online] 2006. [Citace: 12. 12 2015.] <http://www.earchiv.cz/b06/b0401003.php3>.
2. **WALLACE, Kevin.** *Cisco VoIP: Autorizovaný výukový průvodce.* Vydání první. Brno : Computer Press, a.s, 2009. str. 528. 978-80-251-2228-0.
3. —. *VoIP bez předchozích znalostí: Váš vstup do světa IP telefonie.* Vydání první. Brno : Computer Press, a.s., 2007. str. 232. 978-80-251-1458-2.
4. **VOZŇÁK, Miroslav.** *Spojovací systémy.* Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. 978-80-248-1961-7.
5. **BAZALA, David.** PSTN. *AmaPro Internetové stránky určené pro studenty středních a vysokých odborných škol.* [Online] AmaPro. [Citace: 14. 12 2015.] http://amapro.cz/encyklopedie/digitalni_technika/pstn.php.
6. **PETERKA, Jiří.** Pevná telefonní síť a její využití pro přenos dat. *Báječný svět počítačových sít.* [Online] PC World, 2007. [Citace: 21. 12 2015.] <http://www.earchiv.cz/b07/b0700001.php3>.
7. **BAZALA, David.** *Telekomunikace a VoIP telefonie.* Vydání první. Praha : BEN - technická literatura, 2006. str. 224. 80-7300-201-9.
8. **KOSTĚNEC, Michal a PETROVIČ, Michal.** *Hlasové technologie.* Plzeň : Cisco Academy - Západočeská univerzita v Plzni, 2014. 978-80-261-0370-7.
9. **KARPÍŠEK, Petr.** Implementace komunikačních technologií pro zavedení IP telefonie. *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Knihovna.* [Online] 13. 02 2012. [Citace: 10. 10 2015.] <https://digilib.k.utb.cz/handle/10563/24266>.
10. **PETREKA, Jiří.** Šířka pásma a její dělení. *eArchiv.cz: archiv článků a přednášek Jiřího Peterky.* [Online] 1991. [Citace: 14. 12 2015.] <http://www.earchiv.cz/a91/a143c110.php3>.
11. **PETERKA, Jiří.** Multiplexování. *eArchiv.cz: archiv článků a přednášek Jiřího Peterky.* [Online] 1996. [Citace: 15. 12 2015.] <http://www.earchiv.cz/a96/a651k150.php3>.

12. **SIDEBOTTOM, G., MORNEAULT, K. a PASTOR-BALBAS, J.** RFC Editor. *RFC 3332 Signaling System 7 (SS7) Message Transfer Part 3 (MTP3) - User Adaptation Layer (M3UA)*. [Online] září 2002. [Citace: 22. 03 2016.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3332.txt.pdf>.
13. **MORNEAULT, K. a PASTOR-BALBAS, J.** RFC Editor. *RFC 4666 Signaling System 7 (SS7) Message Transfer Part 3 (MTP3) - User Adaptation Layer (M3UA)*. [Online] září 2006. [Citace: 01. 03 2016.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc4666.txt.pdf>.
14. **BAZALA, David.** Filtry. *amapro.cz*. [Online] [Citace: 25. 12 2015.] <http://www.amapro.cz/public/ele/filtry.php>.
15. **PRCHAL, Josef a ŠIMÁK, Boris.** *Digitální zpracování signálů v telekomunikacích*. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2000. 80-01-02149-1.
16. **REICHL, Jaroslav a VŠETIČKA, Martin.** Encyklopedie Fyziky. *Digitalizace analogového signálu*. [Online] 2006. [Citace: 02. 11 2015.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1355-digitalizace-analogoveho-signalu>.
17. Vzorkování. *Wikipedie*. [Online] 2002. [Citace: 12. 12 2015.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Vzorkovani.svg>.
18. **CIHLO, Martin.** Bakalářská práce. *Technologie VoIP jako služba lokálních poskytovatelů internetu*. Hradec Králové : Univerzita Hradec Králové - Fakulta informatiky a managementu, 2013.
19. **BAZALA, David.** AmaPro Internetové stránky určené pro studenty středních a vysokých odborných škol. *A/D Převodník*. [Online] 2006. [Citace: 25. 12 2015.] http://amapro.cz/public/tele/casprv_2.php.
20. —. AmaPro Internetové stránky určené pro studenty středních a vysokých odborných škol. *D/A Převodník*. [Online] 2006. [Citace: 25. 12 2015.] http://www.amapro.cz/public/tele/casprv_3.php.
21. **ŠIMÁK, Boris;** Principy zpracování hlasu v klasické a IP telefonii. *Teorie a praxe telefonie*. [Online] 05 2004. [Citace: 23. 12 2015.] ip-telefon.cz/data/download/71.pdf.

22. **CATCHPOLE, A.B., MIDDLETON, C.J. a NELSON, T.** Springer Link. *Telephony Solutions for the Customer Premises*. [Online] 04 2001. [Citace: 15. 01 2016.] <http://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1011391019289>.
23. **COUNTERPATH.** CounterPath. *X-Lite*. [Online] 2013. [Citace: 14. 03 2016.] <http://www.counterpath.com/x-lite.html>.
24. **EMPSON, Scott.** *CCNA Kompletní přehled příkazů: Autorizovaný výukový průvodce*. Vydání první. Brno : Computer Press, a.s., 2009. str. 320. 978-80-251-2286-0.
25. **BOUŠKA, Petr.** Víte, jak pracuje router? *SAMURAJ-cz.com*. [Online] 23. 06 2010. [Citace: 05. 04 2016.] <http://www.samuraj-cz.com/clanek/vite-jak-pracuje-router/>.
26. —. Víte, jak pracuje switch? *SAMURAJ-cz.com*. [Online] 25. 05 2010. [Citace: 04. 04 2016.] <http://www.samuraj-cz.com/clanek/vite-jak-pracuje-switch/>.
27. **ETSI.** etsi.org. "*ETSI DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) technology page*". [Online] the European Telecommunications Standards Institute, 2011-2015. [Citace: 02. 02 2016.] <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/dect>.
28. **PRAVDA, Ivan.** Internetová telefonie (VOIP) a protokol SIP. *Data-cedupoint.cz*. [Online] [Citace: 05. 01 2016.] http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/079.pdf.
29. **POSTEL, J.** RFC Editor. *RFC 791: Internet Protocol*. [Online] 09 1981. [Citace: 15. 12 2016.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc791.txt.pdf>.
30. —. RFC Editor. *RFC 793: Transmission Control Protocol*. [Online] 09 1981. [Citace: 28. 12 2016.] <http://www.rfc-editor.org/pdf/rfc793.txt.pdf>.
31. —. RFC Editor. *RFC 768: User Datagram Protocol*. [Online] 28. 05 1980. [Citace: 18. 01 2016.] <http://www.rfc-editor.org/pdf/rfc768.txt.pdf>.
32. **SCHULZRINNE, H. CASNER, S. FREDERICK, R. a JACOBSON, V.** RFC Editor. *RFC 3550 RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*. [Online] 2003. [Citace: 08. 02 2016.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3550.txt.pdf>.
33. **HUITEMA, C.** RFC 3605 - Real Time Control Protocol. *RFC Editor*. [Online] Microsoft, 10 2003. [Citace: 26. 12 2015.] <https://tools.ietf.org/html/rfc3605>.

34. **VACHTL, Pavel.** Sdílení souborů na Internetu a síť P2P - základní technologický přehled. *PCWorld*. [Online] 25. 11 2009. [Citace: 14. 01 2016.] <http://pcworld.cz/internet/sdileni-souboru-na-internetu-a-site-p2p-zakladni-technologicky-prehled-8350>.
35. **HADLEY, M.** SDP: Session Description Protocol. *RFC Editor*. [Online] 07 2006. [Citace: 06. 01 2016.] <https://www.ietf.org/rfc/rfc4566.txt>.
36. **ROSENBERG, J., SCHULZRINNE, H., CAMARILLO, G., JOHNSTON, A., PETERSON, J., SPARKS, R., HANDLEY, M. a SCHOOLER, E.** RFC Editor. *RFC 3261 SIP: Session Initiation Protocol*. [Online] 2002. [Citace: 03. 01 2016.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3261.txt.pdf>.
37. **BENÁK, Karel.** Diplomová práce: Použití adresářových služeb v informačních systémech. [Online] 05 2004. [Citace: 02. 02 2016.] <http://ldap.benak.net/diplom.pdf>.
38. **VERGEAU, F.** RFC Editor. *RFC 3629 UTF-8, a transformation format of ISO 10646*. [Online] 11 2003. [Citace: 03. 01 2016.] <https://tools.ietf.org/html/rfc3629>.
39. **FIELDING, R.** RFC Editor. *RFC 2616 Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1*. [Online] 06 1999. [Citace: 03. 01 2016.] <https://tools.ietf.org/html/rfc2616>.
40. **SOUMAR, Michal.** Signalizační protokol pro přenos hlasu přes datové sítě - SIP. *Elektrorevue*. [Online] 2003. [Citace: 12. 12 2015.] <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03003/index.html>.
41. **JOHNSON, A., DONOVAN, S., SPARKS, R., CUNNINGHAM, C. a SUMMERS, K.** RFC Editor. *RFC 3665 Session Instantiation Protocol (SIP), Basic Call Examples*. [Online] 2003. [Citace: 15. 01 2016.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3665.txt.pdf>.
42. **ITU.** ITU Committed to connecting the world. *ITU-T Recommendations H.225*. [Online] 12 2009. [Citace: 01. 02 2016.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.225.0-200912-I/en>.
43. —. ITU Committed to connecting the world. *ITU-T Recommendations H.245*. [Online] 05 2011. [Citace: 25. 01 2016.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.245-201105-I/en>.
44. **PETERKA, Jiří.** Přednáška: Rodina protokolů TCP/IP, verze 2.7. *eArchiv.cz: archiv článků a přednášek Jiřího Peterky*. [Online] 2011. [Citace: 14. 12 2015.] <http://www.earchiv.cz/1223/slide.php3?l=11&me=10>.

45. **ITU.** ITU Committed to connecting the world. *ITU-T Recommendations H.323*. [Online] 12 2009. [Citace: 02. 02 2016.] <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=H.323>.
46. **ARANGO, M., DUGAN, A., ELLIOT, I., HUITEMA, C. a PICKETT, S.** RFC Editor. *RFC 2705 Media Gateway Control Protocol (MGCP)*. [Online] 10 1999. [Citace: 08. 02 2016.] Media Gateway Control Protocol (MGCP).
47. Skinny Call Control Protocol (SCCP) - Cisco. *CISCO*. [Online] Cisco, 03. 01 2014. [Citace: 02. 02 2016.] <http://www.cisco.com/c/en/us/tech/voice/skinny-call-control-protocol-sccp/index.html>.
48. **VANĚK, Tomáš.** Bezpečnost v oblasti VoIP. *Teorie a praxe telefonie*. [Online] 05. 11 2008. [Citace: 03. 02 2016.] <http://www.ip-telefon.cz/data/download/34.pdf>.
49. **KENT, S. a SEO, K.** RFC Editor. *RFC 4301: Security Architecture for the Internet Protocol*. [Online] 12 2005. [Citace: 12. 03 2016.] <http://www.rfc-editor.org/pdf/rfc4301.txt.pdf>.
50. **FRANKEL, Sheila., KENT, Karen., LEWKOWSKI, Ryan., OREBAUGH, Angela D., RITCHEY, Ronald W. a SHAMA, Steven R.** National Institute of Standards and Technology. *Guide to IPsec VPNs*. [Online] 12 2005. [Citace: 08. 03 2016.] <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-77/sp800-77.pdf>.
51. **DIERKS, T a RESCORLA, E.** RFC Editor. *RFC 4346: The Transport Layer Security (TLS) Protocol*. [Online] 05 2006. [Citace: 16. 01 2016.] <http://www.rfc-editor.org/pdf/rfc4346.txt.pdf>.
52. **DIERKS, T. a ALLEN, C.** RFC Editor. *RFC 2246 The TLS Protocol*. [Online] 01 1999. [Citace: 14. 01 2016.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc2246.txt.pdf>.
53. **RESCORLA, E. a MODADUGU, N.** RFC Editor. *RFC 4347 Datagram Transport Layer Security*. [Online] 04 2006. [Citace: 08. 03 2016.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc4347.txt.pdf>.
54. **BAUGHER, M. a MCGREW, D.** RFC Editor. *RFC 3711 The Secure Real-time Transport Protocol (SRTP)*. [Online] 2004. [Citace: 08. 02 2015.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3711.txt.pdf>.

55. **ZIMMERMANN, P., JOHNSTON, A. a CALLAS, J.** RFC Editor. *RFC 6189 ZRTP: Media Path Key Agreement for Unicast Secure RTP*. [Online] 04 2011. [Citace: 11. 01 2016.] <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc6189.txt.pdf>.
56. Komunikaci PRO firmy.cz. *Jak připojit firmu na internet levně a přitom spolehlivě?* [Online] 2015. [Citace: 04. 04 2016.] <http://www.komunikaciprofirmy.cz/tipy/jak-pripojit-firmu-na-internet-levne-pritom-spolehlive>.
57. **PETERKA, Jiří.** Implementace ADSL. *Archiv článků a přednášek Jiřího Peterky*. [Online] 2002. [Citace: 03. 03 2016.] <http://www.earchiv.cz/b02/b0704001.php3>.
58. **BRADEN, R., a další.** RFC Editor. *RFC2205: Resource ReSerVation Protocol (RSVP)*. [Online] University of Michigan, 09 1997. [Citace: 15. 02 2016.] <https://tools.ietf.org/html/rfc2205>.
59. **ITU.** P.800 : Methods for subjective determination of transmission quality. *Recommendation,ITU*. [Online] ITU. [Citace: 12. 12 2015.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-I/en>.
60. **WESTBAY ENGINEERS.** Westbay Engineers Limited - Telecommunications Software and Services. *Erlang and VoIP Bandwidth calculator*. [Online] 23. 05 2012. [Citace: 02. 03 2016.] <http://www.erlang.com/calculator/eipb/>.
61. **CISCO.** CISCO. *Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption*. [Online] 02. 02 2006. [Citace: 13. 07 2013.] http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_tech_note09186a0080094ae2.shtml.
62. **ABOBA, B., a další.** RFC Editor. *RFC 3748 Extensible Authentication Protocol (EAP)*. [Online] 06 2004. [Citace: 02. 02 2016.] <https://tools.ietf.org/html/rfc3748>.
63. **RIGNEY, C., a další.** RFC Editor. *RFC 2865: Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)*. [Online] 06 2000. [Citace: 02. 02 2016.] <https://tools.ietf.org/html/rfc2865>.
64. **IEEE-SA.** IEEE-Standards Associations. *IEEE - The world's largest professional association for the advancement of technology*. [Online] IEEE, 2011. [Citace: 12. 02 2016.] <http://standards.ieee.org/about/get/>.

65. **KUHN, Richard D., WALSH, Thomas J. a FRIES, Steffen.** National Institute of Standards and Technology. *Security Considerations for Voice Over IP Systems*. [Online] 01 2005. [Citace: 08. 02 2016.] <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-58/SP800-58-final.pdf>.
66. **CAPOUŠEK, David.** Ekonomické aspekty IP telefonie. *Teorie a praxe IP telefonie*. [Online] 26. 05 2004. [Citace: 25. 02 2016.] <http://www.ip-telefon.cz/data/download/62.pdf>.
67. Telefonní ústředny. *PBÚ Panasonic KX-TD816CE*. [Online] EVRON, 01. 05 2010. [Citace: 06. 02 2016.] <http://www.jktelekomunikace.evron.cz/cz/page/15060/pbu-panasonic-kx-td816ce.html?detail=38344>.
68. **SVOBODA Miloš.** Telekomunikační technika Panasonic. *IP a ISDN ústředny Panasonic*. [Online] Svoboda FONSERVIS. [Citace: 03. 03 2016.] <http://www.fonservis.cz/index.php>.
69. **O2.** O2_firmy a veřejná správa. *IP Centrex: Objevte telefonování budoucnosti*. [Online] O2, 2016. [Citace: 30. 03 2016.] https://business.o2.cz/clanky/clanek/-/asset_publisher/3jno98QWHj5x/content/ip-centrex-objevte-telefonovani-budoucnosti?_101_INSTANCE_3jno98QWHj5x_redirect=%2Fclanky%2Fclanek%3Fp_p_id%3D175_INSTANCE_qw90CIW31Wsf%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26
70. **CZC.CZ.** HP 2530-24-PoE+. *czc.cz*. [Online] CZC.cz s.r.o., 2016. [Citace: 04. 04 2016.] <http://www.czc.cz/hp-2530-24-poe/146567/produkt?gclid=COWl-sq1mMwCFegp0wodta0LZQ>.
71. Služba IP Centrex_ceník. *o2.cz*. [Online] O2, 2016. [Citace: 01. 03 2016.] https://www.o2.cz/file_conver/454211/Cenik_VoIP_IP_Centrex_2016_02.pdf.
72. O2_Ceník internetového připojení. *Ceník základních služeb elektronických komunikací*. [Online] O2 Czech Republic a.s., 2016. [Citace: 04. 04 2016.] https://www.o2.cz/file_conver/17713/.
73. **POUPĚ, Petr.** O2. *Telefónica O2 CZECH REPUBLIC - řešení VoIP*. [Online] 20. 05 2008. [Citace: 04. 04 2016.] <http://www.europen.cz/Proceedings/32/O2%20VoIP.pdf>.
74. **RIO MEDIA a.s.** 802.cz. *Řešení firemní VoIP telefonie*. [Online] 2016. [Citace: 18. 03 2016.] <http://www.firemnivoip.cz/index.php>.

75. **Mironet a.s.** WELL mPBX-100. *Mironet computers*. [Online] Mironet.cz a.s., 2016. [Citace: 04. 04 2016.] https://www.mironet.cz/well-mpbx100-ip-pbx-max-16-portu-az-100-uc+dp161735/?gclid=CISDnKL_gMwCFcSRGwodyJEBAQ#4920683.
76. **International, K24.** K24.cz. *Yealink telefon VoIP (PoE) - T46G*. [Online] K24 International s.r.o., 2016. [Citace: 04. 04 2016.]
77. patro.cz. *Yealink SIP-T23P*. [Online] NWT, a.s., 2016. [Citace: 04. 04 2016.]
78. Panasonic KX-HDV130NEB_IP telefon. *Euroking*. [Online] ANTALON, s.r.o., 2016. [Citace: 15. 04 2016.] <http://www.euroking.cz/panasonic-kxhdv130neb-stolni-sip-telefon-cerny?gclid=CNy2jcDEmMwCFRKNWgoddSUPAA>.
79. patro.cz. *Panasonic KX-TGP600CEB*. [Online] NWT a.s., 2016. [Citace: 04. 04 2016.] <http://www.patro.cz/produkt/1076821854-panasonic-kx-tgp600ceb-ip-telefon-dect-8xsip-ucet-1xlan-poe-1-8-displej-cerna-barva?gclid=CL64q-2Gr8wCFdYV0wod-IIAkA>.
80. O2_ceník. *Ceník hlasové služby a dalších elektronických komunikací*. [Online] 01. 04 2016. [Citace: 06. 04 2016.] https://www.o2.cz/file_conver/17765/Cenik_HS_fixni_20141201_externi.pdf.
81. **RIO MEDIA a.s.** 802.cz. *Ceník volání VOX*. [Online] 2016. [Citace: 01. 03 2016.] <http://www.802.cz/cenik-volani/>.
82. **PIŽL, Zdeněk.** Linuxexpres. *Vyplatí se VoIP?* [Online] LinuxEXPRES, 26. 06 2006. [Citace: 01. 04 2016.] <http://www.linuxexpres.cz/praxe/vyplati-se-voip>.