



# Tunelování E1 přes síť CESNET2

Technická zpráva k řešení projektu FR CESNET, z. s. p. o.

Issue date: 24. 11.2005, V0.1  
3. 1.2006, V0.2

Authors: Vozňák, M., VŠB – TU Ostrava  
Neuman, M., ČVUT Praha  
Holý, R., UK Praha

**VIC ČVUT v Praze**  
**Zikova 4**  
**160 36 Praha 6**

Copyright © ČVUT Leden 2006

---



## Obsah

<b>Obsah</b>	<b>0</b>
<b>1 Moduly pro emulaci E1/T1</b>	<b>0</b>
<b>2 Použití emulace E1/T1</b>	<b>0</b>
<b>2.1 Základní vlastnosti:</b>	<b>0</b>
2.1.1 Adaptabilita ve zpoždění	0
2.1.2 Synchronizace	0
2.1.3 Kapacitní omezení v závislosti na platformě	0
<b>3 Testy a měření na CEM modulech</b>	<b>0</b>
<b>3.1 Test ztráty IP konektivity, L1 a L2.</b>	<b>0</b>
<b>3.2 Test sestavení spojení na L3.</b>	<b>0</b>
<b>3.3 Měření jmenovité přenosové rychlosti.</b>	<b>0</b>
<b>3.4 Měření chybovosti dle ITU-T G.826.</b>	<b>0</b>
3.4.1 Měření chybovosti mezi VŠB-TUO a UK.	0
3.4.2 Měření chybovosti mezi VŠB-TUO a ČVUT.	0
<b>3.5 Měření impulsové masky signálu PCM.</b>	<b>0</b>
<b>3.6 Jitter signálu PCM dle ITU-T G.823.</b>	<b>0</b>
<b>4 Konfigurace směrovačů v lokalitách</b>	<b>0</b>
<b>4.1 Konfigurace na VŠB-TU v Ostravě</b>	<b>0</b>
<b>4.2 Konfigurace na ČVUT v Praze</b>	<b>0</b>
<b>4.3 Konfigurace na UK v Praze</b>	<b>0</b>
<b>5 Závěr</b>	<b>0</b>
<b>6 Seznam použité literatury</b>	<b>0</b>



## 1 Moduly pro emulaci E1/T1

Při řešení projektu jsme vyšli ze současného stavu technologie v síti CESNET2 a orientovali jsme se na tunelování E1 přes zařízení Cisco. Modul pro emulaci E1 má označení NM-CEM-4TE1 (Network Modules – Circuit Emulation - 4TE1) a je použitelný v Cisco směrovačích:

- 2600 XM
- 2691
- 2811
- 2821
- 2851
- 3660
- 3700
- 3800

Tento síťový modul na obr.1 zajišťuje bitově transparentní přenos dat, který je zcela protokolově nezávislý na straně rozhraní E1, což přináší výhodu poskytování služby emulovaných okruhů E1 přes síť IP. [1], [9]



Obr 1. Modul NM-CEM-4TE1.

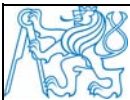
## 2 Použití emulace E1/T1

Veškerá rozhraní do směrovačů vyžadují, aby data byla prezentována ve formě:

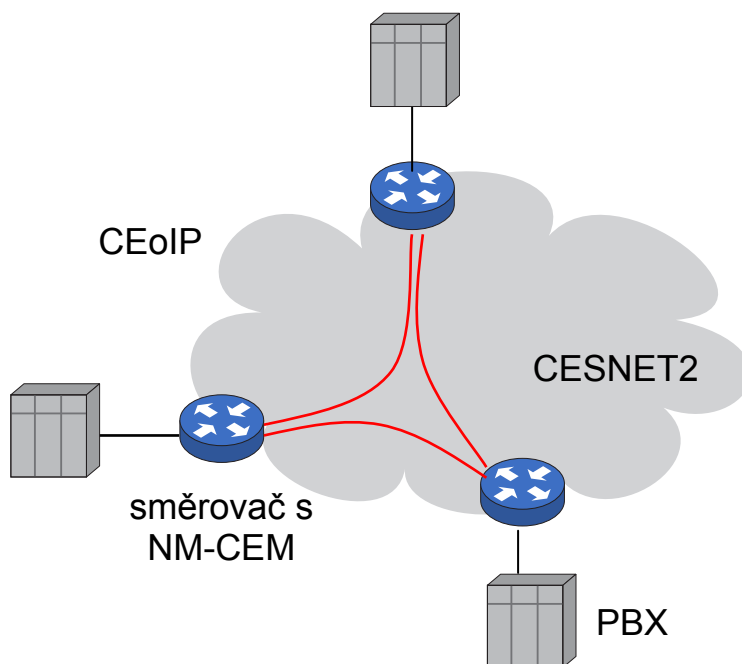
- IP rámců,
- Frame relay rámců,
- High-Level Data Link Control rámců,
- ATM buněk,
- strukturované PCM,
- nebo asynchronně řízených dat (start/stop).

Emulace E1 nepředpokládá, že data mají předdefinovaný formát nebo strukturu, ale je jednoduše pohlíženo na E1 jako na jakýkoliv bitový tok a všechny bity jsou enkapsulovány do IP paketů a přeneseny k určenému cíli.

Tato transparentnost dovoluje manipulovat s E1 toky obdobně jako v SDH multiplexech, vstupem a výstupem bude E1 a přenosovým prostředím IP, modul obecně označíme jako CEoIP (Circuit Emulation over IP). Jedná se tedy emulaci



okruhu E1 mezi dvěma body, zjednodušeně řečeno „protažení E1 přes IP“, viz. obr. 2. Circuit Emulation over IP.



Obr. 2. Circuit Emulation over IP.

Vlastní mechanismus tunelování E1 je založen na návrhu A. Vainshteina „Control Protocol Extensions for Setup of TDM Pseudowires“, který je od července 2005 ve formě Internet-draft v rámci IETF, v roce 2006 by měl být dotážen do standardního RFC.

## 2.1 Základní vlastnosti

Základní vlastnosti námi zvoleného řešení s CEM moduly do Cisco směrovačů jsou následující :

- kompatibilní s IETF návrhem mechanismu CEoIP od A. Vainshteina,
- standardní konfigurace přes CLI příkazy Cisco IOS,
- čtyři porty E1/T1 na jednom modulu,
- bitově transparentní přenos,
- protokolově nezávislý přenos na straně E1,
- IP přenos využívá protokoly RTP a UDP,
- podpora IP QoS použitím DSCP (Differentiated services code point), nebo ToS (Type of Service),
- konfigurovatelná velikost pro payload,
- adaptivní řešení synchronizace,
- konfigurovatelný de-jitter buffer,
- konfigurovatelné vzorky pro stav „idle“,
- signalizace stavu pomocí LED,
- nestrukturovaný přenos E1,
- přenos strukturovaných kanálů Nx64 kbps pro E1 a Nx56kbps pro T1,
- ukončení toku strukturované E1 nebo T1 kdekoliv v síti,



- volitelná podpora pro CAS,
- konfigurovatelná synchronizace pro každý kanál,
- a diagnostika na linkové vrstvě (loopback).

### 2.1.1 Adaptabilita ve zpoždění

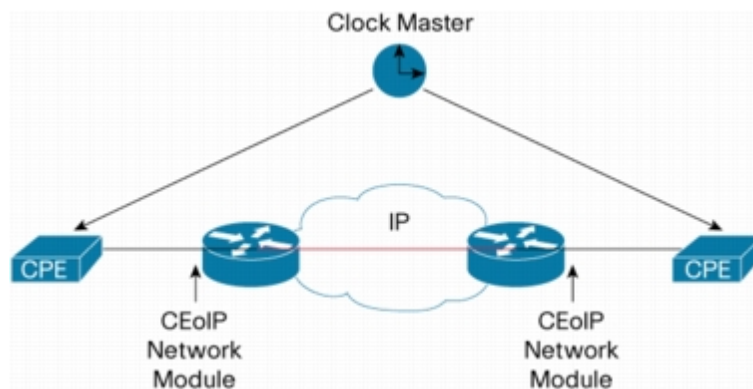
Každý paket obsahuje hlavičku o délce 44 bytes, přičemž

- 20-byte IP hlavička
- 8-byte UDP hlavička
- 12-byte RTP hlavička
- 4-byte CE (circuit emulation) hlavička

Velikost payload se může měnit v rozsahu 1 až 1312 bytes a je konfigurovatelná, čím menší hodnota je nastavena, tím jsou lepší podmínky pro vyrovnání zpoždění, ale zvyšuje se overhead, za optimální variantu je považováno 160 bytes pro payload. Na přijímací straně se nastavuje de-jitter buffer do velikost 500 ms. Pro minimalizaci režie přenosu, je možné snížit overhead použitím cRTP mechanismu, hlavička se ze 44 bytes sníží na 6 bytes, ale naroste zatížení CPU, procentuální využití CPU při kompresi lze experimentálně ověřit.

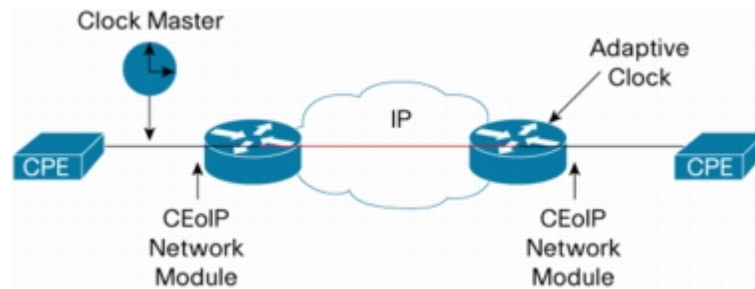
### 2.1.2 Synchronizace

Aby bylo dosaženo tunelování E1 jako bitově transparentního toku s možností rekonstruovat rámec v reálném čase, je nutné dodržet bitovou synchronizaci a zabránit vzniku skluzů. Cílem bitové synchronizace je správně umístit bity v rámci tak, aby mohly být bezchybně interpretovány, druhým problémem je rámcová synchronizace, kde jde o rozeznání začátku rámce, to je ošetřeno synchronizačními signály v 0-tém kanálovém intervalu. Oba koncové body spojení CEoIP musí být synchronizovány ze stejného zdroje.



Obr. 3.: Synchronizace ze společného zdroje.

Na obrázku 3 je zobrazena varianta synchronizace z externího zdroje. Další možností je použití adaptivní synchronizace, jedná se o synchronizace typu Master – Slave, kdy jeden bod spojení je Master a druhý bod od něj synchronizuje své hodiny, to je situace na obrázku 4.



Obr. 4.: Synchronizace Master - Slave.

### 2.1.3 Kapacitní omezení v závislosti na platformě

V tabulce 1. jsou uvedeny maximální počty modulů, které jsou podporovány v konkrétní HW platformě, v tabulce 2 je technická specifikace portu.

Modul	Cisco 2600XM	Cisco 2691	Cisco 2811, 2821, 2851	Cisco 3660	Cisco 3725	Cisco 3745	Cisco 3825	Cisco 3845
Počet podporovaných modulů	1	1	1	6	2	4	2	4

Tabulka 1.: Maximální počet modulů.

Porty	4 Porty (T1 nebo E1)
přenosová rychlost na portu	T1: 1544000 bps E1: 2048000 bps
kódování	T1: binary 8-zero substitution (B8ZS) E1: high-density bipolar with three zeroes (HDB3)
rámec	T1: superframe (SF), extended superframe (ESF) nebo bez rámce E1: G.704 se 4-bitovým CRC4 (cyclic redundancy check), G.704 bez CRC4 nebo bez rámce

Tabulka 2.: Specifikace portu.



### 3 Testy a měření na CEM modulech

Měření probíhalo na všech třech lokalitách, kde byl projekt řešen, přičemž první společné setkání řešitelů k provedení experimentů se uskutečnilo v laboratoři na katedře elektroniky a telekomunikační techniky FEI VŠB-TU v Ostravě. Zde proběhla inicializace konfigurace směrovačů, byly provedeny první úspěšné experimenty a byla stanovena metodika postupu měření.



Obr.5.: Pracovní setkání řešitelů v Ostravě.

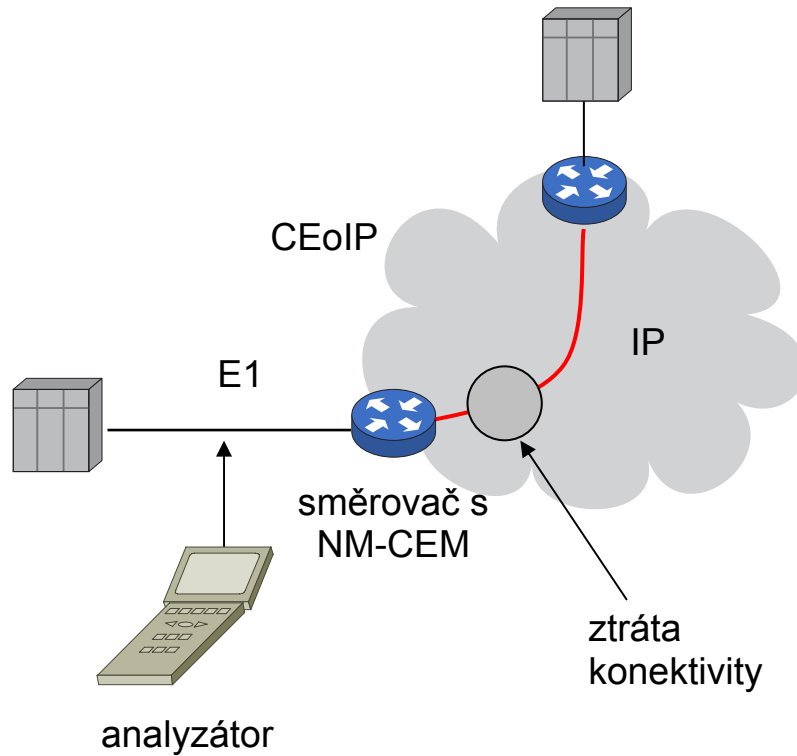


Obr.6: Pracoviště s analyzátozem T-STAR.



### 3.1 Test ztráty IP konektivity, L1 a L2.

Následující měření bylo provedeno za situace, kdy došlo k rozpojení IP konektivity a následnému připojení, pozorovali jsme chování prvních dvou vrstev L1 a L2.



Obr. 7: Schéma pro experiment se ztrátou konektivity.

Výstup z analyzátoru:

/\* standardní režim na L2

```
N<T Fr.187 20:56:09.006
L2: Sapi=0 Tei=0
RR
pf=1 Nr=1
00 01 01 03
```

```
N<T Fr.188 20:56:10.007
L2: Sapi=0 Tei=0
RR
pf=1 Nr=1
00 01 01 03
```

/\* došlo k rozpojení a jelikož se nedostává odpovědi RR, tak je vidět opakovaná snaha o znovunavázání komunikace na L2





```
N<T Fr.189 20:56:11.007
L2: Sapi=0 Tei=0
SABME
pf=1
00 01 7F
```

```
N<T Fr.190 20:56:12.006
L2: Sapi=0 Tei=0
SABME
pf=1
00 01 7F
```

```
N<T Fr.191 20:56:13.006
L2: Sapi=0 Tei=0
SABME
pf=1
00 01 7F
```

```
N<T Fr.192 20:56:14.006
L2: Sapi=0 Tei=0
SABME
pf=1
00 01 7F
```

*/\* po čtyřech sekundách je vyhodnocen alarm NOS (bez signálu), CRC (chyba v kontrole rámce), AIS (alarm ztráty synchronizace v 0 KI), LOS (vyhodnocení ztráty synchronizace rámce)*

```
20:56:18.082
L1: NOS alarm set
```

```
20:56:18.082
L1: CRC alarm set
```

```
20:56:18.149
L1: CRC alarm set
```

```
20:56:20.422
L1: AIS alarm set
```

```
20:56:20.438
L1: CRC alarm set
```

```
20:56:20.506
L1: CRC alarm set
```

*/\* dochází k obnovení IP konektivity a alarmy na fyzické vrstvě jsou zrušeny*



20:56:20.751  
L1: AIS alarm cleared

20:56:20.784  
L1: LOS alarm set

20:56:20.813  
L1: CRC alarm set

20:56:20.881  
L1: CRC alarm set

20:56:20.938  
L1: NOS alarm cleared

**/\* nabíhá druhá vrstva a je detekován příjem žádosti SABME o sestavení rámce na L2, to je odmítnuto zprávou DM**

N<T Fr.193 20:56:21.135  
L2: Sapi=0 Tei=0  
SABME  
pf=1  
00 01 7F

N<T Fr.194 20:56:22.126  
L2: Sapi=0 Tei=0  
SABME  
pf=1  
00 01 7F

N<T Fr.195 20:56:23.126  
L2: Sapi=0 Tei=0  
SABME  
pf=1  
00 01 7F

N>T Fr.141 20:56:23.229  
L2: Sapi=0 Tei=0  
DM  
pf=1  
00 01 1F

**/\* nabíhá druhá vrstva a je odesílána žádost SABME o sestavení rámce na L2, která je potvrzena zprávou UA, následně už jsou vyměňovány RR (Receiver Ready), což je standardní režim na L2**

N>T Fr.142 20:57:31.399  
L2: Sapi=0 Tei=0  
SABME



```
pf=1
02 01 7F
```

```
N<T Fr.196 20:57:31.404
L2: Sapi=0 Tei=0
UA
pf=1
02 01 73
```

```
N<T Fr.197 20:57:41.396
L2: Sapi=0 Tei=0
RR
pf=1 Nr=0
00 01 01 01
```

```
N>T Fr.143 20:57:41.479
L2: Sapi=0 Tei=0
RR
pf=1 Nr=0
00 01 01 01
```

```
N<T Fr.198 20:57:51.476
L2: Sapi=0 Tei=0
RR
pf=1 Nr=0
00 01 01 01
```

Ztráta konektivity na E1 je detekována okamžitě, ztráta konektivity na IP je detekována zhruba do osmi vteřin, experimentálně bylo zjištěno, že pokud je doba trvání výpadku na IP do třech vteřin, tak není vůbec detekována, z tohoto důvodu striktně doporučujeme ponechat zapnutou kontrolu **CRC4** na L2, pro kontrolu přenosu. [1], [4]



### 3.2 Test sestavení spojení na L3.

Analyzátor umožňoval test síťové vrstvy, kde je možné vidět průběh signalizačních zpráv ISDN na L3, pro ukázkou přikládáme sestavení a ukončení spojení.

/\* inicializace spojení zprávou SETUP, její potvrzení a zahájení spojování

```
N<T Fr.502 20:24:41.209
L3: PD=08      CR(O)=83
M05 SETUP
I04 bcap=Speech A Law
I18 channel=B1
    08 02 00 53 05 04 03
    80 90 A3 18 03 A9 83
    81 70 05 80 33 30 31
    30
```

```
N>T Fr.583 20:24:41.452
L3: PD=08      CR(D)=83
M0D SETUP ACK
I18 channel=B1
    08 02 80 53 0D 18 03
    A9 83 81
```

```
N>T Fr.584 20:24:41.464
L3: PD=08      CR(D)=83
M02 CALL PROC
I18 channel=B1
    08 02 80 53 02 18 03
    A9 83 81
```

/\* vyzvánění a přihlášení volaného

```
N>T Fr.585 20:24:42.213
L3: PD=08      CR(D)=83
M01 ALERTING
    08 02 80 53 01
```

```
N>T Fr.587 20:24:53.098
L3: PD=08      CR(D)=83
M07 CONNECT
    08 02 80 53 07 29 05
    05 08 10 14 1E 4C 06
    00 80 33 30 31 30
```

```
N<T Fr.506 20:24:53.109
L3: PD=08      CR(O)=83
M0F CONNECT ACK
    08 02 00 53 0F
```



/\* procedura rozpadu spojení

```
N>T Fr.589 20:24:59.366
L3: PD=08 CR(D)=83
M45 DISCONNECT
I08 Cause=16
08 02 80 53 45 08 02
80 90 1E 02 80 88
```

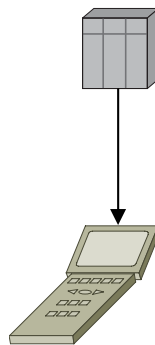
```
N<T Fr.507 20:24:59.384
L3: PD=08 CR(O)=83
M4D RELEASE
I08 Cause=16
08 02 00 53 4D 08 02
80 90
```

```
N>T Fr.590 20:24:59.514
L3: PD=08 CR(D)=83
M5A REL. COMP
I08 Cause=16
08 02 80 53 5A 08 02
80 90
```

### 3.3 Měření jmenovité přenosové rychlosti.

Doporučení ITU-T G.703 popisuje fyzikální/elektrické vlastnosti digitálních rozhraní. Pracovali jsme na RM1 rozhraní, což je popsáno v kapitole 6.1 doporučení ITU-T G.703, jmenovitá rychlost je 2048 kbit/s  $\pm$  50 bit/s. Kódování může být bipolární AMI nebo HDB3, připojení je symetrické 120 Ohm s úrovní 3 V  $\pm$  0,3 V nebo nesymetrické 75 Ohm (Koax. kabelem) s úrovněmi pulsu 2,37 V  $\pm$  0,237 V, rámec je popsán v doporučení ITU-T G.704.

Nejprve jsme měřili přenosovou rychlost na symetrickém rozhraní 120 Ohm v režimu simulace přímo na E1 ústředny s kódování HDB3. Měření proběhlo v Ostravě analyzátořem T-Star2000 E1.



Obr.8 : Měření v režimu simulace



Výsledkem měření byly hodnoty pro jmenovitou rychlost a napěťovou úroveň pulsu, které se v čase neměnily. Což bylo způsobeno tím, že frekvenční stabilita synchronizační hodin ústředny byla  $10^{-6}$ , proto frekvenční změny způsobené vlivem generátoru hodin analyzátor ani nebyl schopen rozlišit a na stíněném krouceném STP o délce 5m se neuplatnil vliv vedení na stabilitu kmitočtu. Změřená rychlost byla

**2048,021 kbit/s.**

Napěťová úroveň signálu byla změřena peak-to-peak, hodnota je tedy

**3,015 V.**

Změřené hodnoty jsou v toleranci s údaji z doporučení G.703, uvádím výstup z analyzátoru, který byl propojen s notebookem přes RS 232 a veškeré zobrazované údaje se ukládaly do souboru.

```
----- F SIDE -- E SIDE -  
  
BPV:          1      N/A  
FREQ:   2048021    N/A  
LEVEL:     6.03    N/A  
CLK SLIP F->E:    N/A  
FRM SLIP F->E:    N/A  
  
#18.0 <--- E1 line mon ---+
```

Další měření jsme provedli mezi osazenými lokalitami přes síť CESNET2, přičemž měření probíhalo minimálně 24 hod. a výsledky se zapisovaly v intervalech po pěti minutách do logovacího souboru. V grafu je zachycen průběh měření na jednotlivých lokalitách, měřili jsme pouze jmenovitou přenosovou rychlost, jelikož napěťová úroveň naměřená na výstupu CEM modulu byla ve všech případech shodná, a to 6,11 peak-to-peak, což je

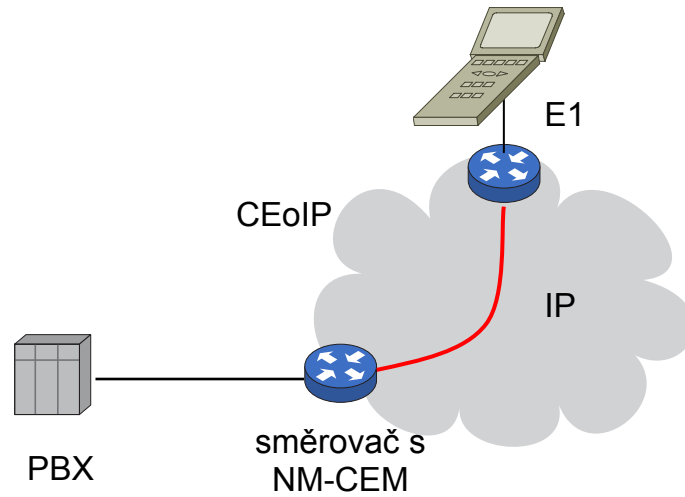
**3,055 V.**

Na obrázku je schématicky znázorněno, že analyzátor byl opět zapojen v režimu simulace G.703, ale tentokrát přímo k modulu CEM, na kterém přijímal tunelovanou G.703.

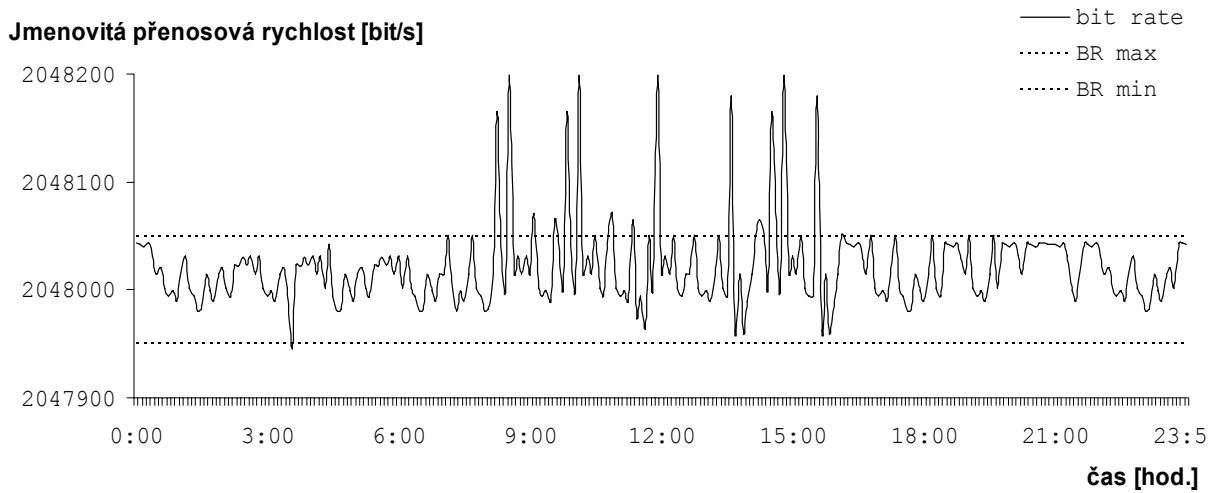
Provedli jsme měření mezi lokalitami:

- VŠB-TU, 17. listopadu, Ostrava Poruba
- ČVUT, Žitná, Praha
- UK, M.D. Retigové, Praha

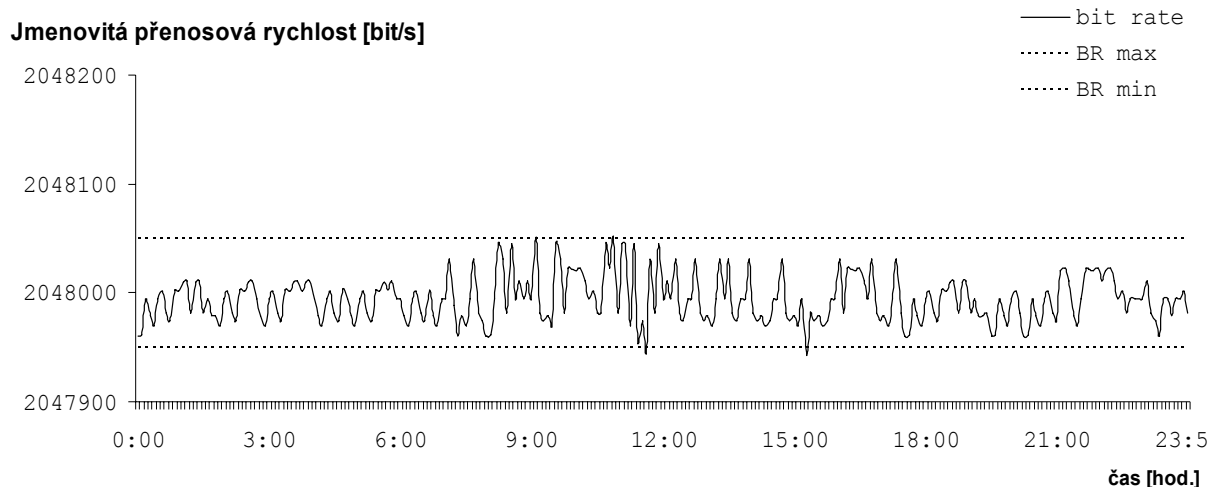
Do grafu jsme vynesli naměřené hodnoty a čárkovaně jsou vyměřeny hranice, které jsou dány doporučením.



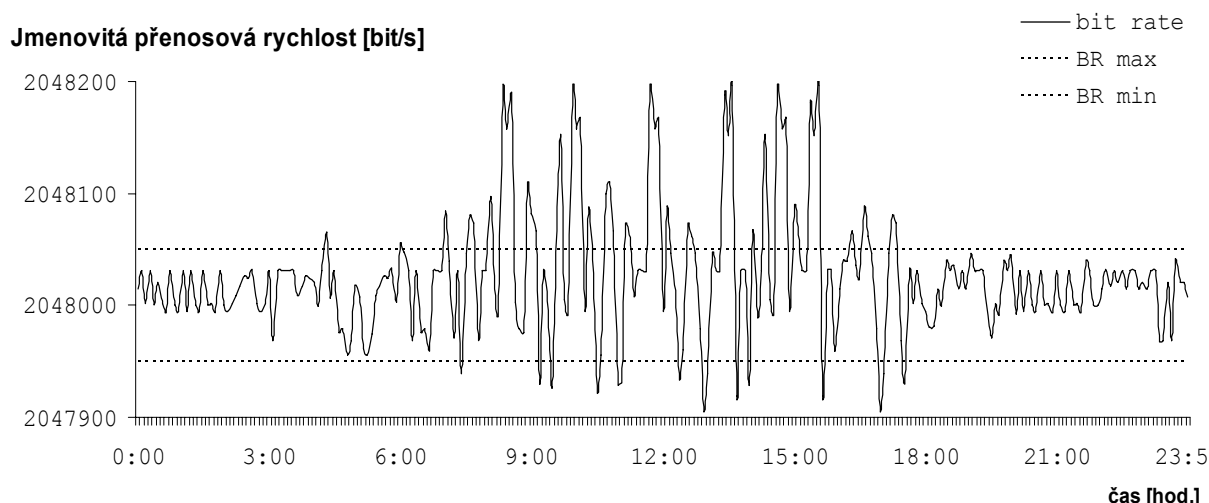
Obr. 9 : Měření v režimu simulace mezi lokalitami.



Obr.10 : Měření jmenovité přenosové rychlosti mezi lokalitami ČVUT a VŠB-TUO.



Obr. 11: Měření jmenovité přenosové rychlosti mezi lokalitami ČVUT a UK.



Obr. 12: Měření jmenovité přenosové rychlosti mezi lokalitami UK a VŠB-TUO.

Informace o topologii sítě CESNET2 lze nalézt na <http://www.cesnet.cz>. Z výsledků je patrné, že plně vyhovující je tunelování G.703 v rámci Prahy. Jmenovitá přenosová rychlost mezi lokalitami UK a VŠB-TUO, ČVUT a VŠB-TUO překračuje povolené meze tolerance, což může svědčit o problému s bitovou synchronizací, proto jsme se rozhodli provést i testy chybovosti dle ITU-T G.826. Problémy s rámcovou synchronizací jsme nepozorovali, nebyly detekovány AIS signály a nedocházelo k rozpadu rámců během dlouhodobého sledování (více než měsíc).

Přistoupili k měření chybovosti v Ostravě. Nejprve byly detekovány skluzy (bit slip error) v testovací PBX na VŠB-TUO. Skluzy svědčí o chybném umístění konkrétního bitu v rámci, viz. ukázka výpisu chybovek.





```
START-HISTA:RTYPE=SEARCH,STIME="2006-01-09/15:30";
```

```
F5411 E8 N6186 STATIST BPA CIRCUIT L1 SPOR ERROR 05-10-03 09:57:02
ALARM CLASS:SWU-PER:000
P203:LTG1 :LTU1 :003: 03 : 0 Q2217-X DIUN2 BST:01 PLS:-05
FORMAT:22 DEVICE NAME: S2M
00001F00FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFF
```

```
F5411 E8 N6187 STATIST BPA CIRCUIT L1 SPOR ERROR 05-10-03 09:57:12
ALARM CLASS:SWU-PER:000
P203:LTG1 :LTU1 :003: 06 : 0 Q2217-X DIUN2 BST:01 PLS:-05
FORMAT:22 DEVICE NAME: S2M
00001D00FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFF
```

Skluzy byly detekovány zhruba co dvanáct vteřin. Provedli jsme test měření chybovosti dle doporučení ITU-T G.826. [1], [2], [3]

### 3.4 Měření chybovosti dle ITU-T G.826.

Doporučení ITU G.826 definuje kvalitativní parametry pro vyhodnocení chybovosti přenosu a definuje sleduje čtyři základní parametry, pro hodnocení blokové chybovosti:

- EB (Errored Block) - chybný blok- blok, ve kterém se vyskytuje jeden, nebo více chybných bitů
- ES (Errored Second) - chybná sekunda - časový úsek jedné sekundy, ve kterém je jeden, nebo více chybných bloků.
- SES (Severely Errored Second) - silně rušená sekunda - interval délky jedné sekundy, který obsahuje nejméně 30% chybných bloků, nebo silně rušený časový úsek .
- BBE (Background Block Error) - chybný blok - blok, který nepatří k silně rušené sekundě.

Silně rušená časová oblast nastává, když chybovost je větší než  $10^{-2}$ . Měřením výše uvedených chybových jednotek získáme absolutní hodnoty těchto veličin.

Praktičtější ovšem je používat hodnoty relativní. Doporučení G.826 definuje relativní chybové parametry:

- (ESR) Errored Second Ratio - poměr rušených sekund k celkovému počtu sekund ve sledovaném měřicím intervalu
- (SESR) Severely Errored Second Ratio - poměr silně rušených sekund k celkovému počtu sekund ve sledovaném měřicím intervalu.



Podle doporučení ITU G.826 v případě, že za sebou následuje nejméně 10 sekund, ve kterých je chybovost větší než  $10^{-3}$  není přenosový systém schopný provozu. Systém se stává provozuschopným, když po sobě následuje nejméně 10 sekund, které nejsou silně rušené. Měření bylo nastaveno jako 24 hodinové, což byla maximální možnost analyzátoru T-STAR.

### 3.4.1 Měření chybovosti mezi VŠB-TUO a UK.

Mezi lokalitami VŠB-TUO a UK byla naměřena hodnota **SERS =  $1,5 \cdot 10^{-4}$**

```
-- E SIDE -> G.826 (TIME)

Total Time:      86400
ES:              169
SES:             13
ESR:             1.96 E-3
SESR:            1.50 E-4
```

-----

### 3.4.2 Měření chybovosti mezi VŠB-TUO a ČVUT.

Mezi lokalitami VŠB-TUO a ČVUT byla naměřena hodnota **SERS =  $1,16 \cdot 10^{-4}$**

```
-- E SIDE -> G.826 (TIME)

Total Time:      86400
ES:              129
SES:             8
ESR:             1.49 E-3
SESR:            1.16 E-4
```

-----

Naměřené hodnoty jsou pro hlasový provoz vyhovující, konkrétně pro telematické služby využívající *bearer capability 3,1 KHz a Speech*. V případě módu využívající *bearer capability unrestricted 64 kbps* (přenos dat, fax G4, 7KHz telefonie) nezaručují naměřené parametry vhodné prostředí, při překročení  $1 \cdot 10^{-5}$  by měl být provoz těchto služeb odkloněn přes jiné trakty, vyhodnocení může proběhnout pomocí CRC4. [1], [4], [5], [7], [8]



### 3.5 Měření impulsové masky signálu PCM.

Na níže uvedeném obrázku je impulsová maska s vyznačením tolerančního pásma dle ITU-T G.703 pro 2,048 kbit/s.

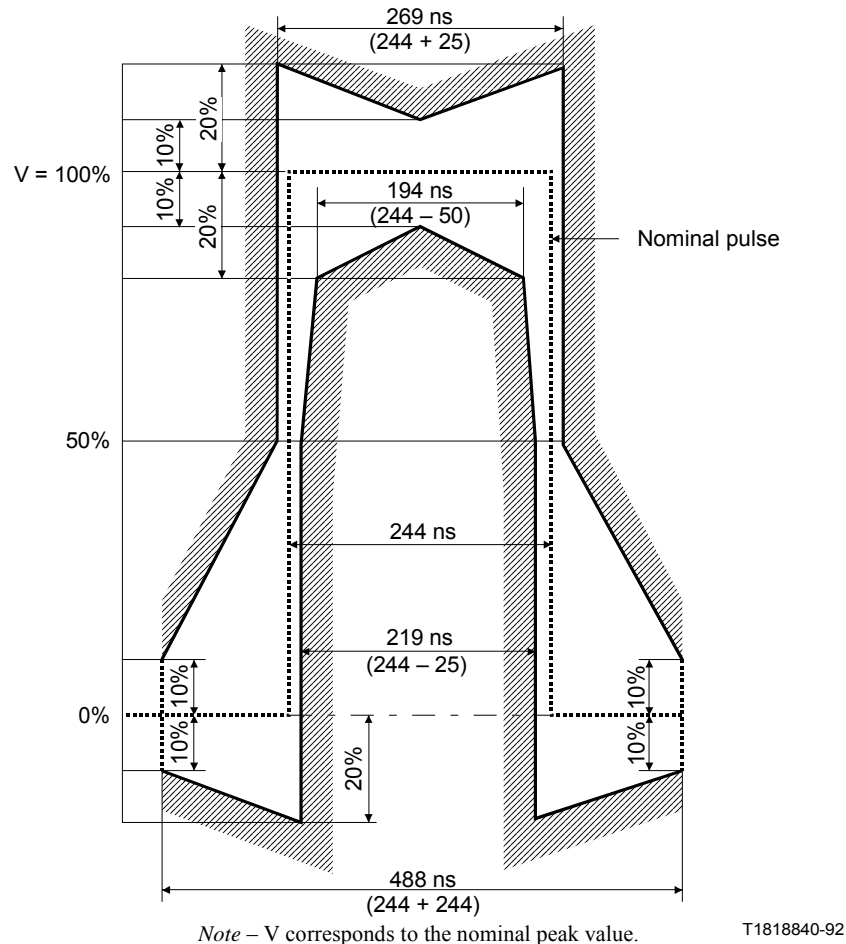


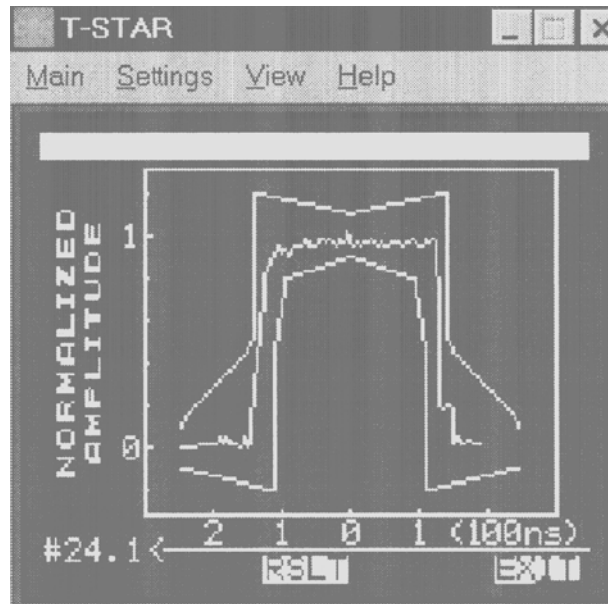
FIGURE 15/G.703

#### Mask of the pulse at the 2048 kbit/s interface

Obr. 13 : Impulsová maska

Analyzátor T-STAR umožňoval masku zachytit a vykreslit. Na níže uvedeném obrázku je impulsová maska s vyznačením tolerančního pásma dle ITU-T G.703 pro 2,048 kbit/s.

Impulsová maska vypovídá o kvalitě PCM signálu, jak amplitudově, tak i frekvenčně. Parametry se ovšem mění v čase a vykreslení na analyzátoru trvá 12 sekund. Měření stability signálu, které jsme provedli, je popsáno v kapitole 3.3. [2]



Obr. 14 : Vykreslení imp. masky na analyzátoru.

### 3.6 Jitter signálu PCM dle ITU-T G.823.

Jitter v systémech PDH 2.048 kbit/s je posán v doporučení ITU-T G.823. Měření jsme provedli z lokality VŠB-TUO, moduly CEM na UK a na ČVUT jsme uvedli do stavu vzdálené testovací smyčky (loopback network).

```
loopback {local | network}
```

Měření bylo provedeno na 700Hz přímo z PBX, což bylo zvoleno především dle možností, které jsme měli a tato hodnota je rovněž uváděna v doporučení ITU-T G.823. Jitter je rychlé chvění signálu.

Dle ITU-T G.823 je maximálně povolená hodnota v pásmu 20Hz až 100KHz 1,5 UI. UI je jednotkový interval (Unit Interval), který má v případě 2048 Kbit/s hodnotu 488 ns. Maximálně povolená hodnota je tedy **732 ns**.

Spouštění testu se provádí příkazem TEST-TSU, viz. níže.

```
<TEST-TSU
UNIT = ?
UNIT          : SYSTEM UNIT TO TEST
CHARACTERISTIC : REQUIRED          CONDITIONAL
POSSIBLE VALUES : LINE          SIMPLE LINE CHECK ON SLMA BOARDS
                  CONWADP        CONNECTION BETWEEN WAML BOARD AND ADP
```



```
CSNHW      CSN - HIGHWAY
SPHW       SPEECH HIGHWAY
CONF       CONFERENCE BOARD
SIU        SIGNALLING UNIT (STANDARD)
CCTPATH    CIRCUIT USING DEF. HWY/TSL TO REL. HALF

PATH CON

CCT        CIRCUIT (DIGITAL / ANALOG)
JITTERLP   FOR JITTER MEASUREMENTS ON DIUS2, DIUS7,

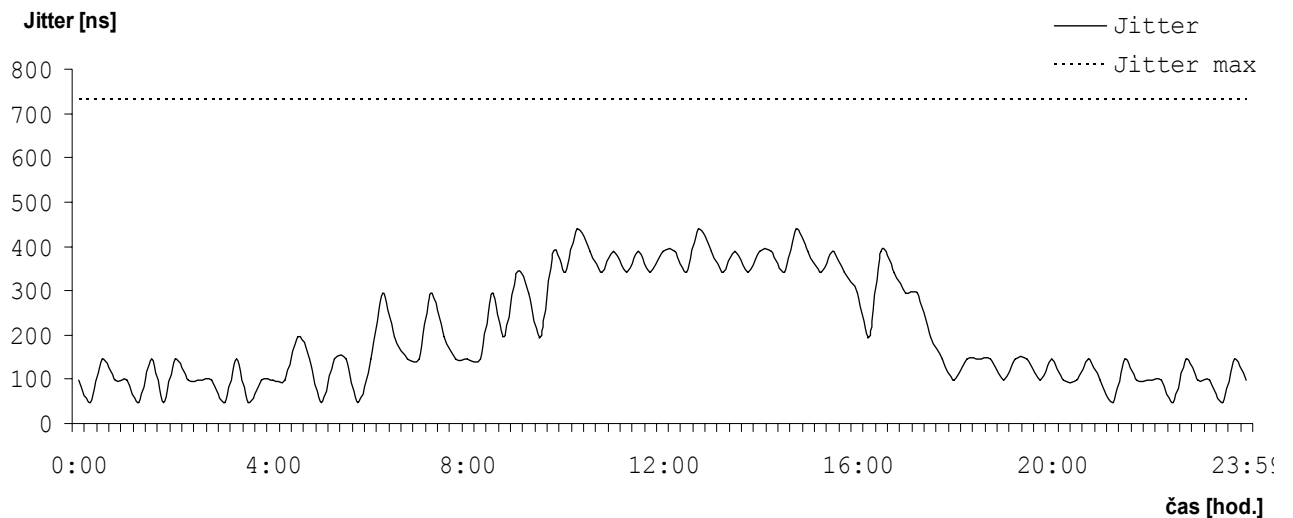
SLMN (E1

MDL        MODULE (IN LTU-SHELF)
LTU        LINE TRUNK UNIT
CLTG       CENTRAL PARTS OF LTG
CC         COMMON CONTROL
LTG        LINE TRUNK GROUP
CSNLTG     CONNECTION BETWEEN 2 LTGS

CONTINUE ? (Y/N)
Y
POSSIBLE VALUES : PCMLINE      PCM-LINE
                   T  ONE TERMINAL OR (LOOPBACK=4) ALL T. AT THE CIRCUIT

UNIT = JITTERLP
LTG = 1
LTU = 1
SLOT = 79
CCT = 0;
```

Do grafu jsou vyneseny naměřené maximální hodnoty pro jitter na PBX v Ostravě. Připravili jsme dávku s testem, který se autonomně spouští v 15-ti minutových intervalech a výsledky zapisoval do souboru. Na níže uvedeném obrázku je zachyceno měření mezi lokalitami VŠB-TU a ČVUT.



Obr. Průběh pro jitter mezi VŠB-TU a ČVUT.

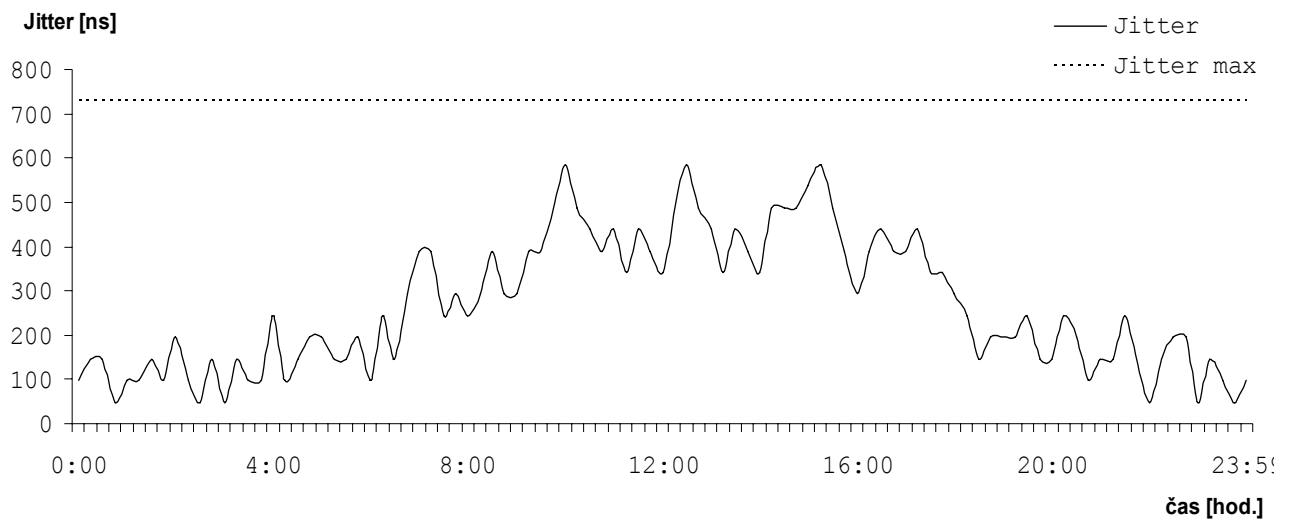
Maximální jitter byl naměřen v testech spuštěných v časech 10:15, 12:45 a 14:45 hod., měl hodnotu

**439 ns.**



Tato hodnota nepřekračuje maximálně dovolenou hodnotu dle ITU-T G.823.

Další měření proběhlo mezi lokalitami VŠB-TU a UK, které je zachyceno na dalším obrázku.



Obr. Průběh pro jitter mezi VŠB-TU a UK.

Maximální jitter byl naměřen v testech spuštěných v časech 10:00, 12:30 a 15:15 hod., měl hodnotu

**586 ns.**

Tato hodnota nepřekračuje maximálně dovolenou hodnotu dle ITU-T G.823. [6]



## 4 Konfigurace směrovačů v lokalitách

V následujících třech podkapitolách je uvedena konfigurace směrovačů s CEM moduly na všech třech lokalitách, na VŠB-TU a ČVUT byla použita SW verze 12.4, na UK verze 12.3., na funkčnost tunelování G.703 to vliv nemělo. [9]

### 4.1 Konfigurace na VŠB-TU v Ostravě

IP 195.113.113.134:

```
c2851_OV#sh run
Building configuration...

Current configuration : 4741 bytes
!
! NVRAM config last updated at 14:14:35 MET-DST Sun Aug 14 2005
by auto
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec localtime show-timezone
service timestamps log datetime msec localtime show-timezone
service password-encryption
!
hostname c2851_OV
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
card type e1 1
logging buffered 100000 debugging
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
clock timezone MET 1
clock summer-time MET-DST recurring last Sun Mar 2:00 last Sun
Oct 2:00
ip subnet-zero
!
!
ip cef
!
voice-card 0
no dspfarm
!
!
controller E1 1/0
cem-group 0 timeslots 1-31
clock source internal
```



```
    loopback network
    !
controller E1 1/1
    cem-group 1 timeslots 1-31
    clock source internal
    loopback network
    !
controller E1 1/2
    cem-group 2 timeslots 1-31
    clock source internal
    loopback network
    !
controller E1 1/3
    cem-group 3 timeslots 1-31
    clock source internal
    loopback network
    !
cem 1/0/0
    dejitter-buffer 80
    xconnect 147.32.2.252 0 encapsulation udp
    local ip addr 195.113.113.134
    local udp port 15901
    remote udp port 15900
    !
cem 1/1/1
    dejitter-buffer 80
    xconnect 147.32.2.252 0 encapsulation udp
    local ip addr 195.113.113.134
    local udp port 15903
    remote udp port 15902
    !
cem 1/2/2
    xconnect 195.113.37.1 0 encapsulation udp
    local ip addr 195.113.113.134
    local udp port 15905
    remote udp port 15904
    !
cem 1/3/3
    shutdown
    xconnect 147.32.2.252 0 encapsulation udp
    local ip addr 195.113.113.134
    local udp port 15907
    remote udp port 15906
    !
    !
    !
interface GigabitEthernet0/0
    description osanet
    ip address 195.113.113.134 255.255.255.224
    duplex auto
    speed auto
    !
interface GigabitEthernet0/1
```





```
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
ip classless
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 195.113.113.129
!
!
scheduler allocate 20000 1000
ntp clock-period 17179918
ntp server 195.113.144.201
!
end
```

## 4.2 Konfigurace na ČVUT v Praze

IP147.32.2.252

```
c2851_ de-vc-ces #sh run
Building configuration...
```

```
Current configuration : 8896 bytes
!
! Last configuration change at 15:18:23 MET Thu Dec 1 2005 by
mn
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec localtime show-timezone
service timestamps log datetime msec localtime show-timezone
service password-encryption
!
hostname de-vc-ces
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
card type e1 1
logging buffered 100000 debugging
!
aaa new-model
!
resource policy
!
clock timezone MET 1
clock summer-time MET-DST recurring last Sun Mar 2:00 last Sun
Oct 2:00
network-clock-participate wic 0
network-clock-select 1 E1 0/0/0
!
!
```



```
ip cef
!
!
ip domain name net.cvut.cz
ip name-server 147.32.1.9
ip name-server 147.32.1.20
!
isdn switch-type primary-net5
!
voice-card 0
  no dspfarm
!
controller E1 0/0/0
  pri-group timeslots 1-31
!
controller E1 0/0/1
  pri-group timeslots 1-31
!
controller E1 1/0
  cem-group 0 timeslots 1-31
!
controller E1 1/1
  cem-group 1 timeslots 1-31
!
controller E1 1/2
  cem-group 2 timeslots 1-31
  loopback network
!
controller E1 1/3
  cem-group 3 timeslots 1-31
  loopback network
!
cem 1/0/0
xconnect 195.113.113.134 0 encapsulation udp
  local ip addr 147.32.2.252
  local udp port 15900
  remote udp port 15901
!
cem 1/1/1
xconnect 195.113.113.134 0 encapsulation udp
  local ip addr 147.32.2.252
  local udp port 15902
  remote udp port 15903
!
cem 1/2/2
shutdown
!
cem 1/3/3
xconnect 195.113.37.1 0 encapsulation udp
  local ip addr 147.32.2.252
  local udp port 15906
  remote udp port 15907
!
```



```
!  
interface GigabitEthernet0/1  
  no ip address  
  shutdown  
  duplex auto  
  speed auto  
!  
interface Serial0/0/0:15  
  no ip address  
  encapsulation hdlc  
  isdn switch-type primary-net5  
  isdn incoming-voice voice  
  no cdp enable  
!  
interface Serial0/0/1:15  
  no ip address  
  encapsulation hdlc  
  isdn switch-type primary-net5  
  isdn incoming-voice voice  
  no cdp enable  
!  
!  
voice-port 0/0/0:15  
!  
voice-port 0/0/1:15  
!  
!  
scheduler allocate 20000 1000  
ntp clock-period 17179793  
ntp server 195.113.144.201  
ntp server 147.32.2.249  
!  
end
```

### 4.3 Konfigurace na UK v Praze

```
c2851_gwr-pedf #sh run  
  
Current configuration : 2105 bytes  
!  
! No configuration change since last restart  
!  
version 12.3  
service timestamps debug datetime msec localtime show-timezone  
service timestamps log datetime msec localtime show-timezone  
service password-encryption  
!  
hostname gwr-pedf  
!  
boot-start-marker
```



```
boot-end-marker
!
card type e1 1
logging buffered 100000 debugging
!
!
ip cef
!
!
ip domain name pedf.cuni.cz
ip name-server 147.32.1.20
no ftp-server write-enable
!
controller E1 1/0
  cem-group 0 timeslots 1-31
  loopback network
!
controller E1 1/1
  cem-group 1 timeslots 1-31
  loopback network
!
controller E1 1/2
  cem-group 2 timeslots 1-31
  loopback network
!
controller E1 1/3
  cem-group 3 timeslots 1-31
  loopback network
!
cem 1/0/0
!
cem 1/1/1
!
cem 1/2/2
xconnect 195.113.113.134 0 encapsulation udp
  local ip addr 195.113.37.1
  local udp port 15904
  remote udp port 15905
!
cem 1/3/3
xconnect 147.32.2.252 0 encapsulation udp
  local ip addr 195.113.37.1
  local udp port 15907
  remote udp port 15906
!
!
!
interface GigabitEthernet0/0
  ip address 195.113.37.1 255.255.254.0
  duplex auto
  speed auto
!
interface GigabitEthernet0/1
```



```
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
ip classless
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 195.113.36.1
!
snmp-server engineID local 1425685479562244
snmp-server community <removed> RO
snmp-server location R.1.1
snmp-server enable traps tty
!
!
control-plane
!

!
scheduler allocate 20000 1000
ntp clock-period 17180214
ntp server 195.113.144.201
!
end
```



## 5 Závěr

Při řešení projektu bylo provedeno propojení PBX třech lokalit přes E1, byly provedeny testy a měření tunelované G.703, průběh a výsledek testů je uveden v kapitolách technické zprávy o rozsahu 32 stran zveřejněné na <http://homel.vsb.cz/~voz29/publikace> pod označení *voz\_77: Tunelování E1 přes síť CESNET2*. Konkrétně se jedná o:

- test ztráty konektivity, L1 a L2, popsán v kapitole 3.1,
- test sestavení spojení na L3, popsán v kapitole 3.2,
- měření jmenovité přenosové rychlosti, popsáno v kapitole 3.3,
- měření chybovosti dle ITU-T G.826, popsáno v kapitole 3.4,
- měření impulsové masky signálu, popsáno v kapitole 3.5,
- a měření chvění (jitter) signálu PCM dle ITU-T G.823, popsáno v kapitole 3.6.

Použité konfigurace prvků s CEM moduly na jednotlivých lokalitách jsou uvedeny v kapitole 4 výše uvedené technické zprávy. Zpráva vypovídá o možnosti realizovat propojení PBX lokalit přes síť CESNET2 pomocí tunelované G.703.

Během řešení projektu nebyly pozorovány žádné problémy se synchronizací PBX a jelikož stěžejním kvalitativním parametrem přenosu digitálního signálu je chybovost, provedeme na závěr krátký rozbor zjištěné chybovosti v kapitole 3.4. Doporučení ITU-T G.821 se zabývá chybovostí digitálního přenosu v digitálních sítích a je součástí koncepce ISDN, což znamená, že splnění parametrů garantuje funkčnost ISDN. Doporučení ITU-T G.821 vyžaduje pro přenos v ISDN sítích parametr:

- $SES < 0,2 \% AT$ ,
- $ES < 8 \% AT$ .

Přičemž ES (Errored Second) je chybná sekunda, SES (Severely Errored Second) je silně rušená sekunda a AT (Available Time) je čas provozuschopnosti, popsáno v kapitole 3.4 zprávy. Nejhorší parametry tunelované E1 byly naměřeny mezi lokalitami VŠB-TUv Ostravě a UK v Praze, viz. kapitola 3.4.:

```
Total Time:      86400
ES:              169
SES:             13
```

Z toho AT je 86231 sec., ES je potom **0,196 % AT** a SES je **0,015 % AT**, což s velkou rezervou splňuje nároky ITU-T G.821. Závěrem lze konstatovat, že pro garanci propojení dvou lokalit v rámci sítě CESNET2 by bylo nutné provést proměření mezi danými konkrétními lokalitami, byť řešení tohoto projektu evidentně prokazuje funkčnost v rámci třech konkrétních institucí. Lze ovšem s vysokou pravděpodobností předpokládat obecnou funkčnost tunelování G.703 mezi členy sdružení. Možnost tunelování G.703 pře síť CESNET2 byla zveřejněna <http://www.cesnet.cz/doc/seminare/20051115/> v listopadu 2005 v rámci semináře IP telefonie .



## 6 Seznam použité literatury

- [1] CLARK, M. : NETWORKS AND TELECOMMUNICATIONS, DESIGN AND OPERATION, WILEY, ENGLAND 1999, ISBN 0 47197346 7
- [2] ITU-T G.703, PHYSICAL/ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF HIERARCHICAL DIGITAL INTERFACES, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, GENEVA 1991
- [3] ITU-T G.704, SYNCHRONOUS FRAME STRUCTURES USED AT PRIMARY AND SECONDARY HIERARCHICAL LEVELS, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, GENEVA 1991
- [4] ITU-T G.706, FRAME ALIGNMENT AND CYCLIC REDUNDANCY CHECK (CRC) PROCEDURES RELATING TO BASIC FRAME STRUCTURES DEFINED IN RECOMMENDATION G.704, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, GENEVA 1991
- [5] ITU-T G.821, ERROR PERFORMANCE OF AN INTERNATIONAL DIGITAL CONNECTION OPERATING AT A BIT RATE BELOW THE PRIMARY RATE AND FORMING PART OF INTEGRATED SERVICES DIGITAL NETWORK, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, GENEVA 1996
- [6] ITU-T G.823, THE CONTROL OF JITTER AND WANDER WITHIN DIGITAL NETWORKS WHICH ARE BASED ON THE 2048 kbit/s HIERARCHY, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, GENEVA 1993
- [7] ITU-T G.826, ERROR PERFORMANCE PARAMETERS AND OBJECTIVES FOR INTERNATIONAL CONSTANT BIT RATE DIGITAL PATHS AT OR ABOVE THE PRIMARY RATE, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, GENEVA 1996
- [8] TECHNICAL NOTE 1, PULSE CODE MODULATION, GN ELMI AS, BRONDBY DENMARK 1994
- [9] CIRCUIT EMULATION OVER IP NETWORK MODULES, <http://www.cisco.com>