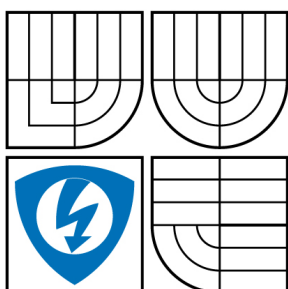




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ANALÝZA CHYB V TRANSPORTNÍM TOKU MPEG-2 TS PŘI PŘENOSU DTV

ERROR ANALYSIS IN MEASUREMENTS ON THE MPEG-2 TS DIGITAL TV TRANSMISION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

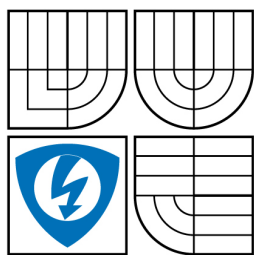
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN CHROBÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. TOMÁŠ KRATOCHVÍL, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jan Chrobák

ID: 88746

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Analýza chyb v transportním toku MPEG-2 TS při přenosu DTV

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s metodikou monitorování transportního toku MPEG-2 TS při přenosu digitální televize podle normy ETSI TR 101 290. Dále se seznamte s obsluhou měřicího dekodéru R&S DVMD MPEG-2 a programu R&S Stream Explorer pro hloubkovou analýzu transportního toku.

Vyhodnoťte výsledky monitorování transportního toku (tabulky, servisní informace, statistiku chyb apod.) pro datový tok generovaný z laboratorního vysílání a reálného vysílání (DVB-S paket CS link, DVB-T síť 1 a 2). Vytvořte krátký záznam obou typů vysílání a analyzujte chyby vzniklé při přenosu transportního toku reálným vysíláním programem Stream Explorer.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FISCHER, W. Digital Television. A practical Guide for Engineers. New York: Springer, 2004.
- [2] LEGÍŇ, M. Televizní technika DVB-T. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 286 s. ISBN 80-7300-204-3
- [3] ETSI TR 101 290 v1.2.1 (2001-05). Technical report. Digital Video broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems. ETSI, 2001.
- [4] ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-01). European Standard. Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial TV. European Broadcasting Union, 2001.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práve třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce pojednává o monitorování a měření počtu chyb v transportním toku MPEG-2 TS při příjmu vysílání digitální televize podle standardu DVB. V práci jsou na úvod popsány definice a standardy DVB pro přenos transportního toku včetně jeho synchronizace, podmínek pro dekódování a tabulek servisních informací. K experimentálnímu měření v laboratoři byl využit měřicí dekodér R&S DVMD, který umožňuje dlouhodobé monitorování a automatizované vyhodnocení chyb jednotlivých priorit. Zpracované výsledky měření při příjmu vysílání DVB-T a multiplexu 1 a 2 a DVB-S a tzv. paketu CS link jsou rovněž součástí práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

DVB, Pozemní vysílání, MPEG-2 TS, Multiplex, Transportní tok, Servisní informace, Chyby priorit

ABSTRACT

This essay shows up the monitoring and error measuring in transportation stream MPEG-2 TS during the digital TV broadcast receiving accordingly to the DVB standard. There are DVB definitions and standards for transportation stream transmission, decoding conditions and service informations chart described in the introduction of this essay. The measuring decoder R&S DVMD has been used for experimental measuring in the laboratory. This decoder enables long-time monitoring and automatized errors evaluation of particular priorities. The processed results of DVB-T multiplex 1 and 2 and DVB-S, paket CS link, TV broadcast receiving are the part of this essay as well.

KEYWORDS

DVB, Terrestrial transmitter, MPEG-2 TS, Multiplex, Transport stream, Service information, Priority error

Chrobák, J. Analýza chyb v transportním toku MPEG-2 TS při přenosu DTV. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2009. 61 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Analýza chyb v transportním toku MPEG-2 TS při přenosu DTV jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	vi
Seznam tabulek	viii
1 Úvod do Digitálního TV vysílání	1
1.1 Definice a standardy	1
1.1.1 MPEG-2	1
1.1.2 DVB	2
1.2 Přenos Digitální TV	2
1.3 MPEG-2 přenosové systémy	2
1.3.1 Transportní tok, synchronizace a paket identifikátory	3
1.3.2 Popis transportního toku	4
1.3.3 TV program	5
1.3.4 Dekódování	6
1.3.5 Synchronizace programu	6
1.3.6 Servisní informace	7
2 Popis měřicích funkcí	10
2.1 Části Transportního toku	10
2.2 Přehled všech měřicích funkcí	11
2.3 TS_Sync_Loss - chyba 1.priority	11
2.4 Sync_byte_error - chyba 1.priority	11
2.5 PAT_error - chyba 1.priority	12
2.6 PMT_error - chyba 1.priority	12
2.7 Continuity_count_error - chyba 1.priority	12
2.8 PID_error - chyba 1.priority	13
2.9 Transport_error - chyba 2.priority	13
2.10 CRC_error - chyba 2.priority	14
2.11 PCR_error, PCR_accuracy_error - chyba 2.priority	14
2.12 PTS_error - chyba 2.priority	15
2.13 CAT_error - chyba 2.priority	15
2.14 SI_repetetion_error - chyba 3.priority	16

2.15	NIT, SDT, EIT, RST a TDT_error- chyba 3.priority	16
2.16	Unreferenced PID - chyba 3.priority	17
2.17	Datarate_error	17
2.18	Multiplex_error	17
2.19	SI_OTHER_ERROR	18
2.20	NIT_OTHER_error, SDT_OTHER_error, EIT_OTHER_error.....	18
2.21	MIP_error.....	19
2.21.1	MIP_structrure_error	21
2.21.2	MIP_presence_error	21
2.21.3	MIP_pointed_error	21
2.21.4	MIP_periodicity_error	22
2.21.5	MIP_ts_rate_error	22
3	Vyhodnocení naměřených hodnot	23
3.1	Postup měření	23
3.2	Multiplex 1	24
3.3	Multiplex 2	34
3.4	CSLink	43
3.5	Datové toky	49
4	Závěr	59
5	Literatura	59
6	Seznam zkratk, symbolů a příloh	60

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Možný přenos digitální TV	2
Obr. 2: Demultiplexing MPEG-2 v televizní technice	3
Obr. 3: Paket transportního toku.....	4
Obr. 4: PAT a PMT tabulky transportního toku	5
Obr. 5: Záhlaví tabulky PES transportního toku.....	6
Obr. 6: Adaptační pole transportního toku	6
Obr. 7: CAT tabulka	7
Obr. 8: PMT tabulka	8
Obr. 9: PAT tabulka.....	8
Obr. 10: Transportní tok	10
Obr. 11: SFN síť v televizní technice	19
Obr. 12: Přehled parametrů Mega-frame Initialization Packet (MIP)	20
Obr. 13: Synchronization Time Stamp Mega-frame Initialization Packet (MIP).....	20
Obr. 14: Schéma zapojení měřící sestavy	23
Obr. 15: Počet chyb 1.priority za hodinu.....	25
Obr. 16: Počet chyb 2.priority za hodinu.....	26
Obr. 17: Počet chyb 3.priority za hodinu.....	26
Obr. 18: Rozložení chyb podle počtu	28
Obr. 19: Rozložení chyb 1.priority podle počtu	28
Obr. 20: Rozložení chyb 2.priority podle počtu	29
Obr. 21: Rozložení chyb 3.priority podle počtu	29
Obr. 22: Ztráta synchronizace v čase.....	31
Obr. 23: Ztráta synchronizace mezi 15:00 a 16:00 hodin.....	33
Obr. 24: Četnost chyb	35
Obr. 25: Rozložení chyb 1.priority podle počtu	36
Obr. 26: Rozložení chyb 2.priority podle počtu	36
Obr. 27: Rozložení chyb 3.priority podle počtu	37
Obr. 28: Vybrané chyby v čase.....	41
Obr. 29: Chyby multiplexu 2 v čase s chybami 1.priority	41
Obr. 30: Chyby multiplexu 2 v čase s chybami 2.priority	42

Obr. 31: Chyby multiplexu 2 v čase s chybami 3.priority	42
Obr. 32: Rozložení chyb podle počtu	44
Obr. 33: Rozložení chyb 1.priority podle počtu	45
Obr. 34: Rozložení chyb 2.priority podle počtu	45
Obr. 35: Rozložení chyb 3.priority podle počtu	46
Obr. 36: Počet všech chyb a počet chyb 1.priority v čase	47
Obr. 37: Počet všech chyb a počet chyb 2.priority v čase	47
Obr. 38: Počet všech chyb a počet chyb 3.priority v čase	48
Obr. 39: Počet všech chyb a počet chyb vybraných chyb v čase.....	48

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Modulační metody používané v Televizní technice	1
Tab. 2: Hlavní části standardu MPEG-2	1
Tab. 3: PID a Table_ID pro PSI/SI/PSIP	9
Tab. 4: Počet opakování pro servisních informací	16
Tab. 5: Přehled servisních informací v DVB	16
Tab. 6: Hodnoty opakování ostatních servisních informací	18
Tab. 7: Doplnující intervaly pro servisní informace	18
Tab. 8: Zkrácená tabulka naměřených hodnot	24
Tab. 9: Počet chyb za hodinu	25
Tab. 10: Rozložení chyb dle počtu	27
Tab. 11: Ztráta synchronizace v čase	30
Tab. 12: Ztráta synchronizace mezi 15:00 a 16:00 hodin	32
Tab. 13: Zkrácená tabulka naměřených hodnot	34
Tab. 14: Četnost chyb	35
Tab. 15: Četnost chyb 1.priority v čase	38
Tab. 16: Četnost chyb 2.priority v čase	39
Tab. 17: Četnost chyb 3.priority v čase	40
Tab. 18: Zkrácená tabulka naměřených hodnot satelitního vysílání	43
Tab. 19: Četnost chyb	44
Tab. 20: Počet chyb v čase	46
Tab. 21: Souhrnné datové toky 1.multiplexu	50
Tab. 22: Souhrnné datové toky 2.multiplexu	51
Tab. 23: Souhrnné datové toky satelitního vysílání	52
Tab. 24: Rozšířená tabulka TS o detaily PSI/SI 1.multiplexu	53
Tab. 25: Rozšířená tabulka TS o detaily PSI/SI 2.multiplexu	54
Tab. 26: Rozšířená tabulka TS vybraných programů o detaily PSI/SI satelitního vysílání	55
Tab. 27: Přehled datových toků programů ČT2, ČT24, ČT4, radií Český rozhlas1 a 2 1.multiplexu	56
Tab. 28: Přehled datových toků programů Nova, Prima, Barrandov a Nova Cinema 2.multiplexu	57

Tab. 29: Přehled datových toků programů Prima, ČT1 a ČT2 satelitního vysílání.....	58
--	----

1 Úvod do Digitálního TV vysílání

1.1 Definice a standardy

Digitální TV vysílání je v podstatě rozděleno do dvou částí:

a) Zdrojové kódování a multiplexing

Nejdříve je zredukován objem dat obrazu a zvuku. Dále je zkomprimován datový tok a přidají se další data jako je teletext do jednoho multiplexu. Požadované metody jsou definovány MPEG-2 standardem (viz kap. 1.1.1). Dodatková data jsou integrována do multiplexu a jsou definována Evropským DVB standardem (viz kap. 1.1.2). V Severní Americe je to ATSC standard.

b) Kanálové kódování a přenos

Přenos komprimovaných dat téměř bezztrátově vyžaduje vysokou přenosovou kvalitu s téměř bezchybným přenosem pro stoprocentní dekódování. Proto se provádí kanálové kódování před digitální modulací. Počet chyb tak může být redukován při dekódování. Metody pro kanálové kódování a přenos jsou popsány v DVB a ATSC standardech.

Reed-Solomonovo kódování je dostatečné pro kabelový přenos, avšak pro pozemní a satelitní přenos je požadována konvoluce tohoto signálu pro redukci počtu chyb.

Pro různé typy vysílání se používají různé modulace (viz Tab. 1).

Tab. 1: Modulační metody používané v Televizní technice (převzato z [3])

vysílání	DVB	ATSC
satelitní	QPSK	---
kabelové	QAM (16/64/256)	16 VSB (4VSB/8VSB)
pozemní	OFDM (2k/8k)	8 VSB

1.1.1 MPEG-2

MPEG zkratka znamená Moving Picture Experts Group. Tento standart pracuje s kódováním videa a zvuku. MPEG-2 (ISO/IEC 13818) definuje související standard popisující kompresi videa a zvuku jako multiplex datového toku. Existují také další MPG standardy jako MPEG-1 pro záznam videa na CD a MPEG-4 pro úzkopásmové vysílání. MPEG-3 standard určený pro HD TV se nakonec stal částí MPEG-2 (viz Tab. 2).

Tab. 2: Hlavní části standardu MPEG-2 (převzato z [5])

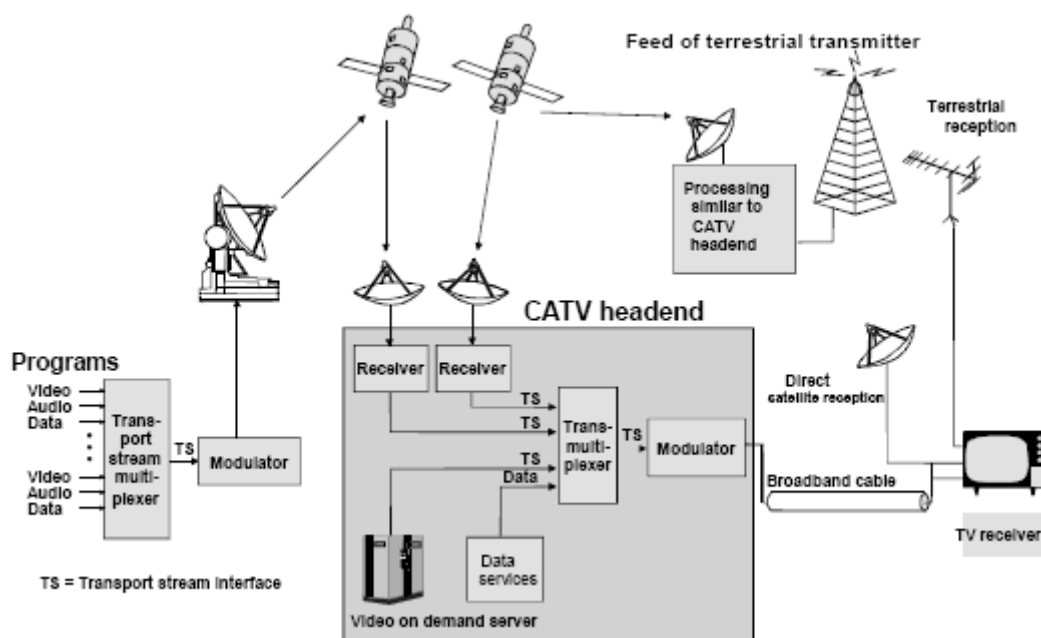
Část 1 / Systém	ISO/IEC 13818-1	Multiplexování několika komprimovaných video a zvukových toků a také toku dodatečných dat do jednoho transportního multiplexu
Část 2 / Video	ISO/IEC 13818-2	Kompresi video dat
Část 3 / Audio	ISO/IEC 13818-3	Kompresi audio dat
Část 4 / Ověření	ISO/IEC 13818-4	Testovací procedura pro komprimované toky

1.1.2 DVB

Evropský standard DVB (Digital Video Broadcasting) obsahuje spoustu dalších standardů a dokumentů stanovených ETSI / CENELEC, jako je například přenos servisních informací.

1.2 Přenos Digitální TV

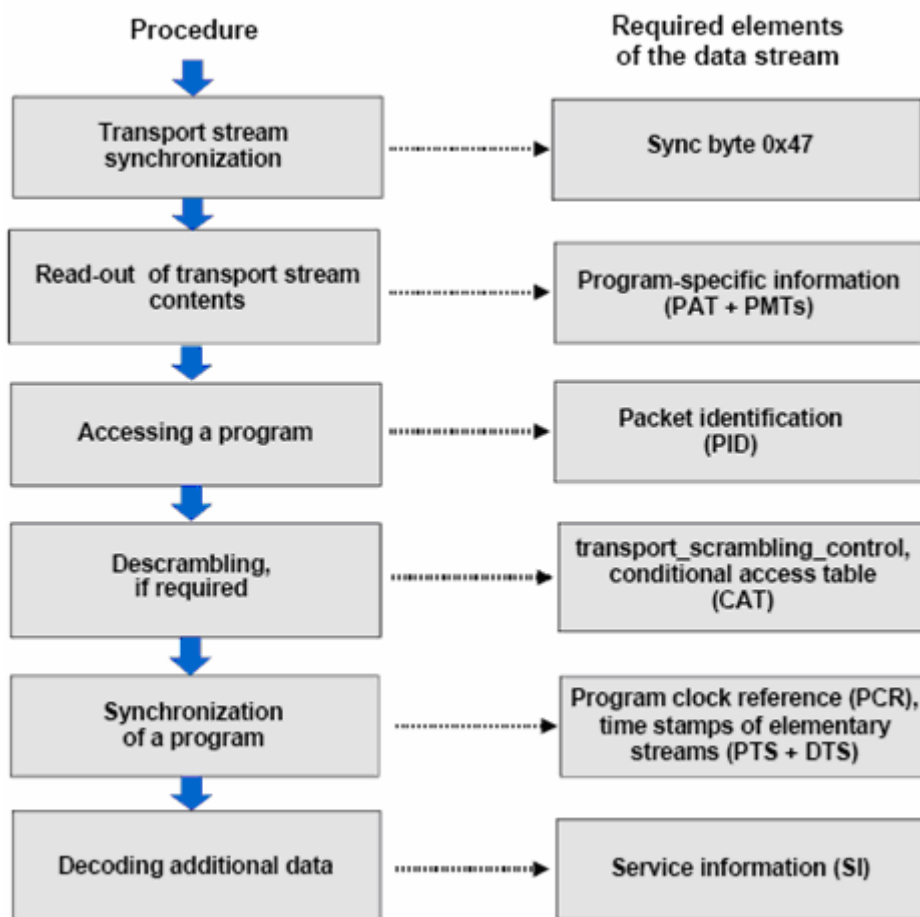
Obrázek zobrazuje možný scénář přenosu digitální TV (viz Obr. 1). Jednotlivé datové toky jako obraz, zvuk a data jsou multiplexovány do transportního toku TS. Ten je modulován a přes družice vysílán do CATV odbavovacího pracoviště. Zde je několik těchto transportních toků dále multiplexováno do jednoho transportního toku TS. Ten je pak modulován a vysílán dále k televiznímu přijímači pomocí kabelové, pozemní nebo družicové sítě.



Obr. 1: Možný přenos digitální TV (převzato z [5])

1.3 MPEG-2 přenosové systémy

Zde je uveden popis struktury transportního toku, jeho demultiplexace. Popis začíná dekódovací procedurou. Jednotlivé kroky požadované pro dekódování programu jsou uvedeny a vysvětleny v obrázku (viz Obr.2).



Obr. 2: Demultiplexing MPEG-2 v televizní technice (převzato z [5])

1.3.1 Transportní tok, synchronizace a paket identifikátory

Jako multiplexový transportní tok musí přijímat data z různých toků. Počátek nového paketu je označen pomocí sync_byte (47hex). Pakety transportního toku mají pevnou délku 188 bytů. Hodnota 47hex není exkluzivně vyhrazena pro začátek paketu, nebo ne vždy označuje nový paket.

Pro stabilní synchronizaci je nutné kontrolovat opakující se sync_byte v 188bytovém intervalu. Hysterézní parametry definují jak často se má hodnota 47hex objevit v 188bytových intervalech pro paketovou synchronizaci, aby byl paket uznán, nebo aby byl paket považován za ztracený.

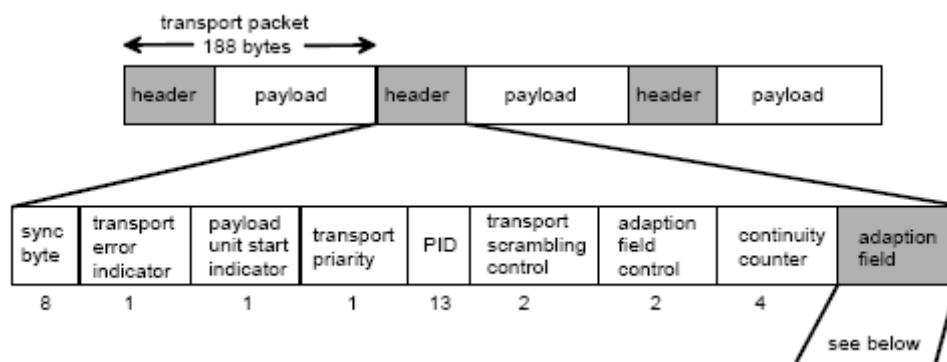
Sync_byte také může být 204 bytů. V tomto případě je posledních 16 bytů z originálního datového toku – Reed-Solomon - oprava chyb. Kanálové dekódování již obsahuje opravu chyb, proto není nutné tyto byty přenášet.

Hlavička každého paketu TS má 4 byty. První byt je sync_byte. Pokud ne všechny bitové chyby způsobené přenosem mohou být eliminovány během kanálového dekódování, transportní indikátor chyb je zaznamenán v hlavičce paketu.

Důležitá informace pro identifikování paketu je PID (Packet IDentification). PID trvá 13 bitů. Může nabýt jednu z 8196 různých hodnot. PID je ve všech dílčích tocích jako video a zvuk. Některé PID jsou rezervovány, jako například 0x0000hex pro PAT, 0x0001hex pro CAT a 0x1FFF pro nulové pakety, které neobsahují žádná užitečná data, pouze doplňují pakety do potřebné délky.

1.3.2 Popis transportního toku

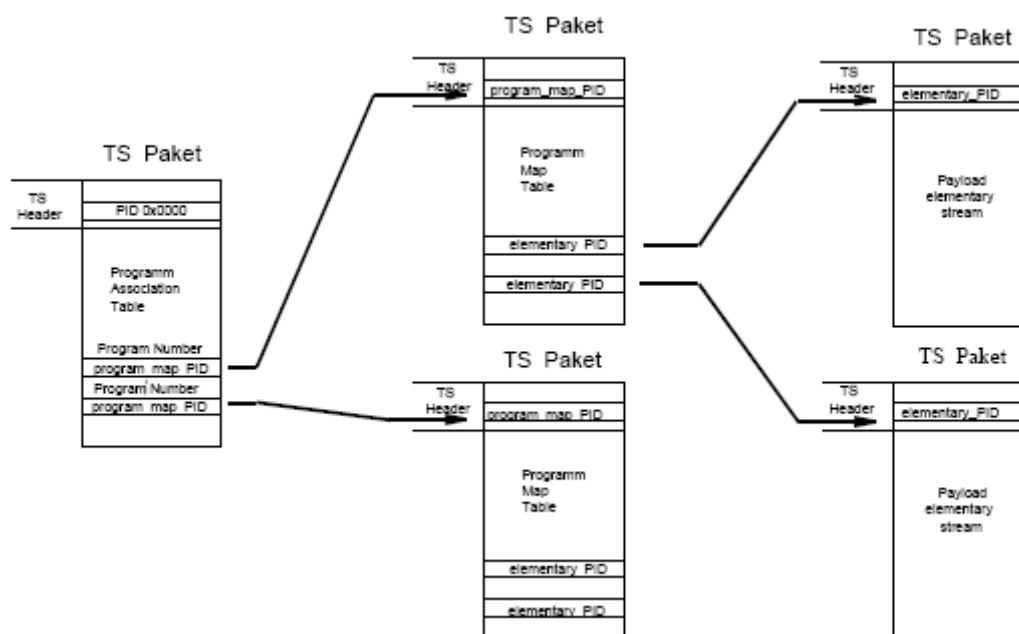
Transportní tok (viz Obr. 3) běžně obsahuje několik programů složených z několika toků. Obsah transportního toku je popsán v Program-Specific Information (PSI). Každý TS obsahuje Program Association Table (PAT), nebo také jeden či více Program Map Tables (PMTs).



Obr. 3: Paket transportního toku (převzato z [5])

PAT je obsažena v transportním toku s PID 0x0000. Přiřazuje všem programům číslo PID v Program Map Table.

Jednotlivé toky (video, zvuk, data) náležících do jednotlivých programů jsou popsány v PMT. PMT obsahuje jednu, nebo více sekcí, každá popisuje jeden program (viz Obr. 4).



Obr. 4: PAT a PMT tabulky transportního toku (převzato z [5])

1.3.3 TV program

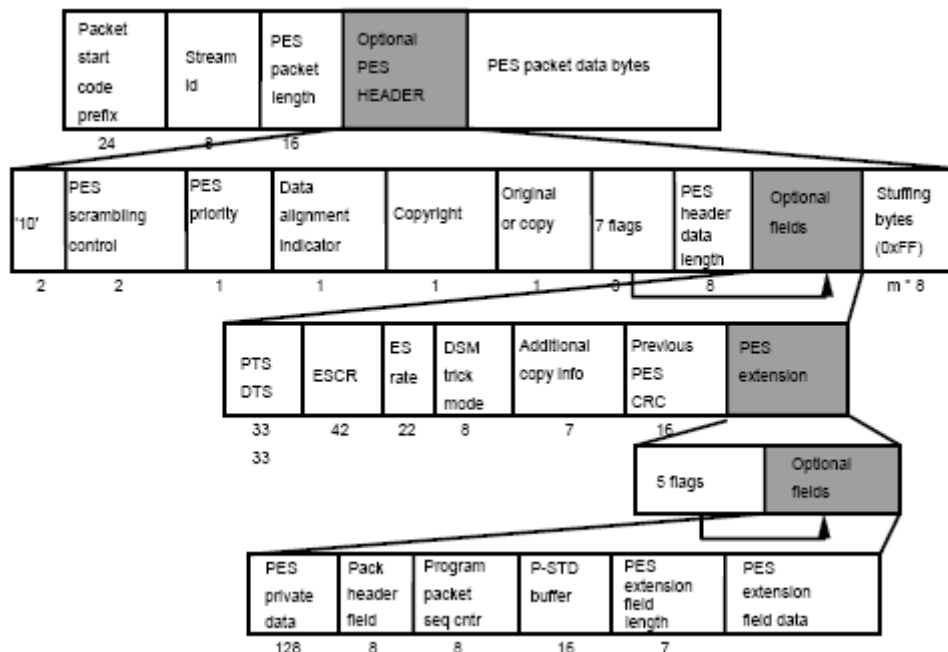
Program, který má být dekódován, může být vybrán na základě informací v transportním toku. Jestli že program obsahuje několik dílčích datových toků jako například několik audio toků, musí se zvolit jeden z nich. Pakety identifikované pomocí PID budou vybrány z multiplexu a dekódovány.

Analýzou čítače posloupnosti v záhlaví paketu můžeme kontrolovat jestli každý jednotlivý paket dorazil kompletní a ve správném pořadí. Čítač posloupnosti je reprezentován čtyřmi nejméně důležitými bity v záhlaví paketu (29. až 32 bit každého paketu). Hodnota 0-15 je zvyšována s každým novým paketem. 15 je následován nulou. Mohou nastat dva případy:

- Indikátor chyb je nastaven v poli přizpůsobení a tehdy čítač posloupnosti neobsahuje žádnou hodnotu.
- Paket byl odeslán dvakrát, tehdy se čítač posloupnosti nezvyšuje.

1.3.4 Dekódování

Přijatá data musí být dekodována. Máme dvě úrovně dekodování: Transportní tok TS a Packetized Elementary Stream PES (viz Obr. 5).

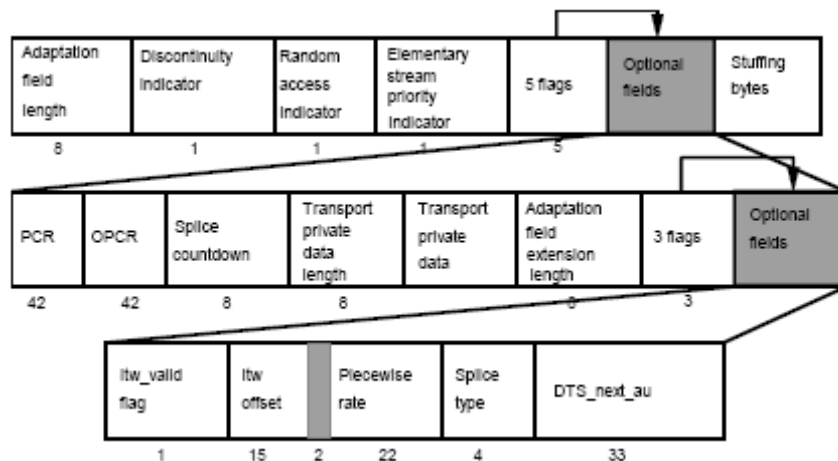


Obr. 5: Záhlaví tabulky PES transportního toku (převzato z [5])

Po demodulaci a opravě chyb přichází TS do dekodéru. Podle PID v záhlaví paketu jsou data rozdělena na video a zvuk zvoleného programu.

1.3.5 Synchronizace programu

Program běžně obsahuje několik různých dílčích toků (PID). Synchronizace je tedy potřeba pro různé datové toky. Proto je v každém programu zahrnut Program Clock Reference (PCR). Každých maximálně 40ms je záhlaví 4byty dlouhé rozšířeno Adaptačním polem (viz Obr. 6).



Obr. 6: Adaptační pole transportního toku (převzato z [5])

PCR hodnota (43bitů) odpovídá stavu čítače s 27MHz při příchodu prvního paketu s PCR hodnotou. Je použita v dekodéru pro kontrolu 27MHz systémového času PLL. Tato hodnota se kontroluje na konci multiplexování, tak i na konci demultiplexování.

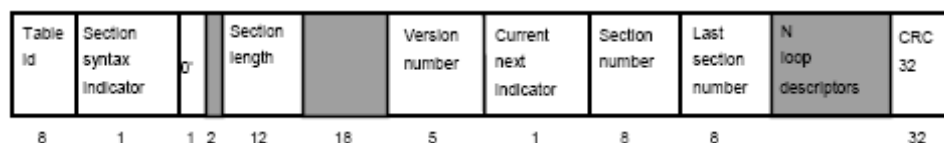
Tento individuální datový tok obsahuje časové značky jako jsou Decoding Time Stamps (DTS), které značí začátek dekódování paketu, a Presentation Time Stamps (PTS), jež udává, kdy se má paket číst z paměti, pro synchronizaci dekódování a zobrazení tohoto toku. PES jsou přenášeny v paketech delších než 64Kbyte a definují přesnou zobrazovací periodu, jako je snímek ve videu. Záhlaví také obsahuje DTS a PTS předcházející každému PES paketu.

Pokud jsou hodnota PTS a DTS shodné, přenáší se pouze PTS hodnota.

1.3.6 Servisní informace

Tabulka definovaná DVB standardem (dokument ETS 300 468) se nazývá Servisní informace. Tyto informace neslouží pouze pro dekódování, ale také obsahují informace pro uživatele, jako například informace o zvoleném programu.

V mnoha případech je PSI (Program-Specific Information) uváděno spolu s SI (Service Information). PSI je již definováno v MPEG-2 standardu a částečně obsahuje PAT (Program Association Table), PMT (Program Map Table), CAT (Conditional Access Table) a NIT (Network Information Table). NIT je používán pro nastavení přijímačů. CAT (viz Obr. 7) a NIT nejsou definovány MPEG-2 systémem ale DVB projektem.



Obr. 7: CAT tabulka (převzato z [5])

DVB Servisní informace

Tabulka definovaná DVB projektem obsahuje:

BAT (Bouquet Association Table) obsahuje informace o různých programech dodávaných bez ohledu na částech programů.

SDT (Service Description Table) popisuje nabídku programů.

EIT (Event Information Table) obsahuje data jako základní TV program nebo věkovou hranici přípustnosti filmu.

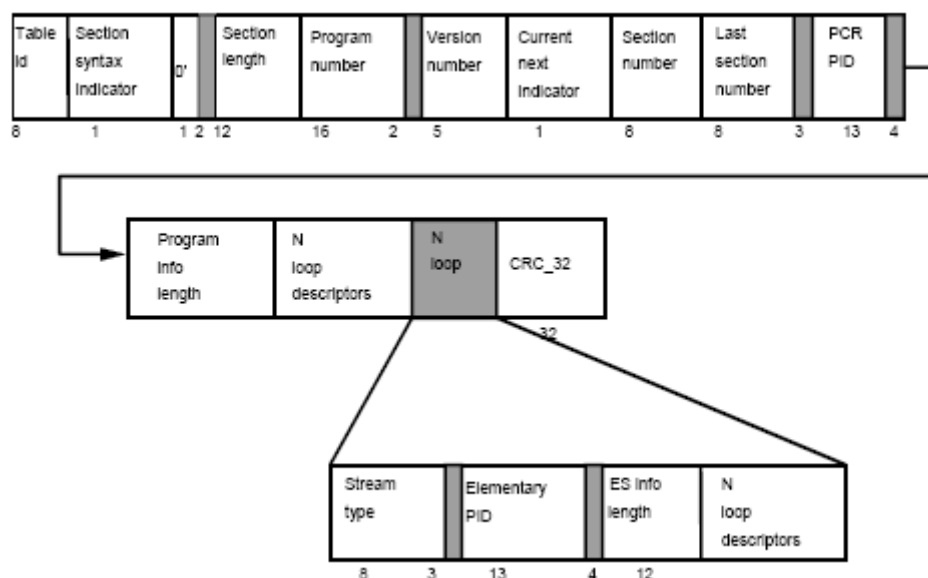
RST (Running Status Table) obsahuje informace vybraného programu a speciální informace pro nastavení video rekordéru.

TDT (Time and Date table) obsahuje aktuální čas a datum UTC.

TOT (Time Offset Table) udává rozdíl mezi UTC časem a místním časem.

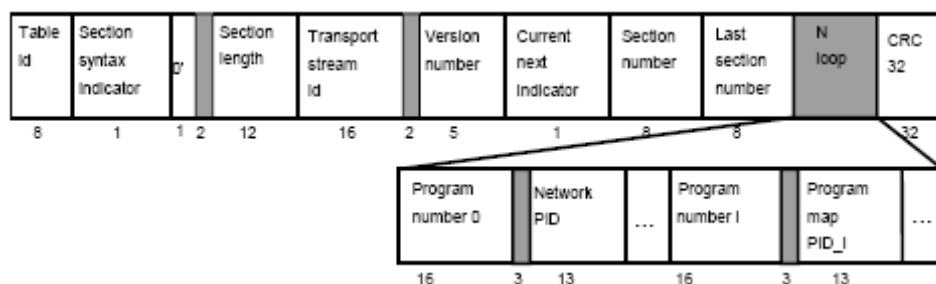
ST (Stuffing Table) nemá přesný obsah. Je generováno v případě, že některá tabulka byla přepsána během přenosu.

PID pro tabulky je pevně stanoven. Výjimkou je PMT (viz Obr. 8).



Obr. 8: PMT tabulka (převzato z [5])

PMT tabulka je určena podle PAT tabulky (viz Obr. 9).



Obr. 9: PAT tabulka (převzato z [5])

Každá tabulka má vlastní Table_ID, který je uveden na začátku tabulky. Tento identifikátor je nezbytný pro přenos tabulek s jedním PID. Vztah mezi tabulkami Table_ID a PID je určen normou (viz Tab. 3).

Tab. 3: PID a Table_ID pro PSI/SI/PSIP (převzato z [3])

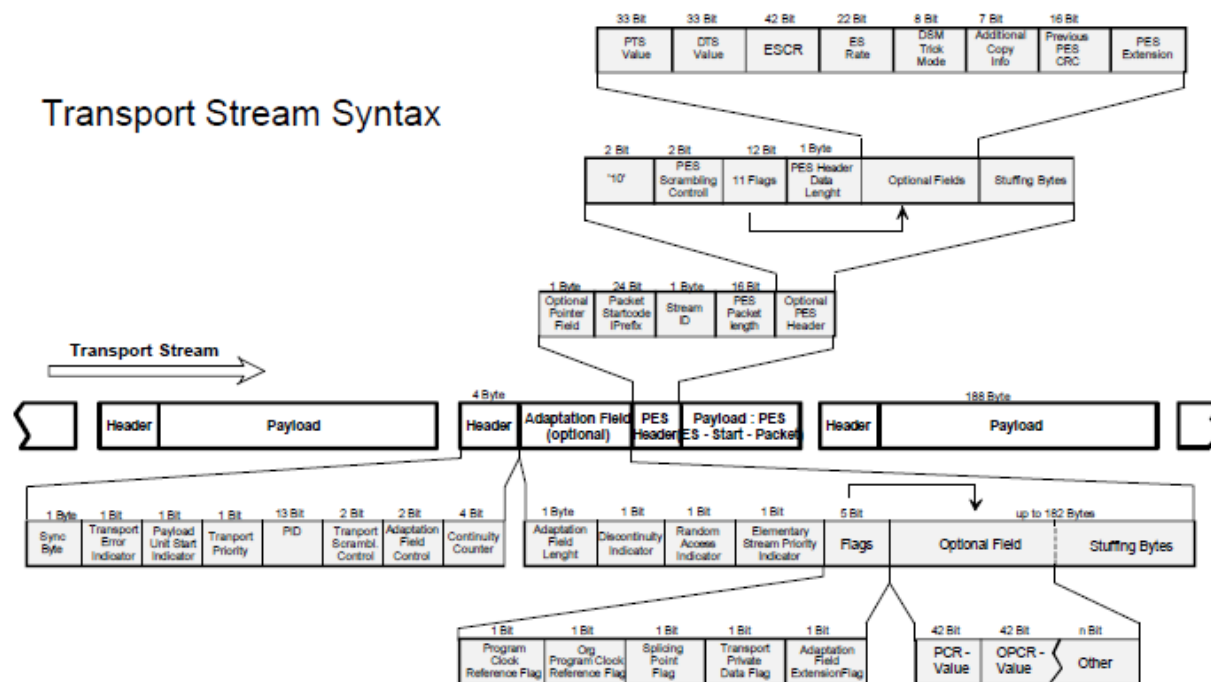
Tabulka	PID	Table_ID
PAT	0x0000	0x00
PMT	0x0020 ... 0x1FFA	0x02
CAT	0x0001	0x01
NIT	0x0010	0x40...0x41
BAT	0x0011	0x4A
SDT	0x0011	0x42, 0x46
EIT	0x0012	0x4E ... 0x6F
RST	0x0013	0x71
TDT	0x0014	0x70
TOT	0x0014	0x73
ST	0x0010 ... 0x0014	0x72
MIP	0x0015	---

2 Popis měřicích funkcí

V této části naleznete kompletní popis chyb, které můžeme měřit v MPEG-2 transportním toku. Všechny odpovídají standardu ETR290 (ETSI TR 101 290), ale nad něj jsou uvedeny také chyby, které nespecifikuje, ale jsou pro měření zajímavé jako jsou chyby nulových paketů (PID 0x1FFF), TS_ID (transport stream identity) a SI_OTHER tabulky.

2.1 Části Transportního toku

Tato část nám názorně ukáže základní strukturu transportního toku. Části transportního toku, které souvisí s monitorováním transportního toku (viz Obr. 10). Části jako je záhlaví paketu, adaptační pole nebo PES (Packetized Elementary Stream) jsou zobrazeny v detailech.



Obr. 10: Transportní tok (převzato z [5])

2.2 Přehled všech měřících funkcí

Měřící funkce DVMD přístroje plně odpovídají doporučením obsažených v DVB Measurement Guidelines (ETR 290) pro analýzu MPEG-2 transportního toku. Přístroj také umí měřit následující hodnoty z multiplexu datového toku:

- Přenosovou rychlost datového toku [Mbit/s]
- Přenosovou rychlost všech jednotlivých programů multiplexu datových toků [Mbit/s]
- Přenosovou rychlost jednotlivých toků programu z multiplexu datových toků [Mbit/s]
- Přenosovou rychlost nulových paketů
- Přenosovou rychlost PSI a SI tabulek

2.3 TS_Sync_Loss - chyba 1.priority

Každý paket datového toku je uveden záhlavím skládajícím se z čtyř bytů. První byte záhlaví je synchronizační byte (SyncByte), který obsahuje vždy hodnotu 0x47. V MPEG-2 dekodéru slouží SyncByte pro synchronizaci paketů transportního toku. DVB standart definuje synchronismus jako nejméně pět zachycených SyncByte v řadě MPEG-2 dekodérem. Synchronizace nebyla dosažena nebo byla ztracena, pokud není SyncByte v sekvenci po sobě jdoucích paketů zachycen nejméně třikrát. Tento stav se jmenuje TS_Sync_Loss. Tato synchronizační hystereze 5/3 je doporučena DVB standardem a je také nastavena v DVMD přístroji. Může však být změněna.

Podle DVB Measurement Guidelines (ETS 300 468) nastane chyba TS_Sync_Loss když:

- obsah synchronizačních bytů v sekvenci tří po sobě jdoucích TS paketech neobsahuje 0x47

2.4 Sync_byte_error - chyba 1.priority

Každý paket datového toku je uveden záhlavím skládajícím se z čtyř bytů. První byte záhlaví je synchronizační byte (SyncByte), který obsahuje vždy hodnotu 0x47. V MPEG-2 dekodéru slouží SyncByte pro synchronizaci paketů transportního toku. Pokud SyncByte chybí, nebo obsahuje chyby příliš často, dekodér nebude schopen synchronizovat transportní tok.

DVMD kontroluje SyncByte každého paketu v transportním toku.

Podle DVB Measurement Guidelines (ETS 300 468) nastane chyba Sync_byte_error když:

- obsah synchronizačního bytu v záhlaví paketu neodpovídá hexadecimální hodnotě 0x47

2.5 PAT_error - chyba 1.priority

Program Association Table (PAT) obsahuje seznam všech programových PID obsažených v transportním toku a v přidružených tabulkách PMTs (Program Map Tables), které obsahují detailní popis programu. PAT je tedy klíčový pro dekódování TV a audio programů. Pokud není PAT dostupné nebo obsahuje chyby, MPEG-2 dekodér nebude schopen dekódovat program z multiplexu transportního toku.

Struktura PAT je plně definována v MPEG-2 standardu (ISO/IEC 13818-1). PAT je přednostně přenášén v paketech s PID 0x0000. Tabulka může být rozdělena na několik sekcí (maximálně 256) s table_id začínající 0x00.

Podle DVB Measurement Guidelines (ETS 300 468) nastane chyba PAT_error když:

- PAT table_id neodpovídá hodnotě 0x00 (TABLE ID)
- PAT je přenášén v zašifrované formě (SCRAMBLED)
- Pakety PAT nejsou přenášeny nejméně každých 0,5 sekundy

2.6 PMT_error - chyba 1.priority

Program Map Table je tabulka pro detailní popis programu uvedená v PAT. Jako základní informace pro MPEG-2 dekodér obsahuje všechny PID paketů všech individuálních TV, audio a datových toků, stejně jako PID paketů sloužících pro přenos PCR hodnot náležících programu. Stejně jako PAT i PMT je klíčová pro dekódování TV a audio programů. Pokud PMT není dostupná nebo obsahuje chyby, MPEG-2 dekodér nebude schopen vybrat a dekódovat program z multiplexu datového toku.

Struktura PMT je plně definována v MPEG-2 standardu (ISO/IEC 13818-1). Na rozdíl od PAT, PMT obsahuje PID variabilní z rozsahu 0x0010 až 0x1FFE. Tabulky mohou být rozděleny na několik (maximum 256) částí s každou částí pro jeden program. Table_id každé části musí být 0x02.

Podle DVB Measurement Guidelines (ETS 300 468) nastane chyba PMT_error když:

- PMT table_id není 0x02 (TABLE ID)
- PMT je přenášén zakódovaný (SCRAMBLED)
- části PMT nejsou přenášeny nejméně každé 0,5 sekundy

2.7 Continuity_count_error - chyba 1.priority

Každý paket transportního toku začíná záhlavím. To obsahuje 4 byty. Čtvrtý byt obsahuje 4 bity, takzvaný čítač. Čítač musí být zvyšován o jedničku každý paket transportního toku se stejným PID. Čítač může obsahovat hodnoty 1 až 15 (čítač modulo-16). Tento čítač slouží TV nebo audio programu pro rozeznání, že nějaký paket chybí, nebo dorazil více než jednou.

Standard MPEG-2 také definuje nespojitý čítač, který se může nacházet v tomtéž paketu v adaptačním poli. Tato metoda je primárně určena pro potlačení chybových hlášení při

změně programu multiplexu transportního toku.

V případě nulových paketů (paketů nepřenášejících žádná užitečná data, ale obsahují PID 0x1FFF) není čítač kontrolován. Hodnota čítače v nulových paketech není definována MPEG-2 standardem.

Podle DVB Measurement Guidelines (ETS 300 468) nastane chyba Continuity_count_error když:

- ten samý paket byl přenesen více než dvakrát bez nespojitého indikátoru (MORE THAN TWICE)
- pokud chybí paket, to znamená starý paket + 2 bez nespojitého indikátoru
- špatná posloupnost paketů, to je nespojitost paketů bez udaného nespojitého indikátoru

2.8 PID_error - chyba 1.priority

Program Map Table (PMT) položky ukazují na jednotlivé programy obsažené v multiplexu transportního toku. Pro dekódování programu s odpovídajícím PID a pro bezchybnou funkci MPEG-2 dekodéru musí být pakety vysílány v určitých intervalech. DVB Measurement Guidelines (ETR290) určuje takzvanou „uživatelsky definovanou periodu“, to znamená, že může být volně nastavována. Doporučuje však periodu 0,5 sekund.

Podle DVB Measurement Guidelines (ETR290) doporučení nastane chyba PID_error když:

- interval mezi dvěma pakety individuálních programů se stejným PID je větší než 0,5 sekundy

2.9 Transport_error - chyba 2.priority

Druhý byte každého záhlaví paketu v transportním toku obsahuje takzvaný transport_error_indicator, který nese informaci, že následující paket obsahuje bitové chyby. Tento ukazatel je generován na konci přijímacího řetězce Reed-Solomonovým dekodérem, pokud tento dekodér není již schopen opravovat všechny bitové chyby v transportním toku.

Protože je možné předpovědět pomocí transport_error_indicator, který bit nebo byte obsahuje chybu, pak tento paket nebude v MPEG-2 dekodéru použit. V tomto případě vyhodnotí DVMD chybu Transport_error, která znamená, že paket není kontrolován kvůli následující chybě transportního toku.

Chyba Transport_error nastane když:

- transport_error_indicator je nastaven v záhlaví paketu

2.10 CRC_error - chyba 2.priority

Jestliže jsou přenášeny PSI tabulky jako jsou PAT, CAT, PMT, NIT, EIT, SDT, BAT nebo TOT, hodnota pro kontrolní součet této části je vložena na konec každé tabulky. Cyclic Redundancy Check (CRC) je používán jako kontrolní součet na konci vysílacího a přijímacího řetězce. Dohromady s dodatečně vysílaným CRC musí kontrolní součet odpovídat nule.

Pokud konečný součet neodpovídá nule, MPEG-2 dekodér zahodí informace obsažené v této tabulce.

Pokud je CRC_error detekována, nemůže být určeno, která část informací v tabulce je chybná. V tomto případě DVMD signalizuje CRC_error a transportní tok není kontrolován na další chyby, které souvisí s touto tabulkou.

CRC_error nastane když:

- paketům jako PAT, CAT, PMT, NIT, EIT, SDT, BAT nebo TOT neodpovídá CRC nule

2.11 PCR_error, PCR_accuracy_error - chyba 2.priority

V každém transportním toku je přenášena hodnota kódovaného času, která umožní MPEG-2 dekodéru nastavit vlastní systémový čas. Každý program transportního toku obsahuje svůj vlastní nezávislý systémový čas (dáno PMT tabulkou). Program Map Table (PMT) zobrazuje pro všechny programy v transportním toku, které pakety (PID) obsahují PCR (Program Clock Reference).

Hodnoty PCR jsou přenášeny v adaptačním poli s délkou 42 bitů. Skládají se ze dvou částí: PCR base má 33 bitů a PCR extension s 9 bity.

Hodnota 42 bitů PCR začíná od nuly dokud nedosáhne $2^{33} * 300$ cyklů. To odpovídá asi 26,5 hodin s cyklem 27MHz.

Standard MPEG-2 také toleruje nespojité hodnoty PCR, je to určeno indikátorem nespojitosti v adaptačním poli toho samého paketu. Tato metoda je primárně určena pro přeskočení chyb v případě změny programu v multiplexu transportního toku.

Podle DVB Measurement Guidelines (ETR 290) chyba PCR_Error nastane když:

- rozdíl mezi dvěma za sebou jdoucími PCR hodnotami programu je větší než 100 ms a není indikována nespojitost v adaptačním poli (DISCONTINUITY)
- interval mezi dvěma pakety programu s PCR hodnotou je větší než 40 ms (UPPER DISTANCE)

DVB Measurement Guidelines (ETR 290) doporučuje další monitorování přesnosti hodnoty PCR. Přesnost PCR hodnoty může být zhoršena nepřesností výpočtu 42 bitového PCR slova nebo chybou během změny PCR hodnoty v multiplexu. V tomto případě neznamená přesnost absolutní frekvenci 27 MHz systémový čas, ale kolísání délky PCR slova.

Standard MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1) a také DVB Measurement Guidelines (ETR 290) udávají maximální toleranci ± 500 ns pro hodnotu PCR. Standard MPEG-2 (ISO/IEC 13818-4) dále popisuje metody testování takzvané přesnosti času, který musí odpovídat udávané toleranci. Popis obsahuje poměr, který musí splnit všechny hodnoty PCR programu.

Jestliže tomuto poměru neodpovídají kterékoliv dvě sousední hodnoty PCR, nastane chyba PCR_accuracy_error.

Chyba PCR_accuracy_error nastane když:

- hodnota PCR neodpovídá toleranci ± 500 ns

2.12 PTS_error - chyba 2.priority

V záhlaví PES jsou přenášeny Presentation Time Stamps (PTS) programem transportního toku. Dovolují MPEG-2 dekodéru identifikovat přesný čas, kdy přenášený blok dat má být zpracován (TV obraz v případě video přenosu a zvuková sekvence v případě audio přenosu). PTS jsou přenášeny se slovem délky 33 bitů a vztahují se k 27 MHz systémovému času v datovém toku spolu s PCR hodnotou.

Podle DVB Measurement Guidelines (ETR 290) chyba PTS_error nastane když:

- velikost rozdílu dvou po sobě jdoucích hodnot PTS je větší než 700 ms

2.13 CAT_error - chyba 2.priority

Pokud jsou pakety transportního toku zakódovány, musí být v záhlaví paktu (2. byte) dvoubitová informace transport_scrambling_control. Může nabývat těchto hodnot:

00 data nejsou kódována

01, 10, 11 definováno uživatelem

Pokud budou přenášena data kódována, standard MPEG-2 doporučuje doplnit přenos tabulkami obsahující šifrovací data (Conditional Access Table – CAT) ve zvláštních paketech s PID 0x0001 a table_id 0x01.

Standard MPEG-2 udává, že záhlaví paketů včetně nepovinných adaptačních polí nesmí být šifrovány. Vzhledem k DVB specifikaci (ETS300468) platí totéž pro tabulky obsahující servisní informace (PAT, PMT, NIT, EIT, SDT, BAT, TDT a TOT). Jediná výjimka tohoto pravidla je EIT (Even Information Table), když jsou vysílány přehledy programů.

Podle DVB Measurement Guidelines (ETR 290) chyba CAT_error nastane když:

- program obsahuje šifrované data a není nalezen CAT (MISSING)
- paket s CAT-PID (0x0001) byl nalezen, ale table_id neodpovídá 0x01 (TABLE_ID)

2.14 SI_repetetion_error - chyba 3.priority

DVB standart (ETR211) popisuje minimum a maximum intervalů pro opakování individualních paketů a kompletní tabulky Servisních informací (SI). Tyto hodnoty jsou nastaveny v přístroji DVMD (viz Tab. 4).

Tab. 4: Počet opakování pro servisních informací (převzato z [3])

Tabulka	Maximální interval [s]	Minimální interval [ms]
PAT	0,5	25
PMT	0,5	25
CAT	0,5	25
NIT	10	25
BAT	10	25
SDT	2	25
EIT	2	25
RST	---	25
TDT	30	25
TOT	30	25

Podle DVB Measurement Guidelines (ETS 300 468) nastane chyba SI_repetetion_error když:

- časová prodleva mezi SI tabulkami je příliš velká (Upper distance)
- časová prodleva mezi SI tabulkami je příliš malá (Lower distance)

2.15 NIT, SDT, EIT, RST a TDT_error- chyba 3.priority

Tento typ servisních informací také náleží do transportního toku jako přídatná data (multiplex) a obsahují například aktuální čas a datum, popis TV programu a další. Každá tato tabulka je přenášena ve formě paketů s danou PID a musí být obsažena v datovém toku v intervalu daném DVB specifikací. Avšak ne všechny servisní informace SI mají unikátní PID. Pakety TDT, TOT, SDT a BAT mají stejný PID (viz Tab. 5). Tyto tabulky jsou rozpoznávány podle informací v záhlaví paketu zvaných table_id. Tyto table_id dovolují MPEG-2 dekodéru identifikovat tyto pakety.

Tab. 5: Přehled servisních informací v DVB (převzato z [3])

Servisní informace	PID [hex]	Table_ID	Maximální interval [s]
NIT	0x0010	0x040, 0x041	10
BAT	0x0011	0x4A	10
SDT	0x0011	0x42, 0x46	2
EIT	0x0012	0x4E ... 0x6F, 0x50 ... 0x6F	2
RST	0x0013	0x71	---
TDT	0x0014	0x70	30
TOT	0x0014	0x73	30

Chyba NIT, SDT, EIT, RST a TDT_error nastane když:

- paket s PID označující SI paket NIT, SDT, EIT, RST, nebo TDT obsahuje špatnou table_id (Table ID)
- časová prodleva mezi SI tabulkami NIT, SDT, EIT, RST, nebo TDT je příliš dlouhá (Upper distance).

2.16 Unreferenced PID - chyba 3.priority

PMT (Program Map Table) obsahuje kompletní list všech programů obsažených v transportním toku. Každá programová definice obsahuje informace o všech PID jednotlivých paketů programu. To znamená, že vyhodnocením jedné PMT tabulky získáme všechny pakety náležící jednomu programu transportního toku. Mimo těchto paketů obsahuje transportní tok ještě PSI tabulky jako PAT, CAT, CA-PID, PMT, NIT, BAT, SDT, TDT, TOT, EIT, RST nebo pakety rezervované MPEG-2 standardem.

Jestli je program změněn (nové PMT) a nové PID není obsaženo v datovém toku během 0,5s nastane chyba. Interval 0,5s je uveden v DVB standardu a je taktéž nastaven v přístroji DVMD.

Chyba Unreferenced PID nastane když:

- transportní tok obsahuje paket s PID, které není PID pro PAT, CAT, CA-PID, PMT, NIT, BAT, SDT, TDT, TOT, EIT a RST a který není uveden v PMT déle než 0,5s (ES-PID nebo PCR-PID).

2.17 Datarate_error

Přístroj DVMD monitoruje počet nulových paketů, které mají paket identifikátor (PID) 0x1FFF. Nejvyšší a nejnižší limit může být individuálně nastaven. Nulové pakety jsou TS pakety, které doplňují transportní tok, aby zabíral předem danou šířku pásma, pokud ji nevyplní užitečná data. Každá změna množství dat v jednotlivých programech znamená změnu počtu nulových paketů. Ztráta dat celého programu vyvolá tuto chybu také.

Chyba Datarate_error nastane když:

- počet nulových paketů (PID 0x1FFF) je vyšší než limit
- počet nulových paketů (PID 0x1FFF) je nižší než limit

2.18 Multiplex_error

DVMD monitoruje identitu transportního toku (TS_ID). Pevná hodnota rozsahu může být nastavena. Touto cestou můžeme kontrolovat, jestli monitorujeme správný datový tok.

Chyba Multiplex_error nastane když:

- je identifikátor transportního toku mimo nastavené limity

2.19 SI_OTHER_ERROR

Podle normy ETR290 jsou monitorovány intervaly SI_OTHER tabulek. Každý limit může být nastaven podle individuálních požadavků. Hodnoty (viz Tab. 6) jsou dány DVB standardem (ETS 400 368).

Tab. 6: Hodnoty opakování ostatních servisních informací (převzato z [3])

Servisní informace	Table_ID	Maximální interval [s]	Minimální interval [ms]
NIT_OTHER	0x41	10	25
SDT_OTHER	0x46	2	25
NIT_OTHER	0x4F*	2	25

Chyba SI_OTHER_ERROR nastane když:

- časový interval mezi ostatními servisními tabulkami je příliš dlouhý (UPPER DISTANCE)
- časový interval mezi ostatními servisními tabulkami je příliš krátký (LOWER DISTANCE)

2.20 NIT_OTHER_error, SDT_OTHER_error, EIT_OTHER_error

Doplňující pro monitorování intervaly SI tabulek dle normy ETR290 jsou SI_OTHER tabulky (viz Tab. 7). Hodnoty jsou stanoveny normou DVB (ETS 400 386).

Tab. 7: Doplnující intervaly pro servisní informace (převzato z [3])

Servisní informace	PID [hex]	Table_ID	Maximální interval [s]
NIT_OTHER	0x0010	0x40, 0x41	10
SDT_OTHER	0x0011	0x42, 0x46	2
EIT_OTHER	0x0012	0x4F, 0x60 ... 0x6F	2

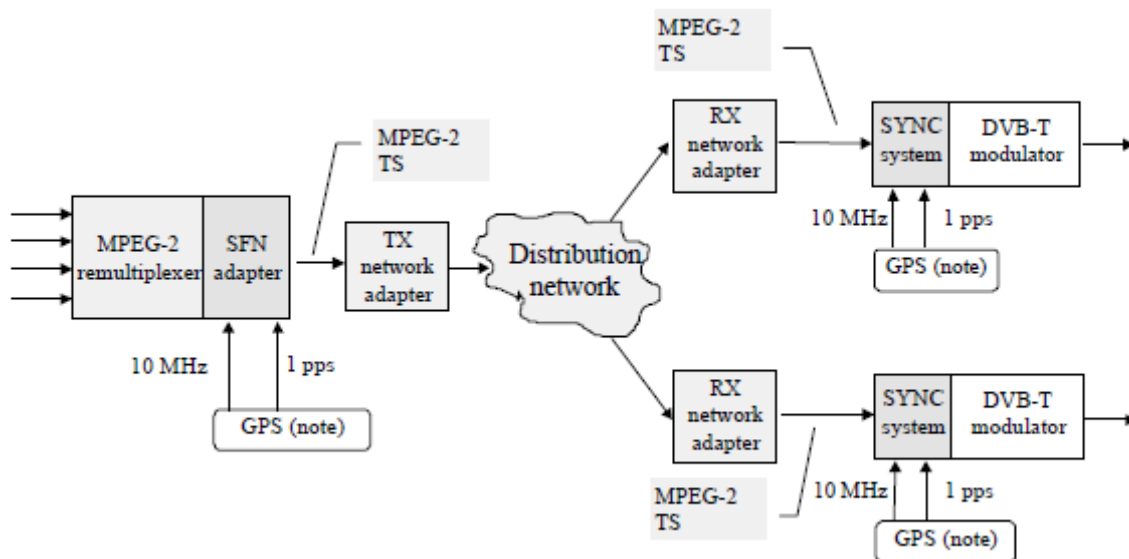
Chyba NIT_OTHER_error, SDT_OTHER_error, EIT_OTHER_error nastane když:

- časová prodleva mezi SI tabulkami NIT_OTHER, SDT_OTHER a EIT_OTHER je příliš dlouhá (UPPER DISTANCE)

2.21 MIP_error

Megaframe initialization packet (MIP) je součástí transportního toku. MIP je testován pouze pokud transportní tok obsahuje PID 0x15 (MIP PID).

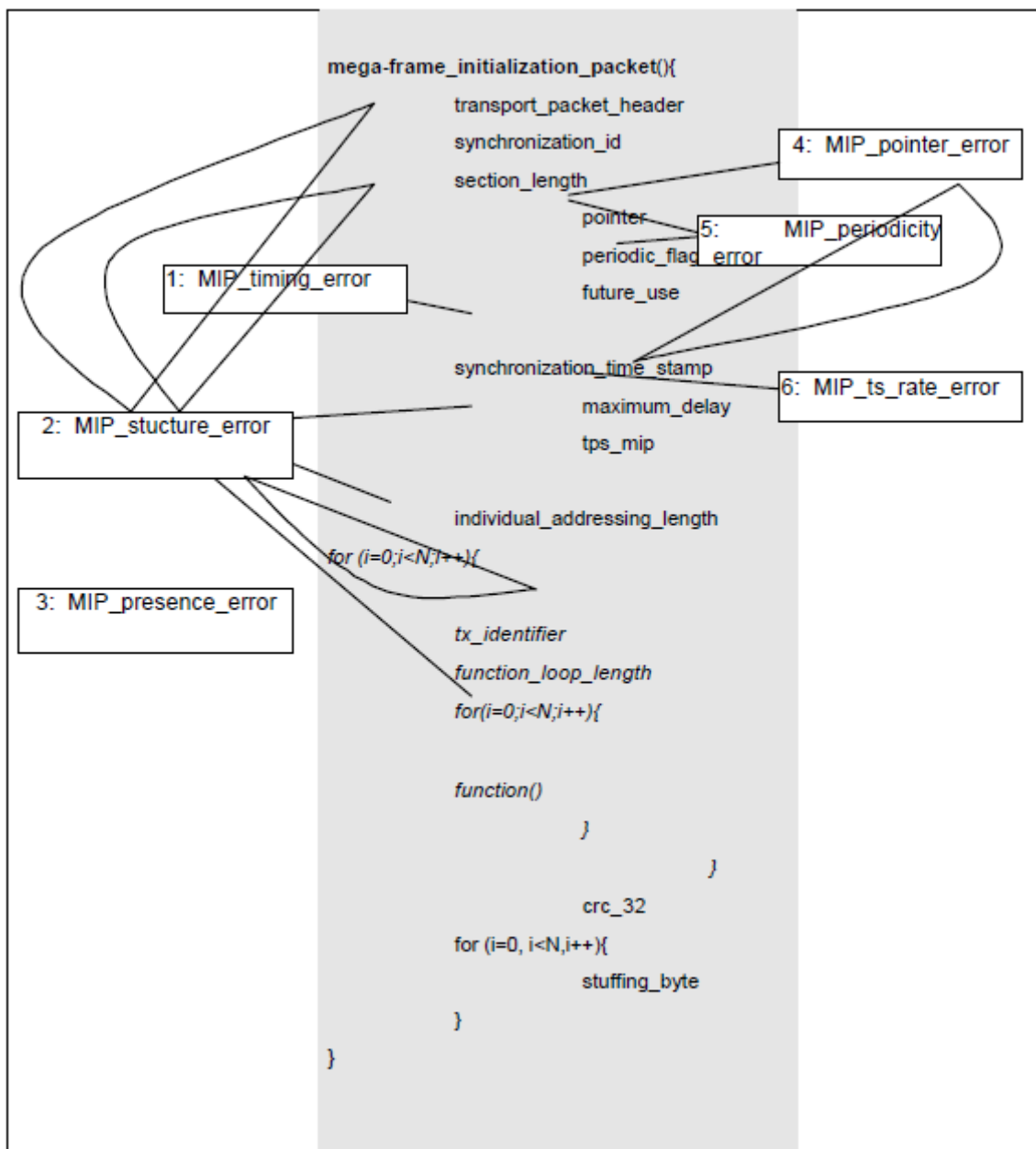
Následující blokový diagram zobrazuje kompletní SFN síť (viz Obr. 11).



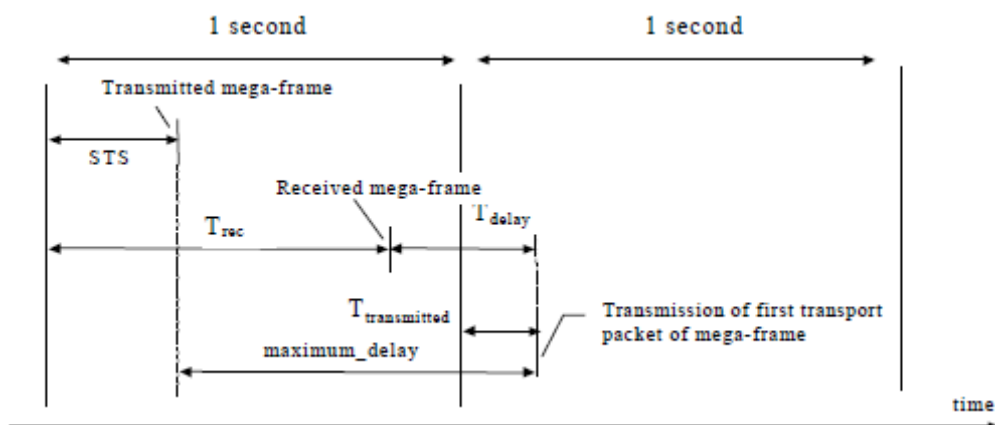
Obr. 11: SFN síť v televizní technice (převzato z [5])

Hlavní komponenty sítě jsou SFN adaptér (viz Obr. 12) a SYNC (synchronizační) systém. SFN adaptér vytváří mega-frame obsahující n TS paketů a vkládá Mega-frame Initialization Packet (MIP) s vyhrazenou hodnotou PID. MIP je vkládán kdekoli do mega-frame a dovoluje identifikovat startovací bod (jako např. první paket). Časový rozdíl mezi posledním pulzem z posloupnosti jeden pulz za sekundu odvozená například z předcházejícího startu mega-frame $M+1$ a aktuální start mega-frame $M+1$ je zkopírována do MIP-M. Tento parametr se nazývá STS (Synchronization Time Stamp).

Synchronizační systém provádí kompenzace dle srovnání STS (viz Obr. 13) s aktuálním časem a počítá zpoždění potřebné pro SFN synchronizaci.



Obr. 12: Přehled parametrů Mega-frame Initialization Packet (MIP) (převzato z [5])



Obr. 13: Synchronization Time Stamp Mega-frame Initialization Packet (MIP) (převzato z [5])

MIP_error nastane když:

- nastane chyba MIP_timing_error
- nastane chyba MIP_structure_error
- nastane chyba MIP_presence_error
- nastane chyba MIP_pointer_error
- nastane chyba MIP_periodicity_error
- nastane chyba MIP_ts_rate_error

STS z MIP-M obsahuje časový rozdíl, vyjádřený jako číslo z 100 ns kroku, mezi posledním pulzem z posloupnosti jeden pulz za sekundu odvozená například z předcházejícího startu mega-frame M+1 a aktuální start mega-frame M+1.

Tento test ověří jestli odpovídají definovaným limitům po sobě jdoucí STS hodnoty.

2.21.1 MIP_structure_error

Struktura MIP je definována TS 101 191. Na konci vysílání, synchronizační systém vyžaduje odpovídající hodnoty.

Tento test ověří, že syntaxe MIP odpovídá specifikaci TS 101 191.

Provádějí se následující testy:

- a) Header Odpovídá záhlaví TS struktury TS 101 191?
- b) Field length Jsou všechna data soudržná pro vytvoření paketu?
- c1) Max_delay Je maximální zpoždění v rozsahu 0x0 až 0x98967F?
- c2) STS Je synchronizační čas v rozsahu 0x0 až 0x98967F?
- d) CRC Odpovídá CRC_32 pole hodnotě vypočítané z MIP?

2.21.2 MIP_presence_error

Každý mega-frame obsahuje přesně jeden Mega-frame Initialization Packet (MIP). Aktuální pozice v mega-frame se může měnit. Tento test kontroluje, jestli jeden mega-frame obsahuje právě jeden MIP.

Provádějí se následující testy:

- a) Extra MIP Obsahuje každý mega-frame jen jeden MIP?
- b) Missing Obsahuje každý mega-frame aspoň jeden MIP?

2.21.3 MIP_pointed_error

Ukazatel (2B hodnota) uvádí počet transportních paketů mezi MIP a prvním paketem mega-frame. Tento test ověřuje, jestli mega-frame velikost udávaná v ukazateli (pointer) odpovídá mega-frame hodnotě vypočítané z MIP.

2.21.4 MIP_periodicity_error

Značka periodicity ukazuje jestli MIP je prováděn periodicky či ne. Hodnota 1 značí periodický mód, hodnota 0 je pro aperiodický. Všechny SFN synchronizační systémy by měly umět obsluhovat oba dva módy. S hodnotou nastavenou do 1 pro periodický režim je test prováděn pro kontrolu, jestli je mega-frame velikost stále stejná a jestli je stále hodnota ukazatele rovna 1.

Provádějí se následující testy:

- a) pointer Zůstává hodnota ukazatele stále stejná?
- b) MF size Zůstává velikost mega-frame vypočítaná z MIP stále stejná?

2.21.5 MIP_ts_rate_error

V SFN síti je nastavení modulátoru přenášeno tps_mip paketem (TS 101 191). Toto nastavení určuje transportní kanál a šířku transportního toku.

Tento test kontroluje, jestli aktuální transportní tok odpovídá šířce pásma nastavení modulátoru daným tps_mip paketem.

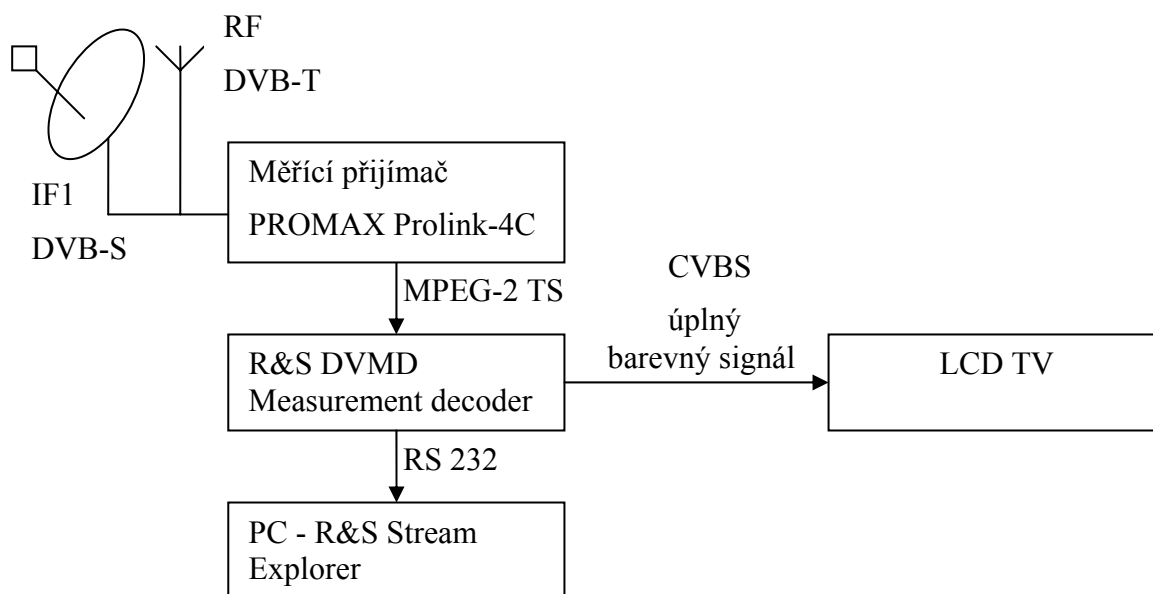
3 Vyhodnocení naměřených hodnot

3.1 Postup měření

..

Měřicí sestava (viz Obr. 14) ze skládala z měřicího přijímače Promax Prolink-4C, na jeho výstupu byl transportní datový tok ve formátu MPEG-2. Na něj navazoval R&S Measurement decoder, který vyhodnotil kvalitu signálu a počet chyb, které obsahoval. Obraz byl zobrazen na LCD TV a hodnoty chyb byly zaznamenány programem R&S Stream Explorer.

Hodnoty byly zapisovány do souboru csv, který umí zpracovat téměř nekonečný počet řádků. Tento soubor byl zpracován v programu Excel firmy Microsoft. Program Excel umí zobrazit jen omezený počet řádků, proto bylo nutné tento soubor otevírat postupně. Tabulky naměřených hodnot (Tab. 12, 17 a 22) jsou zde uvedena ve zkrácené formě, kompletní tabulky můžete najít v příloze na DVD. Tabulky obsahují přesný čas, kdy nastala chyba, číslo a název chyby, délku trvání, hodnotu a popis chyby.



Obr. 14: Schéma zapojení měřicí sestavy

3.2 Multiplex 1

Měření probíhalo na malé aktivní anténě kanálu C25 s úrovní signálu cca 62dBuV na anténním vstupu přijímače. Měření začalo dne 2.3.2009 v 14:10 hodin a pokračovalo přibližně 24 hodin do následujícího dne. Tabulka naměřených hodnot je zde uvedena ve zkrácené formě (viz Tab. 8), protože obsahuje 1885 řádků.

Tab. 8: Zkrácená tabulka naměřených hodnot

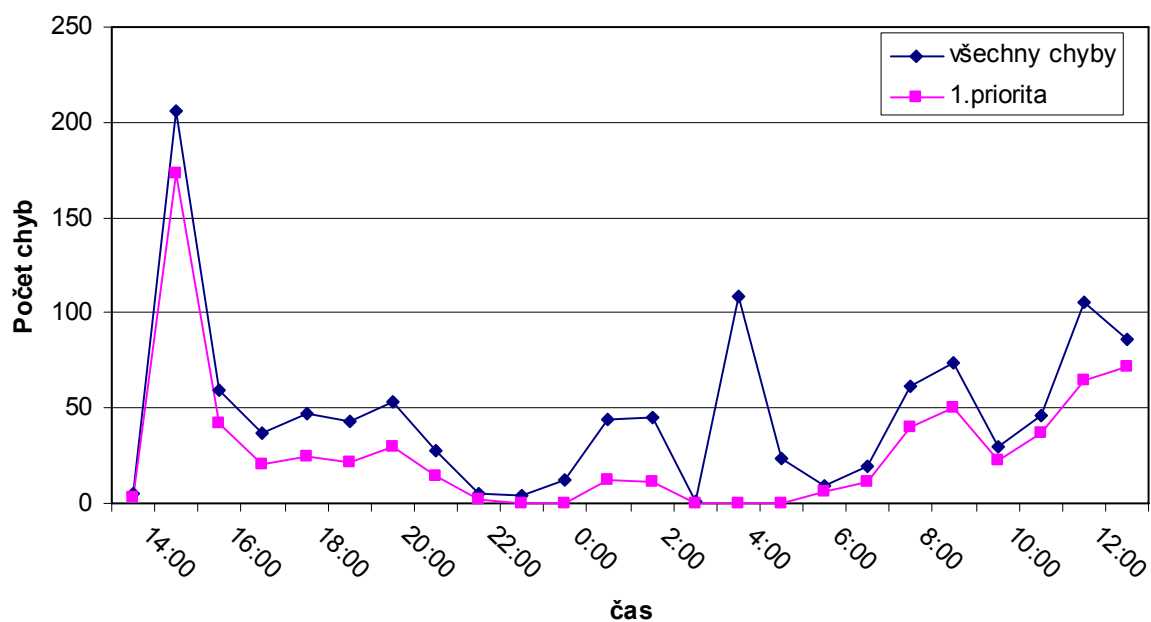
čas		chyba	trvání	hodnota	popis
14:07:59	410	START			
14:08:03	318	SI.REP:SDT UPP DIST	-----	0x0011	PSI/SI, SDT
14:08:03	351	SDT:UPPER DIST	-----	0x0011	PSI/SI, SDT
14:08:08	100	TS-SYNC:LOSS			
14:08:11	101	TS-SYNC:OK			
14:10:07	100	TS-SYNC:LOSS			
14:10:10	101	TS-SYNC:OK			
14:17:24	100	TS-SYNC:LOSS			
14:17:26	101	TS-SYNC:OK			
14:17:27	100	TS-SYNC:LOSS			
14:17:27	101	TS-SYNC:OK			
14:18:17	100	TS-SYNC:LOSS			
14:18:20	101	TS-SYNC:OK			
14:18:25	100	TS-SYNC:LOSS			
14:18:27	101	TS-SYNC:OK			
14:18:28	100	TS-SYNC:LOSS			
14:18:28	101	TS-SYNC:OK			
14:19:23	100	TS-SYNC:LOSS			
14:19:25	101	TS-SYNC:OK			
14:19:26	100	TS-SYNC:LOSS			
14:19:26	101	TS-SYNC:OK			
14:22:15	100	TS-SYNC:LOSS			
14:22:18	101	TS-SYNC:OK			
14:22:37	100	TS-SYNC:LOSS			
14:22:39	101	TS-SYNC:OK			
14:22:40	100	TS-SYNC:LOSS			
14:22:40	101	TS-SYNC:OK			
14:22:54	100	TS-SYNC:LOSS			

Nejdříve je uvedena tabulka (viz Tab. 9) s grafy (viz Obr. 15, 16 a 17), ve kterých je vyhodnoceno počet chyb v každé hodině měření. Jsou zde vidět hodiny, kdy bylo chyb velice málo a kdy naopak velice mnoho. Často odpovídají hodiny s velkým počtem chyb hodinám, kdy probíhala výuka. Naopak v nočních hodinách bylo chyb daleko méně.

Tab. 9: Počet chyb za hodinu

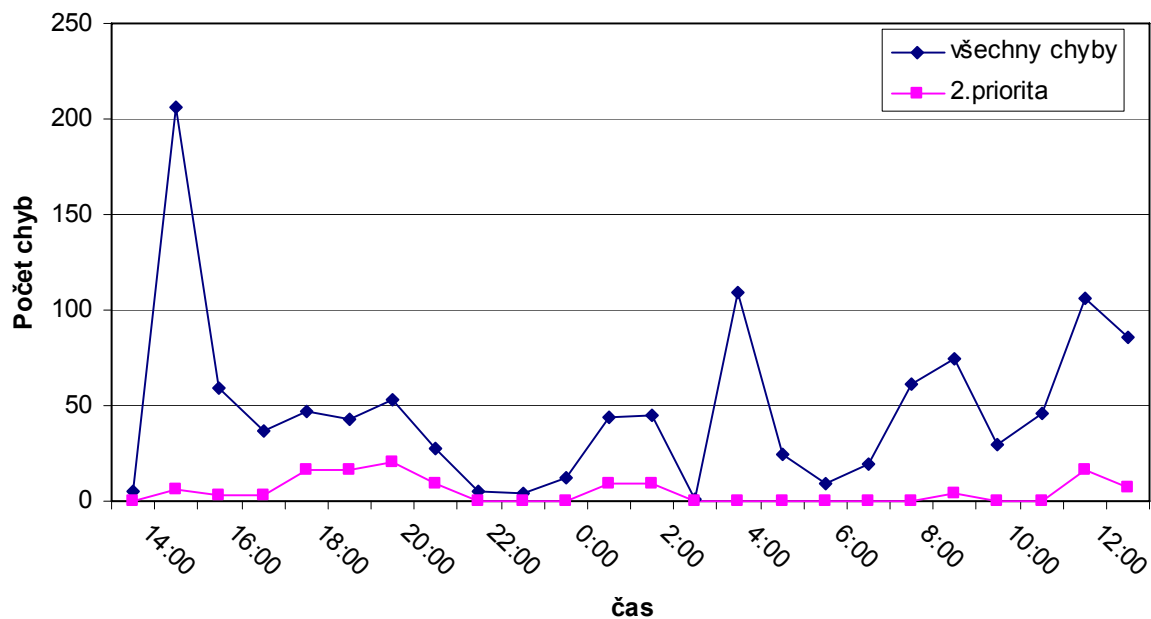
čas	všechny chyby	1.priorita	2.priorita	3.priorita
14:00:00	5	3	0	2
15:00:00	206	173	6	27
16:00:00	59	42	3	14
17:00:00	37	20	3	14
18:00:00	47	25	16	6
19:00:00	43	22	16	5
20:00:00	53	30	20	3
21:00:00	28	14	9	5
22:00:00	5	2	0	3
23:00:00	4	0	0	4
0:00:00	12	0	0	12
1:00:00	44	12	9	23
2:00:00	45	11	9	25
3:00:00	1	0	0	1
4:00:00	109	0	0	109
5:00:00	24	0	0	24
6:00:00	9	6	0	3
7:00:00	19	11	0	8
8:00:00	61	40	0	21
9:00:00	74	50	4	20
10:00:00	30	23	0	7
11:00:00	46	37	0	9
12:00:00	106	65	16	25
13:00:00	86	72	7	7

Počet chyb za hodinu



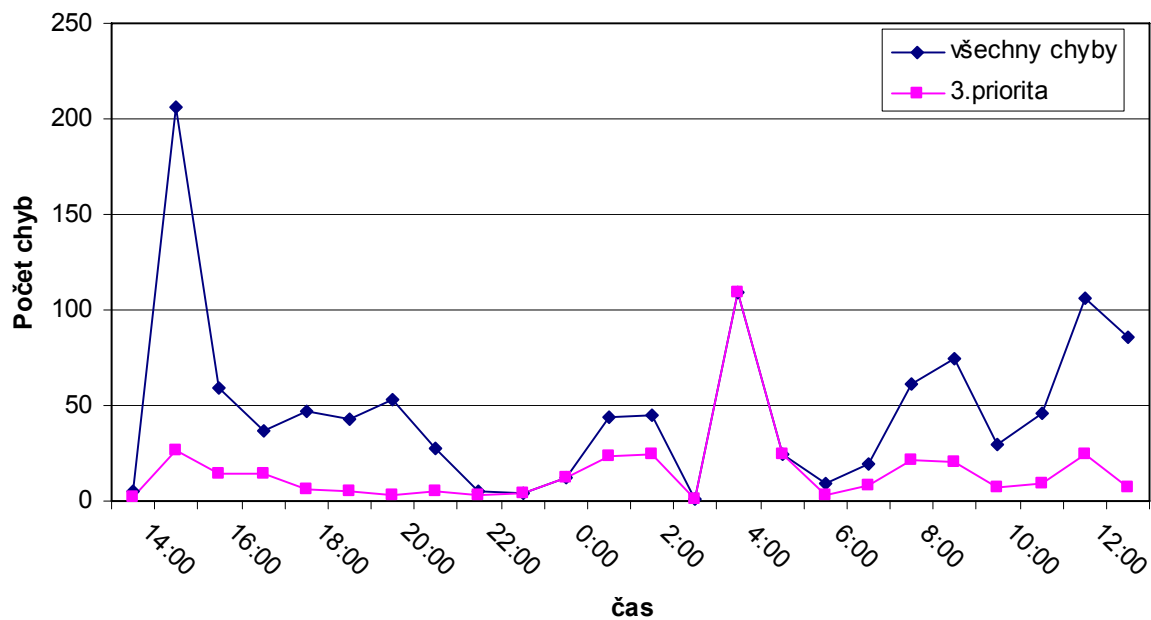
Obr. 15: Počet chyb 1.priority za hodinu

Počet chyb za hodinu



Obr. 16: Počet chyb 2.priority za hodinu

Počet chyb za hodinu



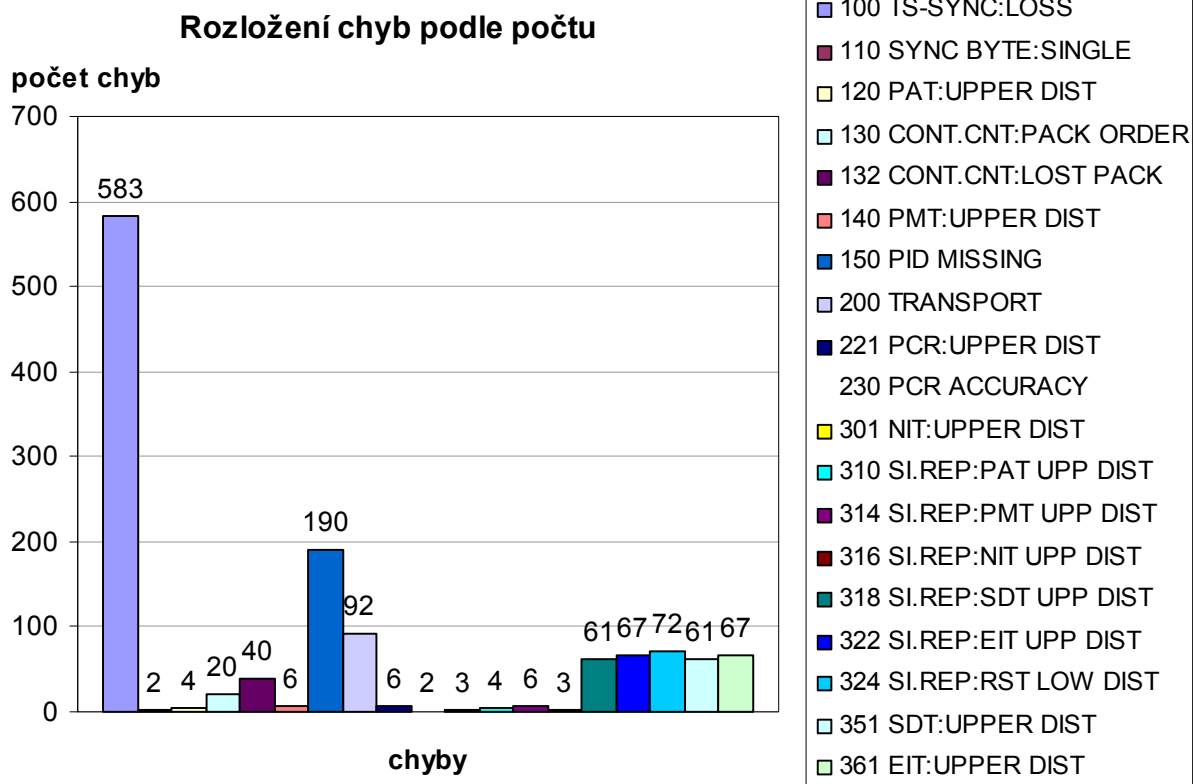
Obr. 17: Počet chyb 3.priority za hodinu

V následující tabulce (viz Tab. 10) a grafech (viz Obr. 18, 19, 20 a 21), je uvedeno rozložení chyb podle počtu během měřeného intervalu.

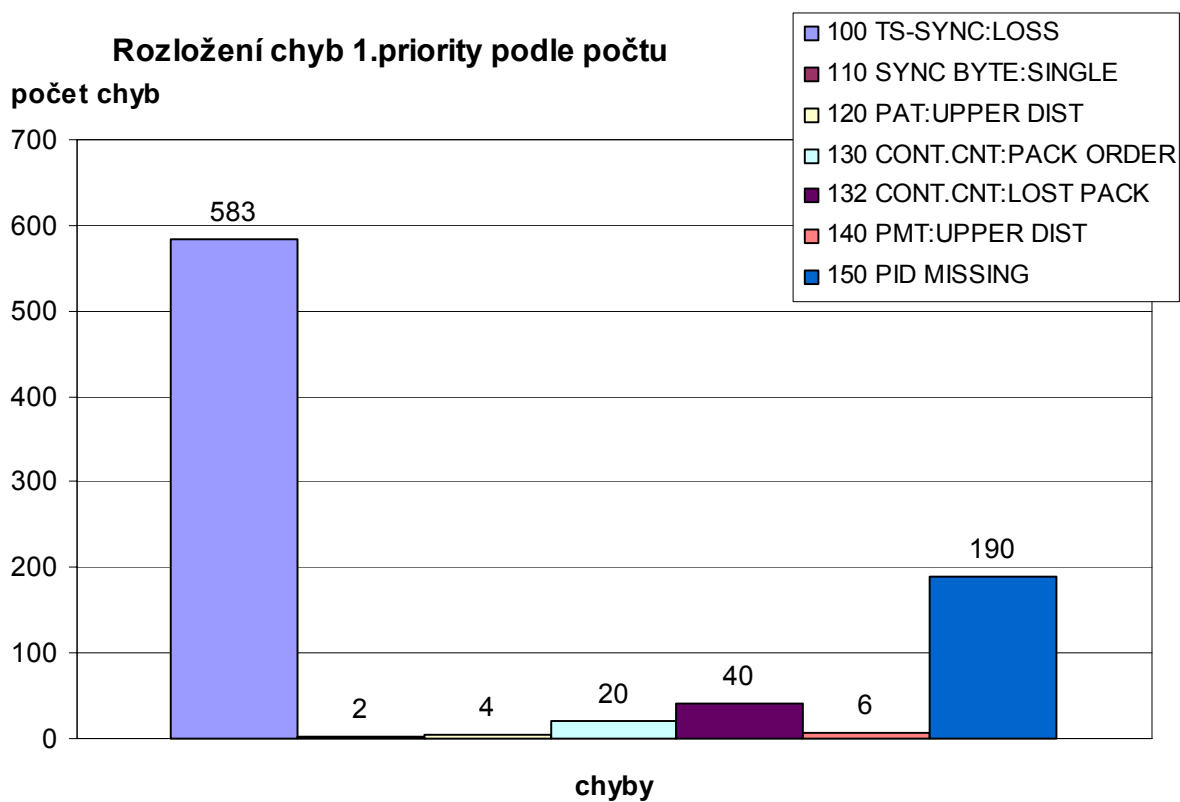
Tab. 10: Rozložení chyb dle počtu

číslo chyby	název chyby	počet chyb
100	TS-SYNC:LOSS	583
110	SYNC BYTE:SINGLE	2
120	PAT:UPPER DIST	4
130	CONT.CNT:PACK ORDER	20
132	CONT.CNT:LOST PACK	40
140	PMT:UPPER DIST	6
150	PID MISSING	190
200	TRANSPORT	92
221	PCR:UPPER DIST	6
230	PCR ACCURACY	2
301	NIT:UPPER DIST	3
310	SI.REP:PAT UPP DIST	4
314	SI.REP:PMT UPP DIST	6
316	SI.REP:NIT UPP DIST	3
318	SI.REP:SDT UPP DIST	61
322	SI.REP:EIT UPP DIST	67
324	SI.REP:RST LOW DIST	72
351	SDT:UPPER DIST	61
361	EIT:UPPER DIST	67

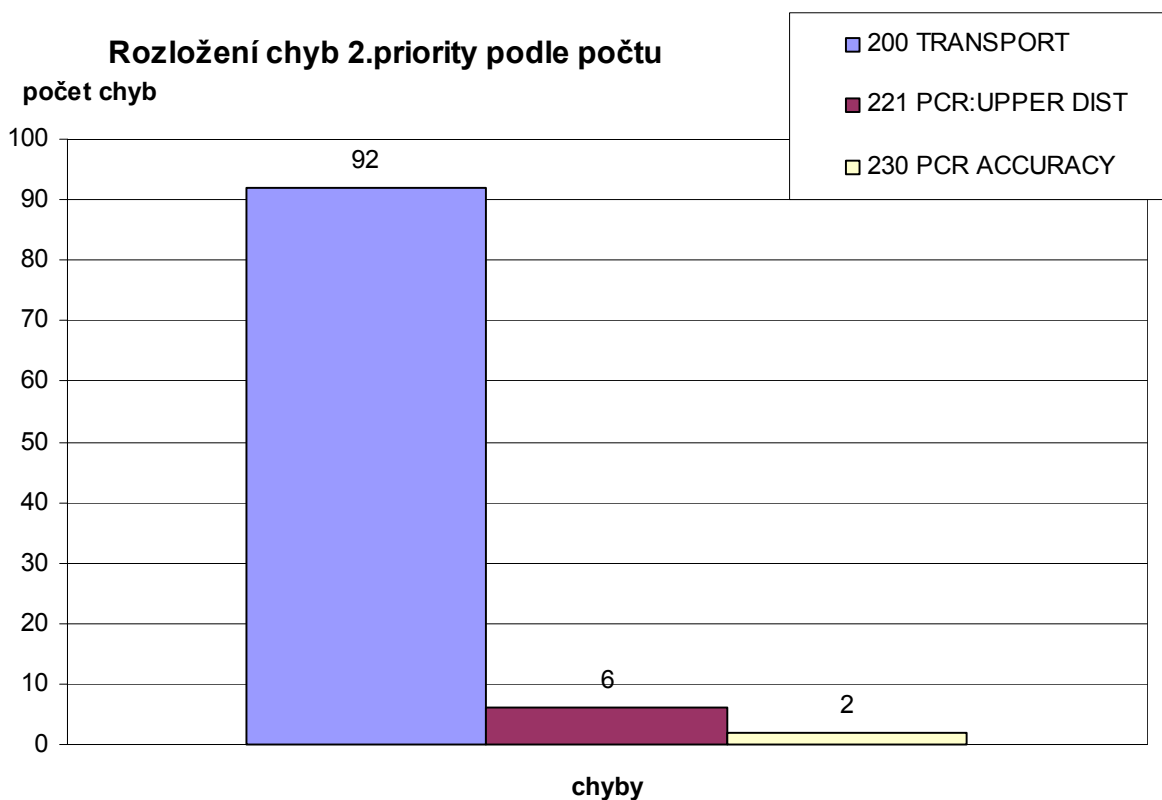
Nejčastěji se vyskytovala chyba ztráty synchronizace. Ztráta synchronizace se podílí na všech chybách v 45%. Znamená to, že všechny pakety byly ztraceny a divák neměl k dispozici ani obraz ani zvuk. Ztráta synchronizace je chyba 1.priority.



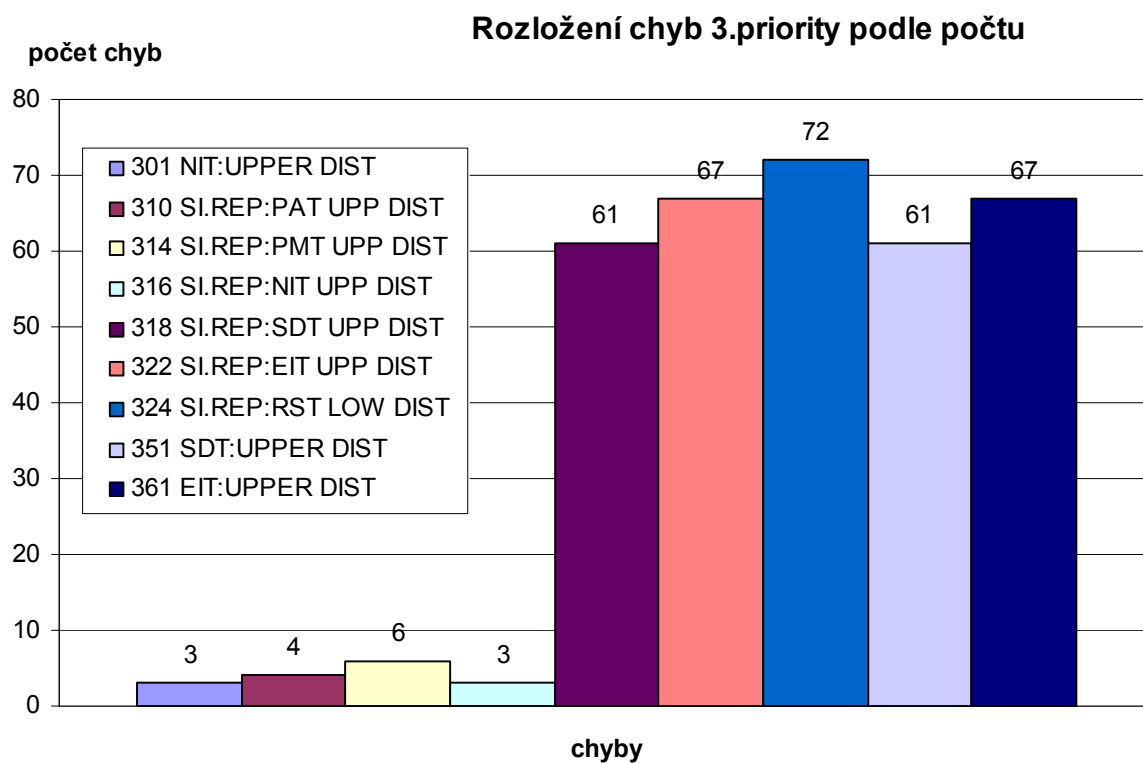
Obr. 18: Rozložení chyb podle počtu



Obr. 19: Rozložení chyb 1.priority podle počtu



Obr. 20: Rozložení chyb 2.priority podle počtu



Obr. 21: Rozložení chyb 3.priority podle počtu

V následující tabulce (viz Tab. 11) a grafu (viz Obr. 22) je uvedena ztráta synchronizace za každou hodinu měření. Nejvíce chyb se vyskytuje od 15:00 do 16:00 hodin, to znamená v době výuky.

Tab. 11: Ztráta synchronizace v čase

čas	počet
14:00	52
15:00	119
16:00	41
17:00	17
18:00	6
19:00	13
20:00	20
21:00	7
22:00	2
23:00	0
0:00	0
1:00	0
2:00	0
3:00	0
4:00	0
5:00	0
6:00	6
7:00	11
8:00	40
9:00	46
10:00	23
11:00	37
12:00	59
13:00	69

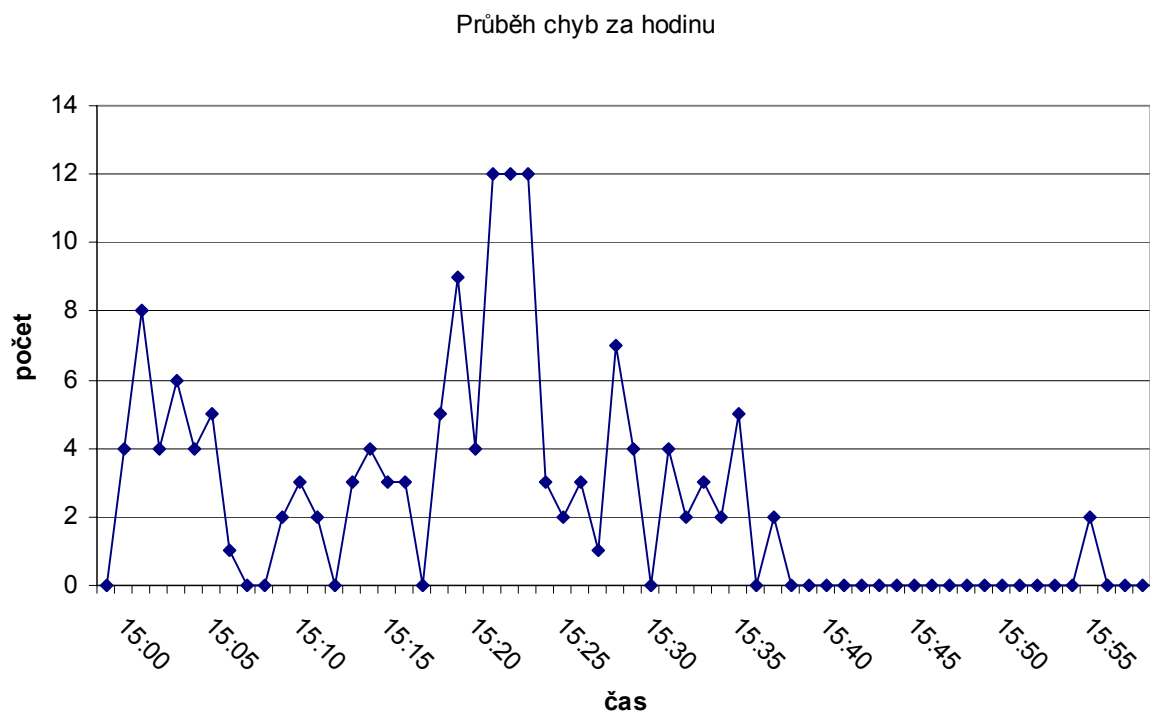


Obr. 22: Ztráta synchronizace v čase

Dále je uvedena chyba ztráty synchronizace minutu po minutě jak se objevovala mezi 15:00 a 16:00 hodin v tabulce (viz Tab. 12) a grafu (viz Obr. 23).

Tab. 12: Ztráta synchronizace mezi 15:00 a 16:00 hodin

čas	chyby	čas	chyby
15:00	0	15:30	4
15:01	4	15:31	0
15:02	8	15:32	4
15:03	4	15:33	2
15:04	6	15:34	3
15:05	4	15:35	2
15:06	5	15:36	5
15:07	1	15:37	0
15:08	0	15:38	2
15:09	0	15:39	0
15:10	2	15:40	0
15:11	3	15:41	0
15:12	2	15:42	0
15:13	0	15:43	0
15:14	3	15:44	0
15:15	4	15:45	0
15:16	3	15:46	0
15:17	3	15:47	0
15:18	0	15:48	0
15:19	5	15:49	0
15:20	9	15:50	0
15:21	4	15:51	0
15:22	12	15:52	0
15:23	12	15:53	0
15:24	12	15:54	0
15:25	3	15:55	0
15:26	2	15:56	2
15:27	3	15:57	0
15:28	1	15:58	0
15:29	7	15:59	0



Obr. 23: Ztráta synchronizace mezi 15:00 a 16:00 hodin

3.3 Multiplex 2

Měření druhého multiplexu kanálu C40 probíhalo (viz Tab. 13) na malé aktivní anténě s úrovní signálu cca 54dBuV na anténním vstupu přijímače. Měření začalo dne 3.3.2009 v 14:25 hodin a trvalo přibližně 24 hodin.

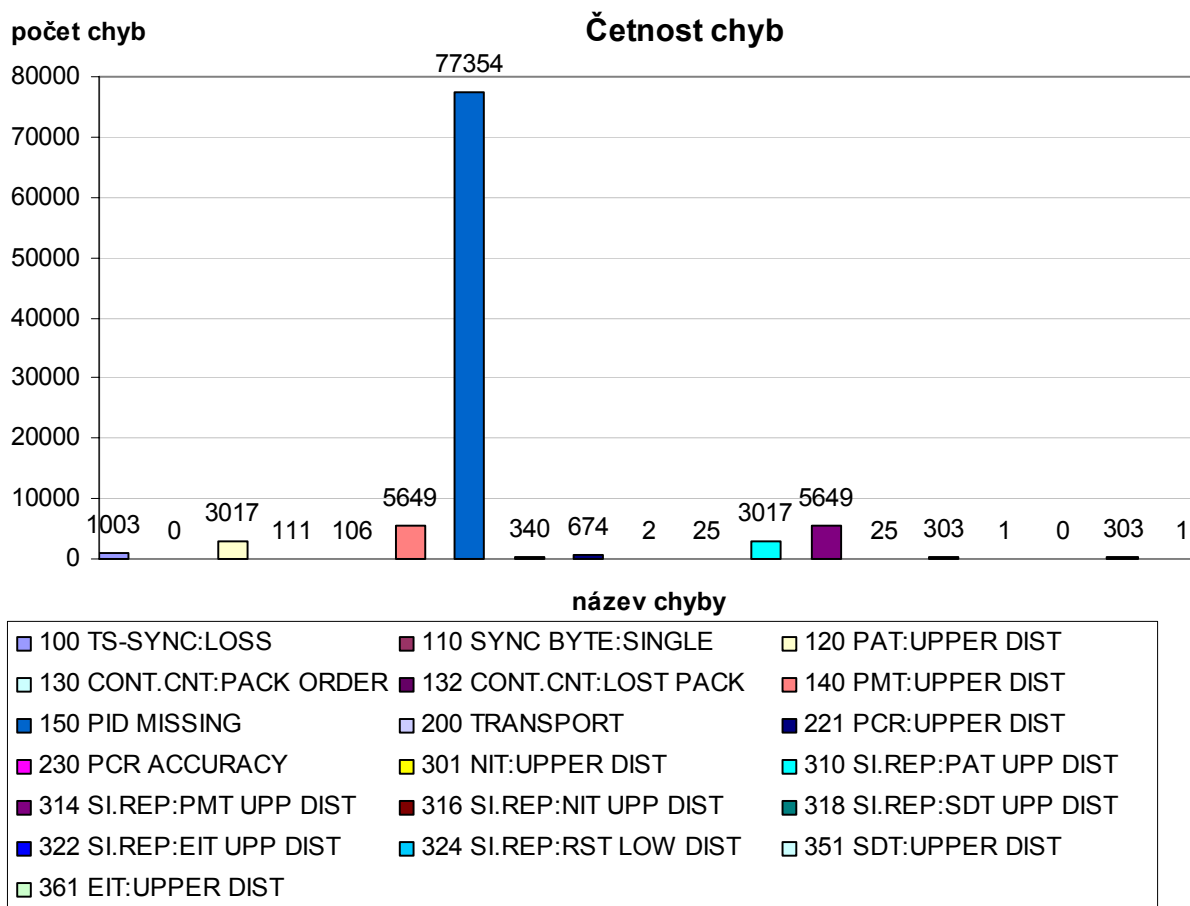
Tab. 13: Zkrácena tabulka naměřených hodnot

čas		chyba	trvání	hodnota	popis
14:26:59	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:00	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:01	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:02	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:03	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:04	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:05	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:06	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:07	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:08	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:09	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:10	140	PMT:UPPER DIST	0.502 s	0x01F4	PSI/SI, PMT 770 [PRIMA 2]
14:27:10	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:10	314	SI.REP:PMT UPP DIST	0.502 s	0x01F4	PSI/SI, PMT 770 [PRIMA 2]
14:27:11	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:12	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:13	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:14	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:15	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:16	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:17	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:18	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:19	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:20	140	PMT:UPPER DIST	0.506 s	0x01F4	PSI/SI, PMT 770 [PRIMA 2]
14:27:20	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:20	314	SI.REP:PMT UPP DIST	0.506 s	0x01F4	PSI/SI, PMT 770 [PRIMA 2]
14:27:21	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:22	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:23	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:24	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:25	100	TS-SYNC:LOSS			
14:27:27	101	TS-SYNC:OK			
14:27:28	100	TS-SYNC:LOSS			
14:27:28	101	TS-SYNC:OK			
14:27:34	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:34	318	SI.REP:SDT UPP DIST	-----	0x0011	PSI/SI, SDT
14:27:34	351	SDT:UPPER DIST	-----	0x0011	PSI/SI, SDT
14:27:35	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:36	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES
14:27:37	150	PID MISSING	-----	0x0209	Program 770 [PRIMA 2], Private PES

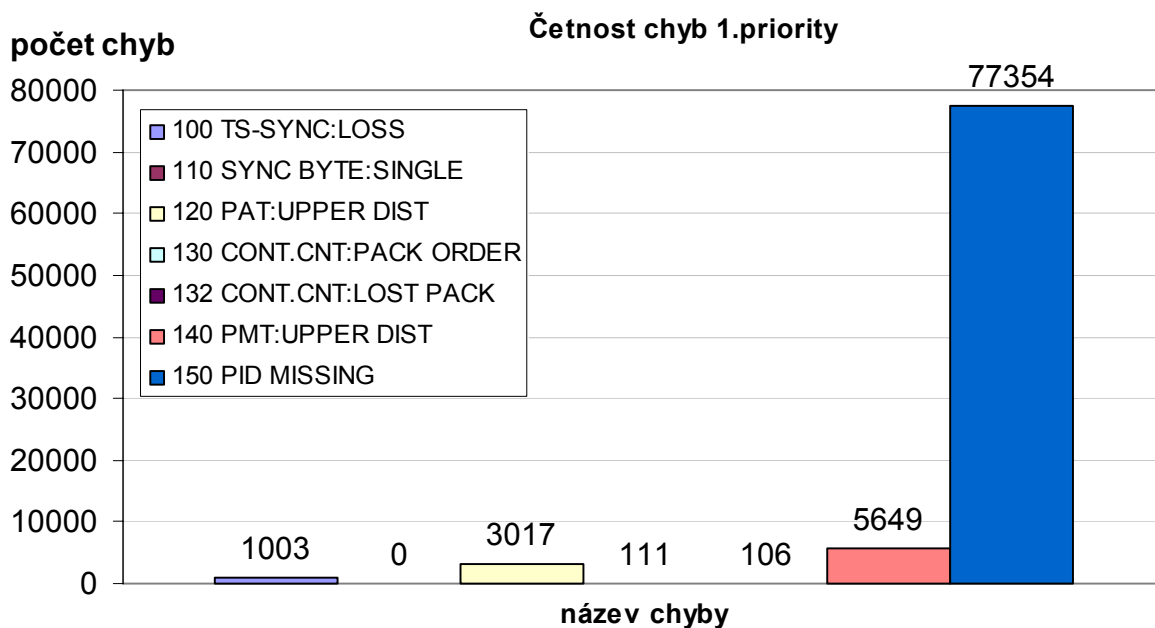
V následující tabulce (viz Tab. 14) a grafech (viz Obr. 27, 28, 29 a 30) je vyhodnoceno počet jednotlivých chyb v celém intervalu měření.

Tab. 14: Četnost chyb

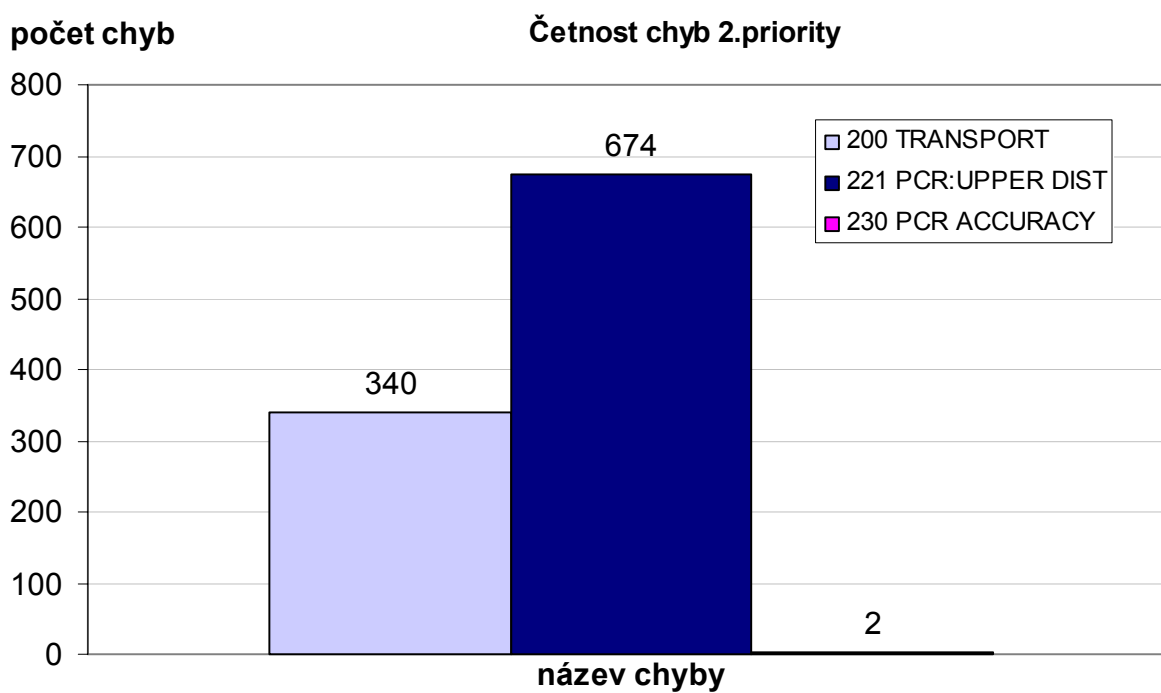
číslo chyby	název chyby	počet chyb
100	TS-SYNC:LOSS	1003
110	SYNC BYTE:SINGLE	0
120	PAT:UPPER DIST	3017
130	CONT.CNT:PACK ORDER	111
132	CONT.CNT:LOST PACK	106
140	PMT:UPPER DIST	5649
150	PID MISSING	77354
200	TRANSPORT	340
221	PCR:UPPER DIST	674
230	PCR ACCURACY	2
301	NIT:UPPER DIST	25
310	SI.REP:PAT UPP DIST	3017
314	SI.REP:PMT UPP DIST	5649
316	SI.REP:NIT UPP DIST	25
318	SI.REP:SDT UPP DIST	303
322	SI.REP:EIT UPP DIST	1
324	SI.REP:RST LOW DIST	0
351	SDT:UPPER DIST	303
361	EIT:UPPER DIST	1



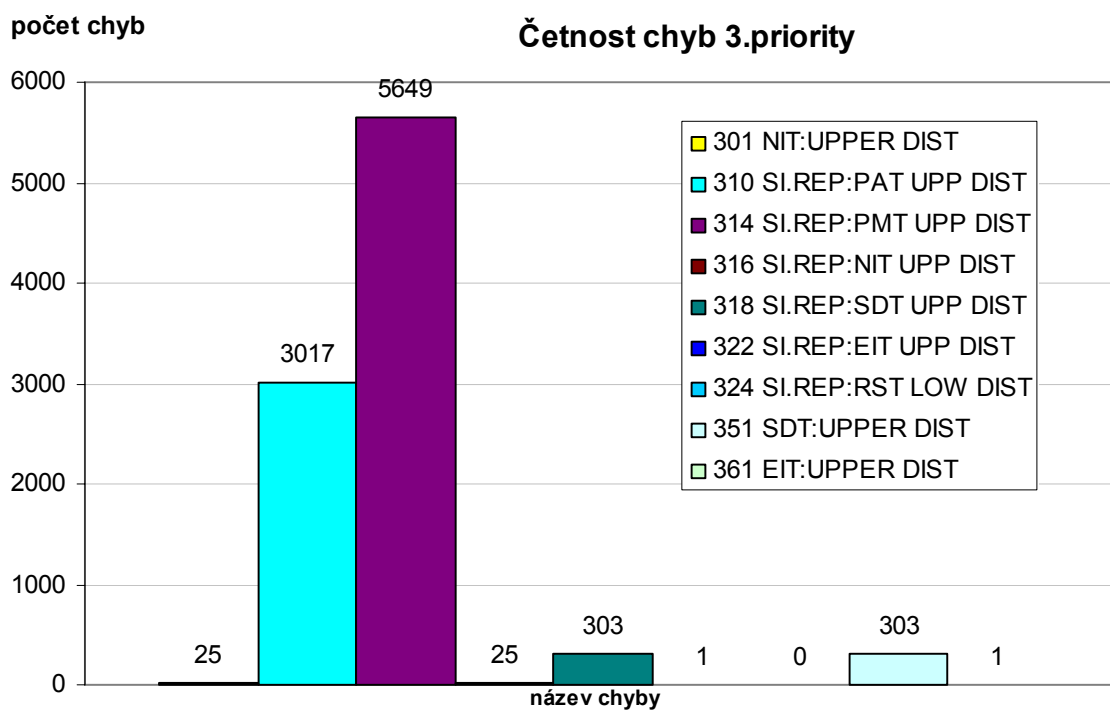
Obr. 24: Četnost chyb



Obr. 25: Rozložení chyb 1.priority podle počtu



Obr. 26: Rozložení chyb 2.priority podle počtu



Obr. 27: Rozložení chyb 3.priority podle počtu

Následně jsou uvedeny tabulky (viz Tab. 15, 16 a 17) s grafy (viz Obr. 28, 29, 30 a 31), které jsou vyhodnoceny podle počtu chyb v každé hodině měření a uvedeny podle priority.

Tab. 15: Četnost chyb 1.priority v čase

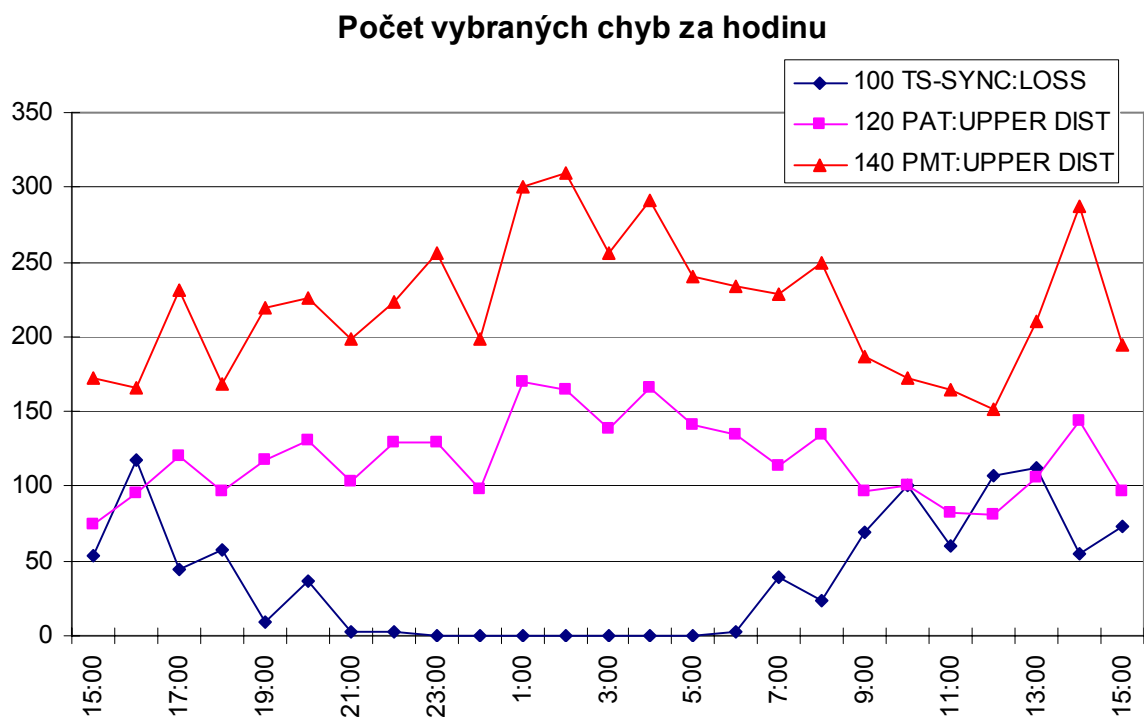
	120	130	132	140	150	
čas	PAT:UPPER DIST	CONT.CNT:PACK ORDER	CONT.CNT:LOST PACK	PMT:UPPER DIST	PID MISSING	1. priorita
15:00	74	0	0	172	3332	3631
16:00	95	3	17	166	3043	3442
17:00	120	0	0	231	3382	3777
18:00	96	10	8	169	3317	3657
19:00	118	0	0	220	3554	3901
20:00	131	0	0	226	3417	3811
21:00	103	0	0	199	3585	3890
22:00	129	0	0	223	3584	3939
23:00	129	0	0	256	3600	3985
0:00	98	0	0	198	3600	3896
1:00	170	0	0	300	3600	4070
2:00	164	0	0	309	3600	4073
3:00	139	0	0	256	3600	3995
4:00	166	0	0	291	3600	4057
5:00	141	0	0	240	3599	3980
6:00	134	0	0	234	3585	3955
7:00	113	0	0	228	3411	3791
8:00	135	0	0	249	3482	3890
9:00	97	24	11	187	3259	3647
10:00	100	0	1	173	3088	3462
11:00	82	0	5	164	3300	3611
12:00	81	36	17	152	2668	3061
13:00	106	25	30	210	0	483
14:00	144	5	5	287	0	496
15:00	97	3	8	195	0	376

Tab. 16: Četnost chyb 2.priority v čase

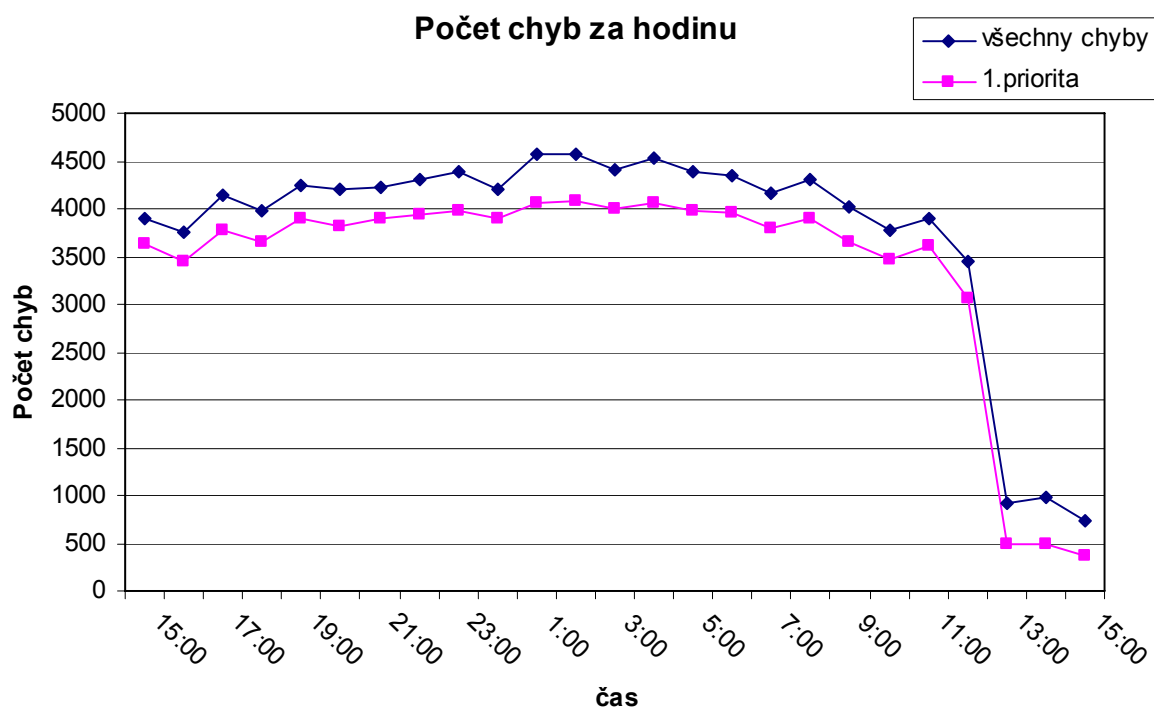
	200	221	230	
čas	TRANSPORT	PCR:UPPER DIST	PCR ACCURACY	2. priorita
15:00	0	0	0	0
16:00	23	3	1	27
17:00	0	0	0	0
18:00	29	0	0	29
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0
8:00	0	0	0	0
9:00	51	1	0	52
10:00	2	0	0	2
11:00	5	0	1	6
12:00	102	4	0	106
13:00	76	4	0	80
14:00	16	0	0	16
15:00	20	0	0	20

Tab. 17: Četnost chyb 3.pRIORITY v čase

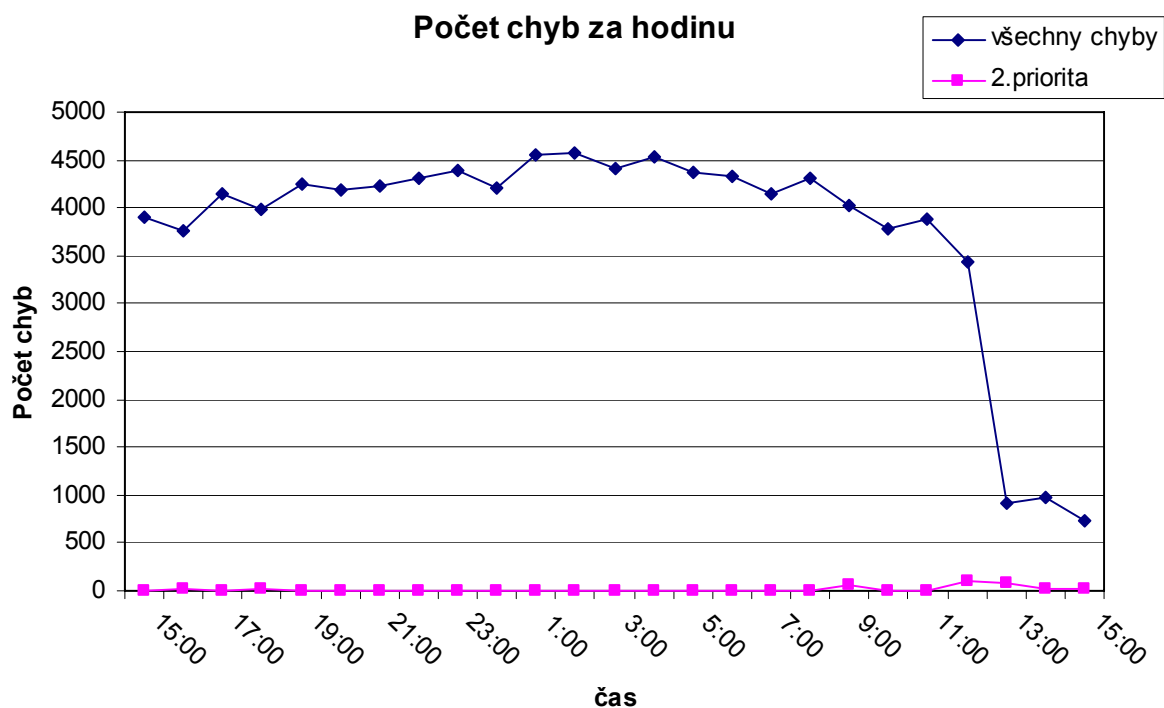
čas	301 NIT:UPPER DIST	310 SI.REP:PAT UPP DIST	314 SI.REP:PMT UPP DIST	316 SI.REP:NIT UPP DIST	318 SI.REP:SDT UPP DIST	322 SI.REP:EIT UPP DIST	324 SI.REP:RST LOW DIST	351 SDT:UPPER DIST	361 EIT:UPPER DIST	3. prioritá
15:00	2	74	172	2	10	0	0	10	0	270
16:00	0	95	166	0	17	0	0	17	0	295
17:00	0	120	231	0	6	0	0	6	0	363
18:00	1	96	169	1	14	0	0	14	0	295
19:00	0	118	220	0	7	0	0	7	0	352
20:00	2	131	226	2	12	0	0	12	0	385
21:00	0	103	199	0	13	0	0	13	0	328
22:00	0	129	223	0	7	0	0	7	0	366
23:00	0	129	256	0	7	0	0	7	0	399
0:00	0	98	198	0	6	0	0	6	0	308
1:00	0	170	300	0	11	0	0	11	0	492
2:00	0	164	309	0	10	0	0	10	0	493
3:00	0	139	256	0	6	0	0	6	0	407
4:00	0	166	291	0	11	0	0	11	0	479
5:00	0	141	240	0	9	0	0	9	0	399
6:00	0	134	234	0	8	0	0	8	0	384
7:00	1	113	228	1	10	0	0	10	0	363
8:00	0	135	249	0	15	0	0	15	0	414
9:00	5	97	187	5	14	1	0	14	1	324
10:00	2	100	173	2	22	0	0	22	0	321
11:00	2	82	164	2	11	0	0	11	0	272
12:00	7	81	152	7	15	0	0	15	0	277
13:00	1	106	210	1	19	0	0	19	0	356
14:00	0	144	287	0	15	0	0	15	0	461
15:00	1	97	195	1	20	0	0	20	0	334



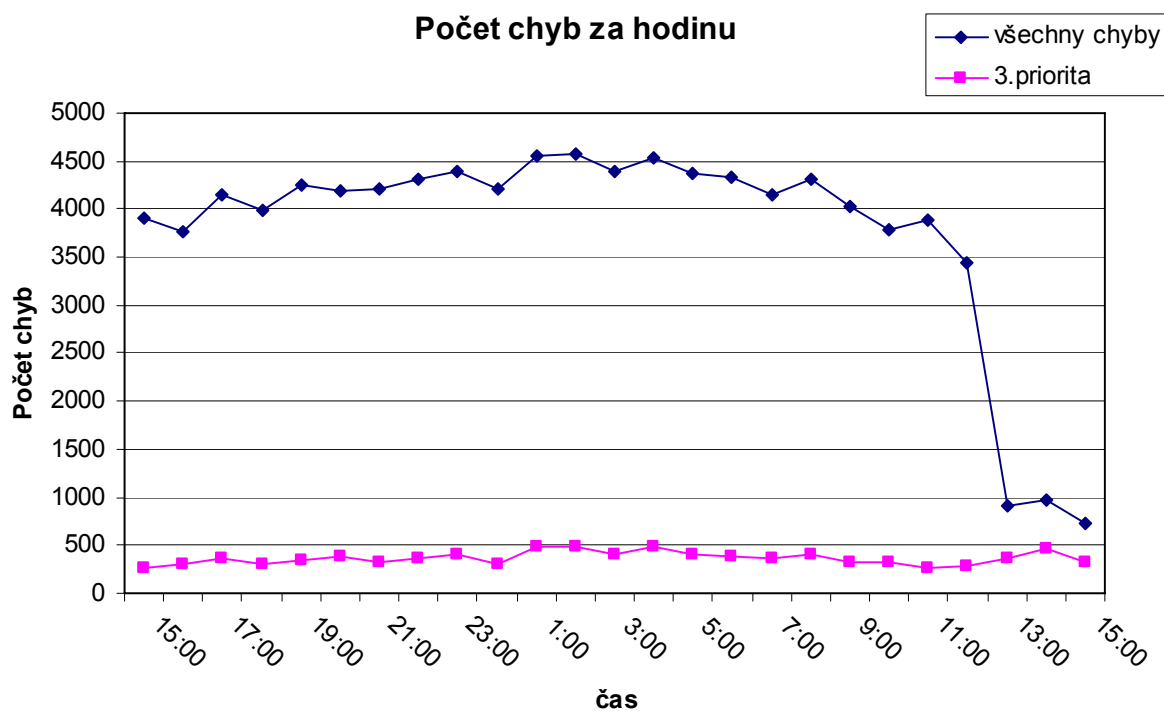
Obr. 28: Vybrané chyby v čase



Obr. 29: Chyby multiplexu 2 v čase s chybami 1.priority



Obr. 30: Chyby multiplexu 2 v čase s chybami 2.priority



Obr. 31: Chyby multiplexu 2 v čase s chybami 3.priority

3.4 CSLink

Měření satelitního vysílání probíhalo dne 5.3.2009 od 9:00 do 14:00 hodin. Úroveň signálu byla 54 dBuV. Za tu dobu se v přijímaném signálu vyskytlo více než 285 tisíc chyb (viz Tab. 18). Vysílání bylo měřeno na anténě umístěné na střeše budovy VUT.

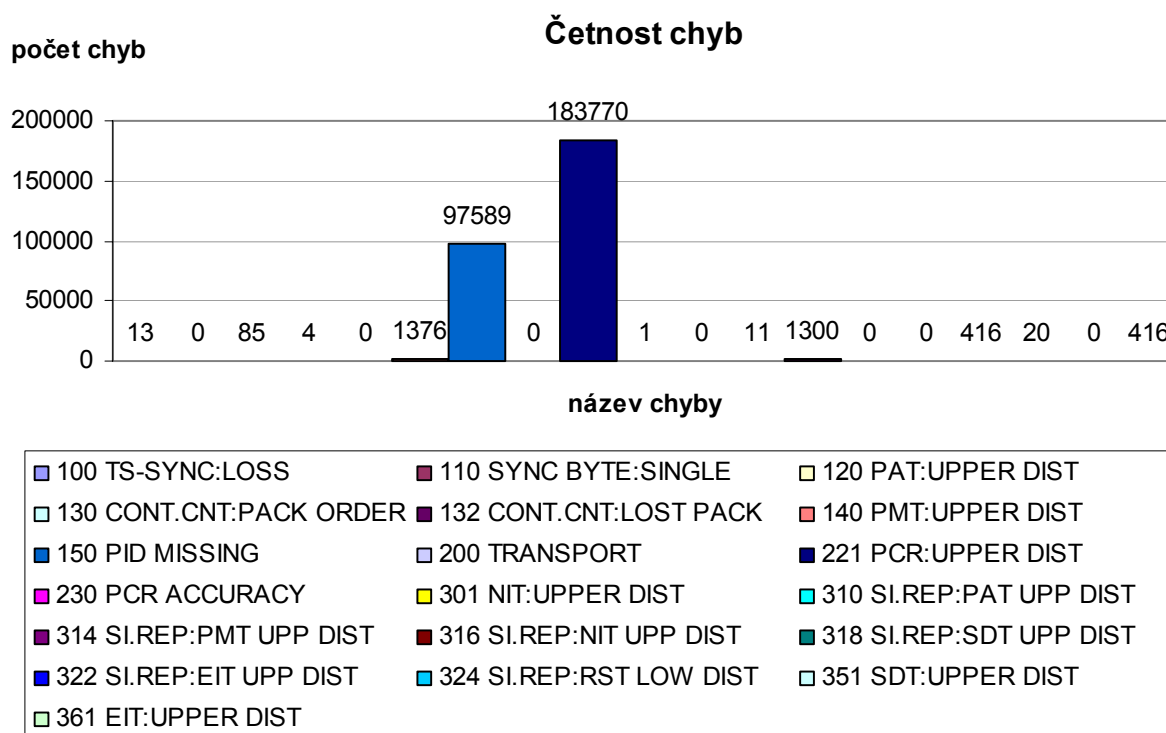
Tab. 18: Zkrácená tabulka naměřených hodnot satelitního vysílání

čas	chyba		trvání [s]	hodnota	popis
9:16:43	101	TS-SYNC:OK			
9:16:44	100	TS-SYNC:LOSS			
9:16:51	101	TS-SYNC:OK			
9:16:52	100	TS-SYNC:LOSS			
9:16:53	101	TS-SYNC:OK			
9:16:54	100	TS-SYNC:LOSS			
9:16:54	101	TS-SYNC:OK			
9:16:57	100	TS-SYNC:LOSS			
9:16:57	101	TS-SYNC:OK			
9:16:59	150	PID MISSING	-----	0x0029	Program 8003 [CT 1], Private PES
9:16:59	150	PID MISSING	-----	0x0035	Program 8006 [CT 24], Private PES
9:16:59	150	PID MISSING	-----	0x0037	Program 8008 [Noe TV], Private PES
9:16:59	150	PID MISSING	-----	0x00D2	Program 8019 [CRo 2-Praha], Audio AC-3
9:16:59	150	PID MISSING	-----	0x00D4	Program 8023 [CRo Region], Audio AC-3
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.042	0x00B2	Program 8019 [CRo 2-Praha], Audio MPEG2
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.050	0x00B1	Program 8018 [CRo 1-Radio], Audio MPEG2
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.041	0x00B6	Program 8023 [CRo Region], Audio MPEG2
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.041	0x00B9	Program 8026 [CRo Leonard], Audio MPEG2
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.050	0x00B7	Program 8024 [BBC CZ], Audio MPEG2
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.041	0x00B5	Program 8022 [CRo 2+6/CRo], Audio MPEG2
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.042	0x00B8	Program 8025 [CRo D-dur], Audio MPEG2
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.049	0x00BA	Program 8027 [CRo Radio C], Audio MPEG2
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.050	0x00BB	Program 8028 [CRo Radio W], Audio MPEG2
9:16:59	221	PCR:UPPER DIST	0.049	0x00B3	Program 8020 [CRo 3-Vltav], Audio MPEG2
9:17:03	150	PID MISSING	-----	0x0029	Program 8003 [CT 1], Private PES
9:17:03	150	PID MISSING	-----	0x0035	Program 8006 [CT 24], Private PES
9:17:03	150	PID MISSING	-----	0x0037	Program 8008 [Noe TV], Private PES
9:17:03	150	PID MISSING	-----	0x00D2	Program 8019 [CRo 2-Praha], Audio AC-3
9:17:03	150	PID MISSING	-----	0x00D4	Program 8023 [CRo Region], Audio AC-3

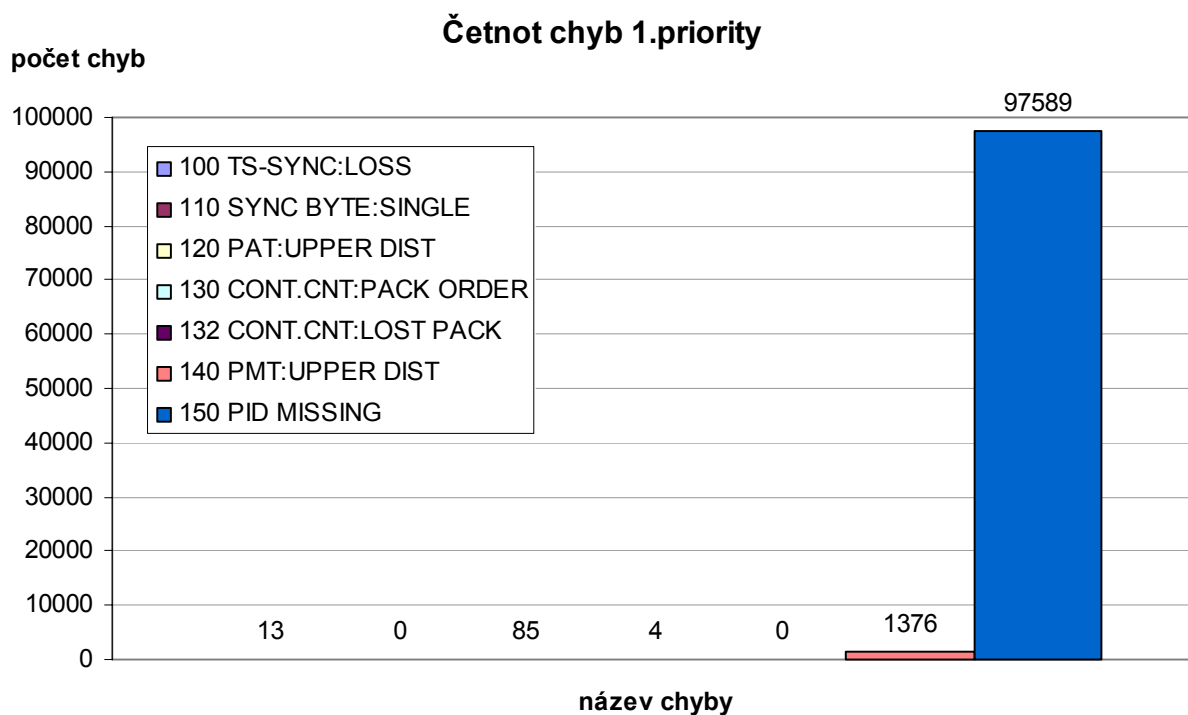
Zde jsou uvedeny počty chyb (viz Tab. 19) (viz Obr. 32, 33, 34 a 35), které se vyskytly v průběhu měření.

Tab. 19: Četnost chyb

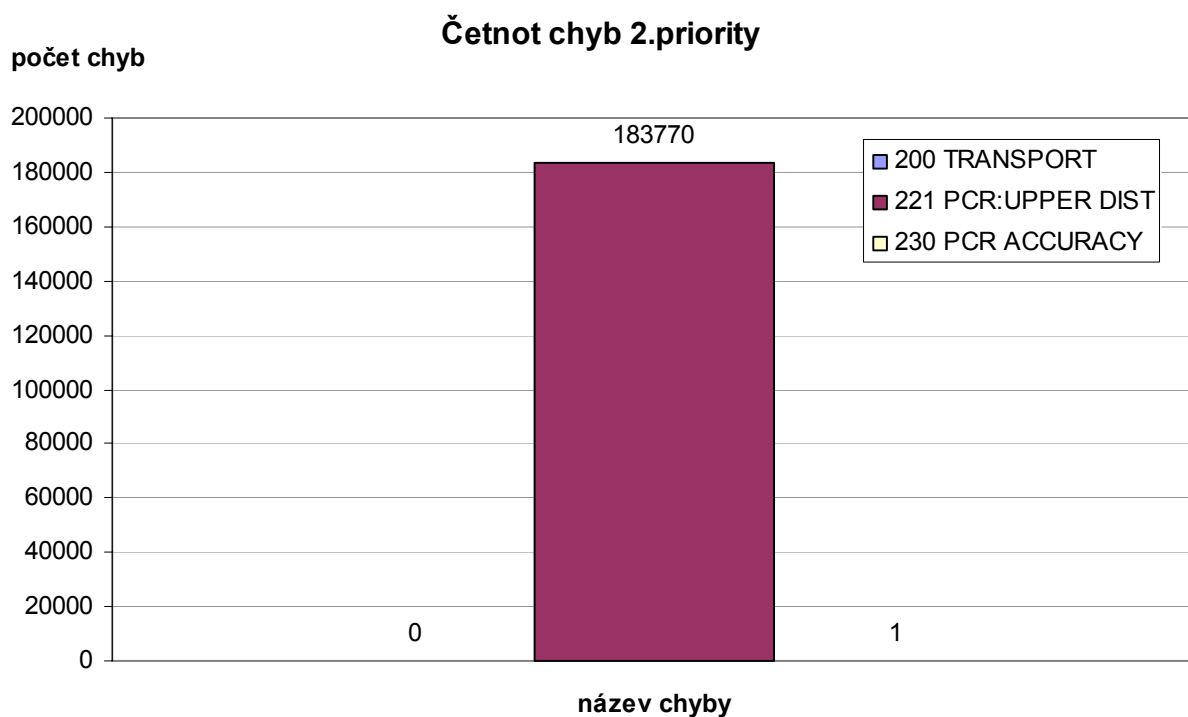
číslo chyby	název chyby	počet chyb
100	TS-SYNC:LOSS	13
110	SYNC BYTE:SINGLE	0
120	PAT:UPPER DIST	85
130	CONT.CNT:PACK ORDER	4
132	CONT.CNT:LOST PACK	0
140	PMT:UPPER DIST	1376
150	PID MISSING	97589
200	TRANSPORT	0
221	PCR:UPPER DIST	183770
230	PCR ACCURACY	1
301	NIT:UPPER DIST	0
310	SI.REP:PAT UPP DIST	11
314	SI.REP:PMT UPP DIST	1300
316	SI.REP:NIT UPP DIST	0
318	SI.REP:SDT UPP DIST	0
322	SI.REP:EIT UPP DIST	416
324	SI.REP:RST LOW DIST	20
351	SDT:UPPER DIST	0
361	EIT:UPPER DIST	416



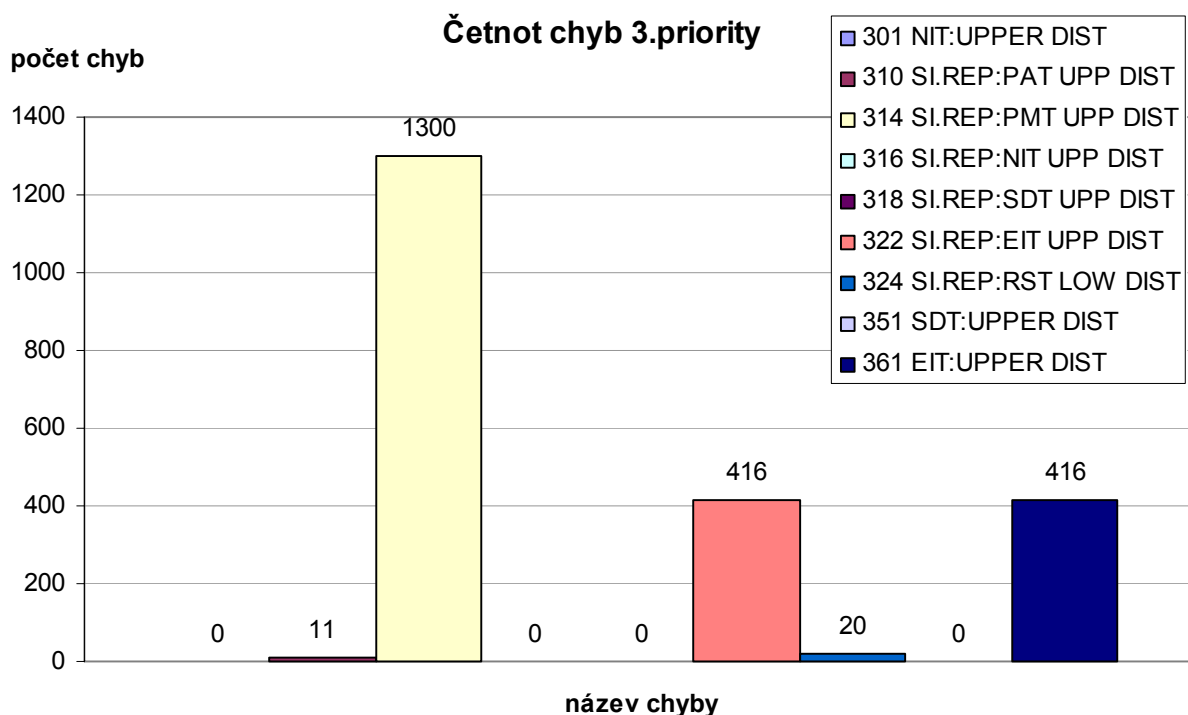
Obr. 32: Rozložení chyb podle počtu



Obr. 33: Rozložení chyb 1.priority podle počtu



Obr. 34: Rozložení chyb 2.priority podle počtu

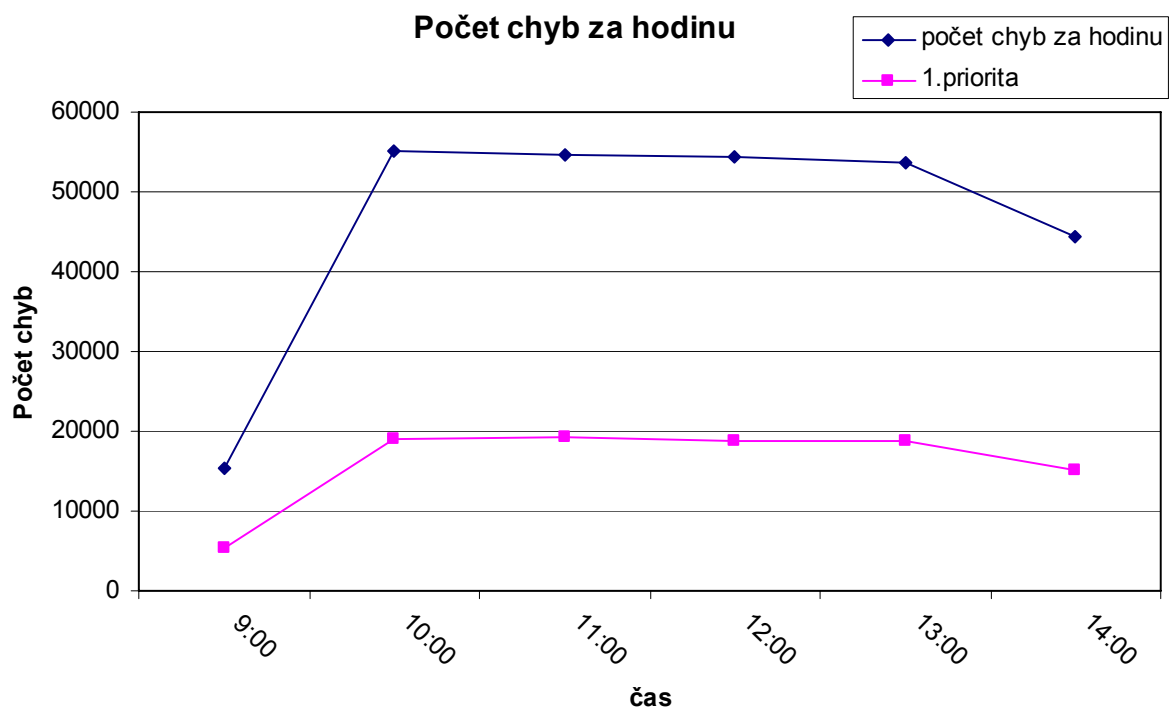


Obr. 35: Rozložení chyb 3.priority podle počtu

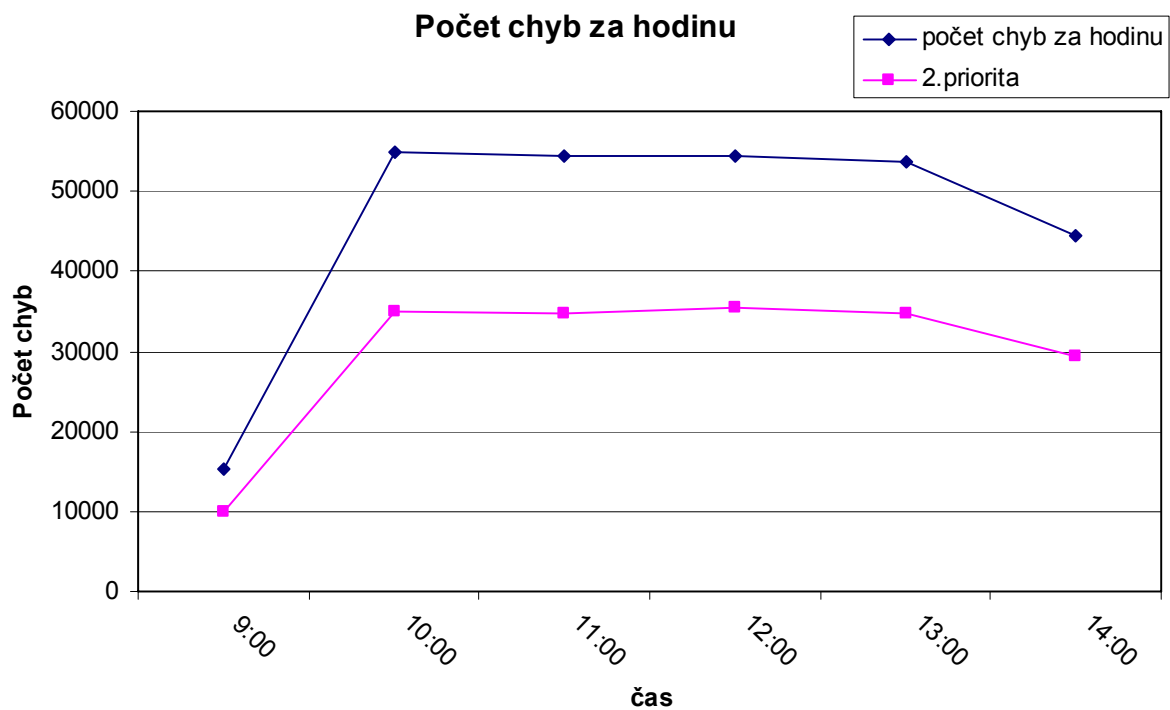
Dále je uvedena tabulka (viz Tab. 20) a grafy (viz Obr. 36, 37, 38 a 39) pro počet chyb po hodinách v době mezi 9:00 a 15:00.

Tab. 20: Počet chyb v čase

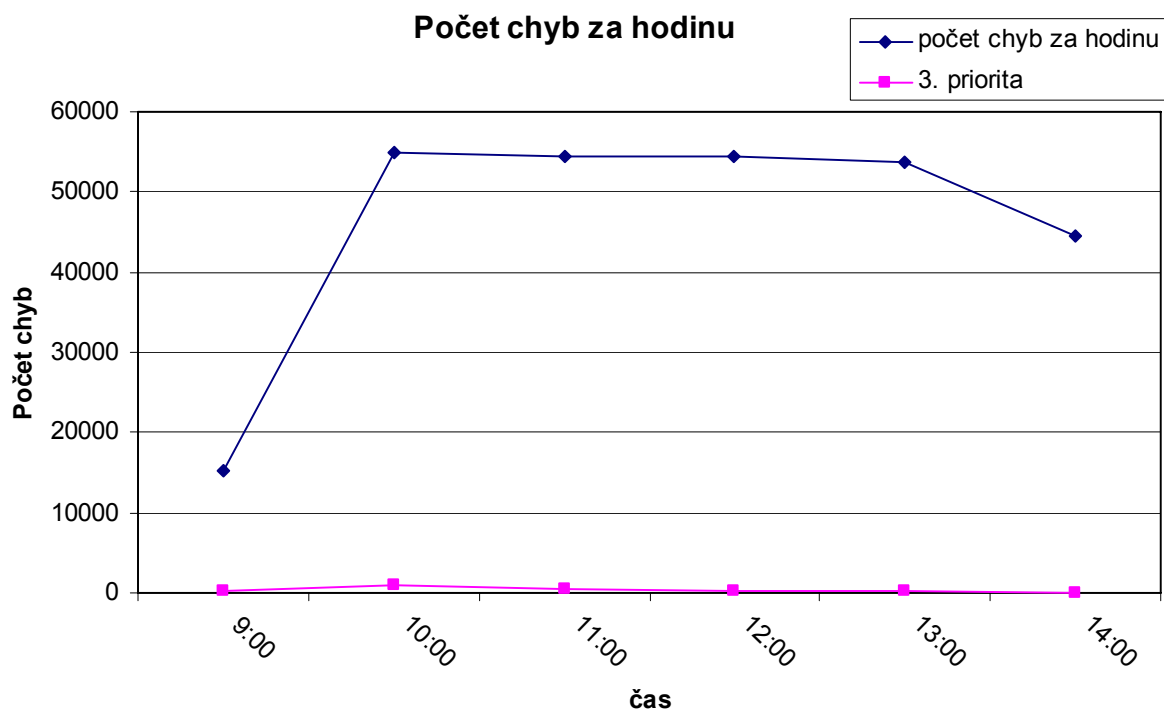
	čas	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
	počet	15358	55010	54527	54435	53686	44497
100	TS-SYNC:LOSS	4	0	0	0	0	0
110	SYNC BYTE:SINGLE	0	0	0	0	0	0
120	PAT:UPPER DIST	3	24	28	11	15	0
130	CONT.CNT:PACK ORDER	0	0	2	0	2	0
132	CONT.CNT:LOST PACK	0	0	0	0	0	0
140	PMT:UPPER DIST	48	400	448	176	240	0
150	PID MISSING	5217	18704	18774	18699	18437	15191
200	TRANSPORT	0	0	0	0	0	0
221	PCR:UPPER DIST	9859	34914	34827	35366	34728	29296
230	PCR ACCURACY	0	1	0	0	0	0
301	NIT:UPPER DIST	0	0	0	0	0	0
310	SI.REP:PAT UPP DIST	0	3	2	1	3	0
314	SI.REP:PMT UPP DIST	45	378	422	165	228	0
316	SI.REP:NIT UPP DIST	0	0	0	0	0	0
318	SI.REP:SDT UPP DIST	0	0	0	0	0	0
322	SI.REP:EIT UPP DIST	90	292	11	6	13	4
324	SI.REP:RST LOW DIST	2	2	2	5	7	2
351	SDT:UPPER DIST	0	0	0	0	0	0
361	EIT:UPPER DIST	90	292	11	6	13	4
	1. priorita	5272	19128	19252	18886	18694	15191
	2. priorita	9859	34915	34827	35366	34728	29296
	3. priorita	227	967	448	183	264	10



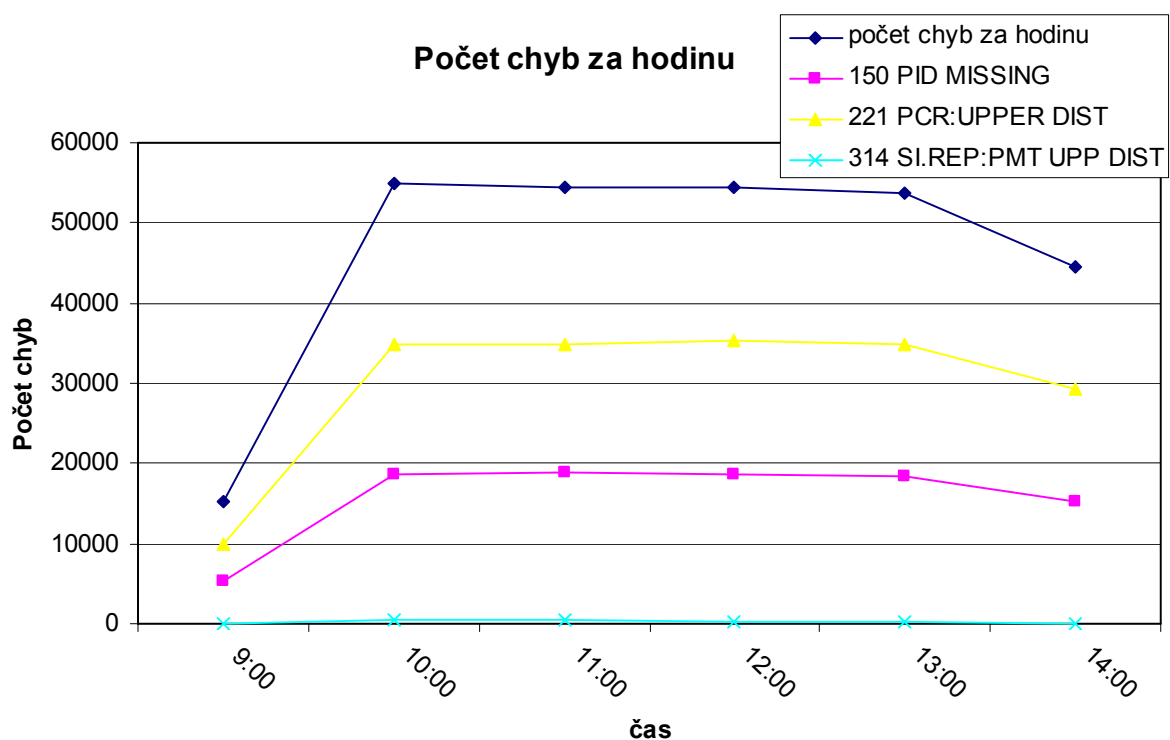
Obr. 36: Počet všech chyb a počet chyb 1.priority v čase



Obr. 37: Počet všech chyb a počet chyb 2.priority v čase



Obr. 38: Počet všech chyb a počet chyb 3.priority v čase



Obr. 39: Počet všech chyb a počet chyb vybraných chyb v čase

3.5 ***Datové toky***

Datové toky multiplexů byly měřeny programem R&S Stream Explorer. Tato data program načetl během krátké doby. Problém byl s častým vypadáváním synchronizace, přičemž program začal vždy měřit znovu a předchozí data se ztratila. Je zde jasně patrné z jakých dat se skládají jednotlivé toky. TS se skládá z jednotlivých PSI/SI tabulek, TV programů, rádií a nulových paketů. TV program se dále dělí na video (MPEG-2), audio (pozemní vysílání MPEG-1 a cslink MPEG-2) a privátní tabulky PES. V datových tocích je patrné jejich velikost (datarate), kolik zabírají procent datového toku (bandwith) a absolutní maximální a minimální velikost datového toku (absMax a absMin).

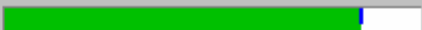
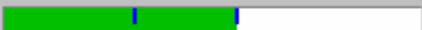
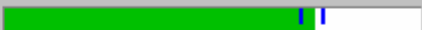
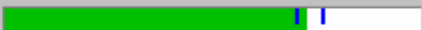
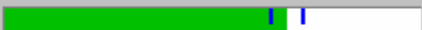
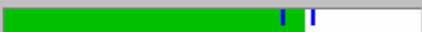
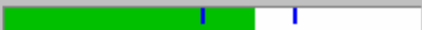
Z výsledků měření je patrné, že datový tok 1. a 2. multiplexu je stále 20Mbit/s a pro satelitní vysílání je 38Mbit/s. CSLink tedy může přenášet větší množství TV programů. U jednotlivých programů můžeme pozorovat hranice, ve kterých se měnil jejich datový tok v průběhu měření. Je to dáno poměrem, který byl programu přiřazen vzhledem k ostatním programům, náročnosti zobrazovaných dat a scén. Například statický obraz zpravodajství má menší datový tok než hokejové utkání nebo akční scény (viz Tab. 21, 22 a 23).

V případě rádiových vysílání využívají jednotlivé kanály asi 1% transportního toku. Jejich datový tok se po dobu měření téměř neměnil.

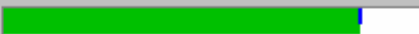
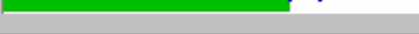
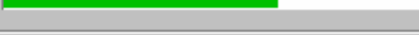
V tabulkách s PSI/SI je jasně patrné, že téměř celý objem dat vytváří EIT tabulka. Ostatní tabulky se podílejí každá na 0,01% datového toku (viz Tab. 24, 25 a 26).

Každý TV program se skládá z toku dat: jeden pro video, jeden či více pro audio a jedné privátní PES tabulky pro každý tok videa a audia (viz Tab. 27, 28 a 29).

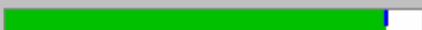
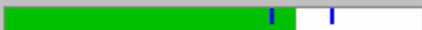
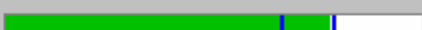
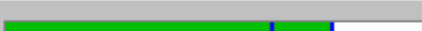
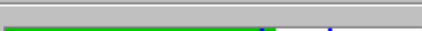
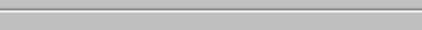
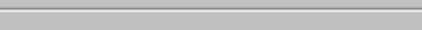
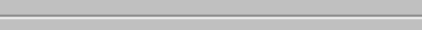
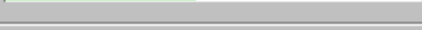
Tab. 21: Souhrnné datové toky 1.multiplexu

Data rates: net (payload only)							
Elapsed Time 00:00:00	1	10	100 kbit/s	1	10	100 Mbit/s	bandwidth
☒ Summary items only							absMax [Mbit/s]
							absMin [Mbit/s]
TS		19.9059	19.9059				
Summary		100.00%	19.9059				
PSI/SI		0.6386	0.6564				
Summary		3.21%	0.0388				
Program 257 [CT 1]		5.5433	6.7993				
Summary		27.85%	3.7198				
Program 258 [CT 2]		4.5492	6.7338				
Summary		22.85%	3.3941				
Program 259 [CT 24]		2.5600	3.9742				
Summary		12.86%	1.6806				
Program 260 [CT 4]		4.1929	5.1512				
Summary		21.06%	2.3229				
Program 16641 [CRo1-F		0.1723	0.1730				
Summary		0.87%	0.1715				
Program 16642 [CRo2-F		0.2043	0.2044				
Summary		1.03%	0.2027				
Program 16643 [CRo3-A		0.2033	0.2047				
Summary		1.02%	0.2026				
Program 16644 [CRo R.		0.2037	0.2045				
Summary		1.02%	0.2031				
Program 16645 [CRo D.		0.2662	0.2670				
Summary		1.34%	0.2657				
Program 16646 [CRo L.		0.1722	0.1732				
Summary		0.87%	0.1713				
Program 16647 [CRo R.		0.1099	0.1106				
Summary		0.55%	0.1086				
Null Packets		1.0773	3.2612				
Stuffing		5.41%	0.2483				

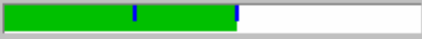
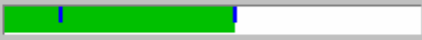
Tab. 22: Souhrnné datové toky 2.multiplexu

Data rates: net (payload only)			
Elapsed Time	00:00:00	1 10 100 kbit/s 1 10 100 Mbit/s	datarate absMax [Mbit/s]
☒ Summary items only		bandwidth absMin [Mbit/s]	
TS		19.9059	19.9059
Summary		100.00%	19.9059
PSI/SI		0.2763	0.3458
Summary		1.39%	0.1630
Program 513 [NOVA]		4.2395	4.9271
Summary		21.30%	2.8064
Program 769 [PRIMA]		4.8216	5.7215
Summary		24.22%	3.4524
Program 2049 [BARRA]		5.0553	5.0553
Summary		25.40%	3.3016
Program 514 [NOVA CII]		2.9366	6.7208
Summary		14.75%	2.9366
Program 770 [PRIMA 2]		2.1034	2.1153
Summary		10.57%	2.1020
Null Packets		0.4664	1.0169
Stuffing		2.34%	0.4051

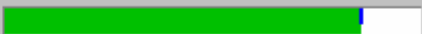
Tab. 23: Souhrnné datové toky satelitního vysílání

Data rates: net (payload only)			
Elapsed Time	00:00:00	1 10 100 kbit/s 1 10 100 Mbit/s	datarate absMax [Mbit/s]
☒ Summary items only		bandwidth absMin [Mbit/s]	
TS		38.0146	38.0146
Summary		100.00%	38.0146
PSI/SI		0.8363	1.2512
Summary		2.20%	0.5488
CA		-	-
Summary		-	-
Program 8002 [Prima TV]		3.2011	8.5637
Summary		8.42%	1.6407
Program 8003 [CT 1]		8.0539	9.1678
Summary		21.19%	2.1540
Program 8004 [CT 2]		8.5732	8.7104
Summary		22.55%	1.6923
Program 8006 [CT 24]		1.8613	8.2441
Summary		4.90%	1.2447
Program 8007 [CT 4]		7.1773	8.4747
Summary		18.88%	3.7774
Program 8008 [Noe TV]		3.2761	7.4891
Summary		8.62%	0.5977
Program 8018 [CRo 1-R]		0.2080	0.2099
Summary		0.55%	0.2014
Program 8019 [CRo 2-P]		0.2021	0.2099
Summary		0.53%	0.1971
Program 8020 [CRo 3-V]		0.2035	0.2090
Summary		0.54%	0.2003
Program 8021 [Proglas]		0.2089	0.2093
Summary		0.55%	0.2084
Program 8022 [CRo 2+R]		0.2021	0.2043
Summary		0.53%	0.1970
Program 8023 [CRo Re]		0.2020	0.2097
Summary		0.53%	0.1965
Program 8024 [BBC CZ]		0.2020	0.2043
Summary		0.53%	0.1970
Program 8025 [CRo D-c]		0.2786	0.2808
Summary		0.73%	0.2703
Program 8026 [CRo Lec]		0.2020	0.2037
Summary		0.53%	0.1968
Program 8027 [CRo Ra]		0.2020	0.2040
Summary		0.53%	0.1972
Program 8028 [CRo Ra]		0.2019	0.2042
Summary		0.53%	0.1968
Null Packets		2.0454	2.3424
Stuffing		5.38%	1.5838

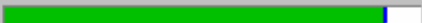
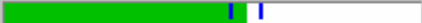
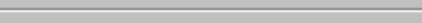
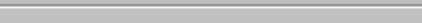
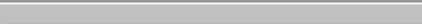
Tab. 24: Rozšířená tabulka TS o detaily PSI/SI 1.multiplexu

Data rates: net (payload only)			
Elapsed Time	00:00:00	1 10 100 kbit/s 1 10 100 Mbit/s	datarate absMax [Mbit/s] bandwidth absMin [Mbit/s]
☐ Summary items only			
PSI/SI			
Summary		0.6386 3.21%	0.6564 0.0388
PAT		0.0025 0.01%	0.0031 0.0016
PMT 257 [CT 1]		0.0029 0.01%	0.0031 0.0016
PMT 258 [CT 2]		0.0025 0.01%	0.0031 0.0016
PMT 259 [CT 24]		0.0025 0.01%	0.0031 0.0016
PMT 260 [CT 4]		0.0026 0.01%	0.0032 0.0016
PMT 16641 [CRo1-Radioz]		0.0027 0.01%	0.0032 0.0016
PMT 16642 [CRo2-Praha]		0.0028 0.01%	0.0032 0.0016
PMT 16643 [CRo3-Vltava]		0.0028 0.01%	0.0032 0.0016
PMT 16644 [CRo Radio W]		0.0028 0.01%	0.0031 0.0016
PMT 16645 [CRo D-dur]		0.0028 0.01%	0.0031 0.0016
PMT 16646 [CRo Leonard]		0.0029 0.01%	0.0031 0.0016
PMT 16647 [CRo Radio C]		0.0030 0.01%	0.0031 0.0016
NIT		0.0001 0.00%	0.0002 0.0001
SDT		0.0008 0.00%	0.0034 0.0008
EIT		0.6017 3.02%	0.6208 0.0051
RST		0.0001 0.00%	0.0002 0.0000
TDT		0.0004 0.00%	0.0008 0.0003
TOT		0.0004 0.00%	0.0016 0.0003
MIP		0.0025 0.01%	0.0025 0.0013

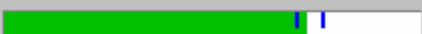
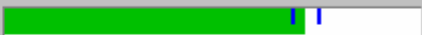
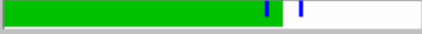
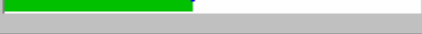
Tab. 25: Rozšířená tabulka TS o detaily PSI/SI 2.multiplexu

Data rates: net (payload only)			
Elapsed Time	00:00:00	1 10 100 kbit/s 1 10 100 Mbit/s	datarate absMax [Mbit/s]
☐ Summary items only		bandwidth absMin [Mbit/s]	
TS		19.9059	19.9059
Summary		100.00%	19.9059
PSI/SI		0.2763	0.3458
Summary		1.39%	0.1630
PAT		0.0032	0.0032
		0.02%	0.0016
PMT 513 [NOVA]		0.0025	0.0032
		0.01%	0.0016
PMT 769 [PRIMA]		0.0024	0.0031
		0.01%	0.0016
PMT 2049 [BARRANDOV T		0.0016	0.0031
		0.01%	0.0016
PMT 514 [NOVA CINEMA]		0.0027	0.0031
		0.01%	0.0016
PMT 770 [PRIMA 2]		0.0022	0.0032
		0.01%	0.0016
CAT		0.0016	0.0031
		0.01%	0.0016
NIT		0.0001	0.0002
		0.00%	0.0001
SDT		0.0008	0.0015
		0.00%	0.0005
EIT		0.2565	0.3245
		1.29%	0.1418
TDT		0.0002	0.0003
		0.00%	0.0001
TOT		0.0002	0.0003
		0.00%	0.0001
MIP		0.0025	0.0025
		0.01%	0.0012

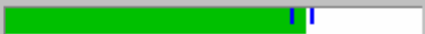
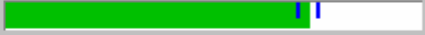
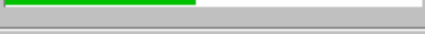
Tab. 26: Rozšířená tabulka TS vybraných programů o detaily PSI/SI satelitního vysílání

Data rates: net (payload only)				
Elapsed Time 00:00:00		1 10 100 kbit/s 1 10 100 Mbit/s		bandwidth
☐ Summary items only				
TS				
Summary		38.0146	38.0146	[Mbit/s]
		100.00%	38.0146	[Mbit/s]
PSI/SI				
Summary		0.8363	1.2512	
		2.20%	0.5488	
PAT		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0209	
PMT 8002 [Prima TV]		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0209	
PMT 8003 [CT 1]		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0209	
PMT 8004 [CT 2]		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0209	
PMT 8022 [CRo 2+6/CRo]		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0209	
PMT 8023 [CRo Region]		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0209	
PMT 8024 [BBC CZ]		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0209	
PMT 8025 [CRo D-dur]		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0209	
CAT		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0209	
NIT		0.0225	0.0226	
		0.06%	0.0193	
SDT		0.0210	0.0226	
		0.06%	0.0113	
EIT		0.3659	0.7951	
		0.96%	0.0769	
RST		0.0000	0.0014	
		0.00%	0.0000	
TDT		0.0001	0.0002	
		0.00%	0.0001	
TOT		0.0001	0.0002	
		0.00%	0.0001	
CA				
Summary		-	-	
		-	-	
System Id 0x0D0F		-	-	
		-	-	
System Id 0x0D03		-	-	
		-	-	
System Id 0x0D70		-	-	
		-	-	

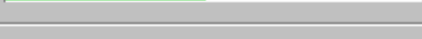
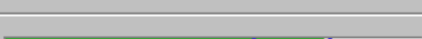
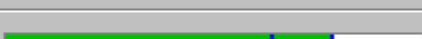
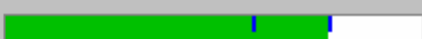
Tab. 27: Přehled datových toků programů ČT2, ČT24, ČT4, radií Český rozhlas1 a 2 1.multiplexu

Data rates: net (payload only)			
Elapsed Time	00:00:00	1 10 100 kbit/s 1 10 100 Mbit/s	datarate absMax [Mbit/s] bandwidth absMin [Mbit/s]
☐ Summary items only			
Program 258 [CT 2]			
Summary		4.5492 6.7338	22.85% 3.3941
Video MPEG2		4.1199 6.3047	20.70% 2.9649
Audio MPEG1		0.2037 0.2040	1.02% 0.2034
Private PES		0.2256 0.2257	1.13% 0.2254
Program 259 [CT 24]			
Summary		2.5600 3.9742	12.86% 1.6806
Video MPEG2		2.3186 3.7329	11.65% 1.4395
Audio MPEG1		0.2037 0.2039	1.02% 0.2034
Private PES		0.0376 0.0376	0.19% 0.0376
Program 260 [CT 4]			
Summary		4.1929 5.1512	21.06% 2.3229
Video MPEG2		3.8012 4.7597	19.10% 1.9312
Audio MPEG1		0.2037 0.2039	1.02% 0.2033
Private PES		0.1880 0.1882	0.94% 0.1879
Program 16641 [CRo1-f			
Summary		0.1723 0.1730	0.87% 0.1715
Audio MPEG1		0.1723 0.1730	0.87% 0.1715
Program 16642 [CRo2-f			
Summary		0.2043 0.2044	1.03% 0.2027
Audio MPEG1		0.2043 0.2044	1.03% 0.2027

Tab. 28: Přehled datových toků programů Nova, Prima, Barrandov a Nova Cinema 2.multiplexu

Data rates: net (payload only)							
Elapsed Time 00:00:00	1	10	100 kbit/s	1	10	100 Mbit/s	
☐ Summary items only							
Program 513 [NOVA]							
Summary		4.2395	4.9271				
		21.30%	2.8064				
Video MPEG2		3.8103	4.4979				
		19.14%	2.3772				
Audio MPEG1		0.2036	0.2038				
		1.02%	0.2035				
Private PES		0.2256	0.2258				
		1.13%	0.2253				
Program 769 [PRIMA]							
Summary		4.8216	5.7215				
		24.22%	3.4524				
Video MPEG2		4.3924	5.2925				
		22.07%	3.0230				
Audio MPEG1		0.2036	0.2039				
		1.02%	0.2035				
Private PES		0.2256	0.2260				
		1.13%	0.2252				
Program 2049 [BARRAI]							
Summary		5.0553	5.0553				
		25.40%	3.3016				
Video MPEG2		4.6261	4.6261				
		23.24%	2.8724				
Audio MPEG1		0.2036	0.2038				
		1.02%	0.2036				
Private PES		0.2256	0.2258				
		1.13%	0.2252				
Program 514 [NOVA CII]							
Summary		2.9366	6.7208				
		14.75%	2.9366				
Video MPEG2		2.5074	6.2916				
		12.60%	2.5074				
Audio MPEG1		0.2036	0.2039				
		1.02%	0.2035				
Private PES		0.2256	0.2258				
		1.13%	0.2254				

Tab. 29: Přehled datových toků programů Prima, ČT1 a ČT2 satelitního vysílání

Data rates: net (payload only)			
Elapsed Time	00:00:00	1 10 100 kbit/s 1 10 100 Mbit/s	datarate absMax [Mbit/s]
☐ Summary items only		bandwidth absMin [Mbit/s]	
Program 8002 [Prima T1]			
Summary		3.2011 8.5637	
		8.42% 1.6407	
Private PES		0.2275 0.2315	
		0.60% 0.2201	
Audio MPEG2		0.1984 0.1988	
		0.52% 0.1980	
Audio MPEG2		0.1357 0.1361	
		0.36% 0.1355	
Video MPEG2		2.6395 8.0064	
		6.94% 1.0762	
Program 8003 [CT 1]			
Summary		8.0539 9.1678	
		21.19% 2.1540	
Private PES		0.2228 0.2289	
		0.59% 0.2223	
Private PES		0.0000 0.0000	
		0.00% 0.0000	
Audio MPEG2		0.2715 0.2721	
		0.71% 0.2710	
Audio MPEG2		0.1985 0.1988	
		0.52% 0.1980	
Private PES		0.4606 0.4616	
		1.21% 0.4596	
Video MPEG2		6.9005 8.0097	
		18.15% 0.9984	
Program 8004 [CT 2]			
Summary		8.5732 8.7104	
		22.55% 1.6923	
Private PES		0.2267 0.2291	
		0.60% 0.2222	
Audio MPEG2		0.2715 0.2721	
		0.71% 0.2710	
Audio MPEG2		0.1984 0.1988	
		0.52% 0.1981	
Video MPEG2		7.8765 8.0136	
		20.72% 0.9989	

4 Závěr

Během měření vyšla najevo absolutní nepoužitelnost signálu, který byl k dispozici pro sledování TV vysílání. Obsahoval příliš mnoho chyb, které nebyly opraveny. Přenos obsahoval velké výpadky signálu, které způsobily častou ztrátu synchronizace, hlavně v případě 1.multiplexu. V ostatních případech byl přenos již lepší, ale stále hluboko pod hranicí použitelnosti. V obraze sledovaném na LCD TV se z toho důvodu objevovaly blokové artefakty a často signál vypadal úplně. Všechny tyto výpadky byly zaznamenány programem R&S Stream Explorer a byly vyhodnoceny podle priority a četnosti v tabulkách a grafech.

V první části měření chyb bylo patrné, kdy probíhala výuka v laboratoři a to skokovým zhoršením kvality signálu. Naopak v noci, kdy v budově nikdo nebyl, byl přenos nejlepší. Nebylo to však pravidlem, protože například u měření 1.multiplexu bylo nejméně chyb od 22:00 do 0:00 a poté chybovost rostla až do 14:00. V případě 2.multiplexu byla chybovost po celou dobu měření stejná až na interval od 13:00 do 15:00 hodin, kdy chybovost klesla čtyřikrát. V posledním měření satelitního vysílání bylo zaznamenáno skokové zvýšení chyb mezi 9:00 a 10:00, kdy se chybovost zvýšila pětkrát.

V druhé části měření datových toků jsou v tabulkách zobrazeny datové toky. Lze z nich vyčíst kolik procent pásma a s jakým datovým tokem jsou použity pro jednotlivé části v celkovém datovém toku. Také se zde uvádí maximální a minimální datový tok v měřeném intervalu. Bohužel díky častým výpadkům synchronizace nemohlo měření probíhat delší dobu než několik minut, protože při každé ztrátě synchronizace se naměřené hodnoty vynulovaly a při opětovné synchronizaci měření probíhalo od začátku. Proto bylo potřeba měření často zastavovat, ukládat hodnoty a ty pak vyhodnocovat. Toto měření se ukládalo do souboru *.se a můžete je nalézt v příloze na DVD.

5 Literatura

- [1] FISCHER, W. Digital Television. A practical Guide for Engineers. New York: Springer, 2004.
- [2] LEGÍN, M. Televizní technika DVB-T. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 286 s. ISBN80-7300-204-3
- [3] ETSI TR 101 290 v1.2.1 (2001-05). Technical report. Digital Video broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems. ETSI, 2001.
- [4] ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-01). European Standard. Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial TV. European Broadcasting Union, 2001.
- [5] WERNER, W. R&S DVMD Measurement Decoder – operating manual. Germany: Rohde&Schwarz, 2001.

6 Seznam zkratk, symbolů a příloh

ATSC	Advanced Television Systems Committee
BAT	Bouquet Association Table
CA	Conditional Access
CAT	Conditional Access Table
CRC	Cyclic Redundancy Check
DCT	Discrete Cosine Transform
DTS	Decoding Time Stamp
DVB	Digital Video Broadcasting
DVMD	Digital Video Measurement Decoder
EIT	Event Information Table
ES	Elementary Stream
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
HD TV	High Definition TV
Hex	Hexadecimální soustava
ISO	International Organization for Standardization
MIP	Megaframe Initialization Packet
MPEG	Moving Picture Experts Group
NIT	Network Information Table
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
PAT	Program Association Table
PCR	Program Clock Reference
PES	Packetized Elementary Stream
PID	Packet Identity
PMT	Program Map Table
PS	Program Stream
PSI	Program-Specific Information
PSIP	Program and System Information Protocol
PTS	Presentation Time Stamp
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
SDT	Service Description Table
SI	Service Information
ST	Stuffing Table

TDT	Time and Date Table
TOT	Time Offset Table
TS	Transport Stream
VSB	Vestigial Sideband Modulation