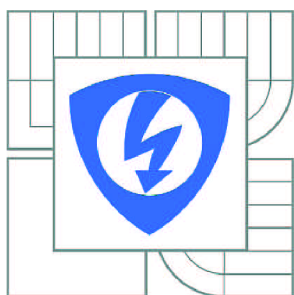


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## ANALÝZA PŘENOSU A MĚŘENÍ SIGNÁLU DIGITÁLNÍ TELEVIZE DVB-S/S2

TRANSMISSION ANALYSIS AND MEASUREMENTS IN DIGITAL TELEVISION DVB-S/S2

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

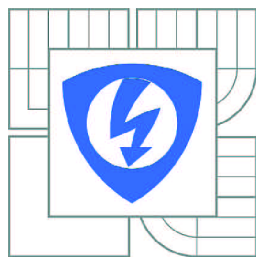
Bc. ONDŘEJ KALLER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. TOMÁŠ KRATOCHVÍL, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Bc. Ondřej Kaller

**ID:** 78599

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2009/2010

## NÁZEV TÉMATU:

### **Analýza přenosu a měření signálu digitální televize DVB-S/S2**

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce se seznámte se způsobem přenosu satelitní digitální televize podle standardu DVB-S/S2. Dále se seznámte s přístroji Kathrein MSK-200, R&S DVMD a R&S DVQ. V praktické části práce změřte kvalitativní parametry signálu při příjmu DVB-S/S2 v závislosti na nepřesném směřování antény, úrovni přijímaného signálu, proměnném poměru signálu nosné k šumu a pod. Dále změřte kvalitu obrazu metrikou DVQL jednotlivých programů paketu CS Link. V experimentální části práce vyhodnoťte vliv parametrů signálu při příjmu DVB-S/S2 na chybovost a kvalitu obrazu přenášeného v transportním toku MPEG-2 a dále na chyby vzniklé při přenosu v transportním toku. Výsledky zpracujte formou standardního protokolu o měření.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FISHER, W. Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A practical Engineering Guide. 2nd ed. Berlin: Springer, 2008. 586 s. ISBN 978-3-540-76357-4
- [2] DVB-S. EN 300 421 V1.1.2 (08/97). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services. ETSI, 1997.
- [3] DVB-S2. EN 302 307 V1.1.2 (06/06). Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications. ETSI, 2006.

**Termín zadání:** 8.2.2010

**Termín odevzdání:** 21.5.2010

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

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**  
Předseda oborové rady

#### **UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA

## POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

### 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Ondřej Kaller  
Bytem: Emila Pajurka 106, Frýdlant nad Ostravicí, 73911  
Narozen/a (datum a místo): 13. dubna 1986 ve Frýdku-Místku

(dále jen „autor“)

a

### 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika  
(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Analýza přenosu a měření signálu digitální televize DVB-S/S2

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: \_\_\_\_\_

VŠKP odevzdal autor nabyvateli\*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

---

\* hodící se zaškrtněte

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užit, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy  
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 21. května 2010

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se skládá z teoretického úvodu obsahujícího rešerši uvedené literatury z oblasti systému digitální družicové televize a hodnocení kvality digitálního obrazového signálu. Dále jsou uvedeny výsledky měření vlastností signálu vybraného televizního kanálu standardu DVB-S z družice ASTRA 1E a DVB-S2 z družice ASTRA 1L. V práci je obsažen výpočet energetické bilance downlinku a výsledky 24 hodinového měření chybovosti TS toku CS linku. Pro jednotlivé programy tohoto paketu také byla po 24 hodin metrikou DVQL měřena kvalita obrazu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

DVB-S, DVB-S2, digitální satelitní příjem, kanálové kódování, modulace, energetická bilance, kvalita obrazu, DVQL, DVMD, MPEG2 Transport Stream,

## **ABSTRACT**

This master's theses consists of theoretical introduction which includes basic search of referenced literature about digital television systems and picture quality classification. The results of signal character measurement of selected TV channels from satellites ASTRA 1E (DVB-S) and ASTRA 1L (DVB-S2) are provided. The energy budget calculation of downlink and results of 24-hour TS error rate measurement is included as well. The video quality by DVQL metric for each particular program of CS link stream was measured during full 24 hours.

## **KEYWORDS**

DVB-S, DVB-S2, digital satellite broadcasting, channel coding, modulation, energy budget, video quality, DVQL, DVMD, MPEG2 Transport Stream,

KALLER, O. *Analýza přenosu a měření signálu digitální televize DVB-S/S2*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 42 s., 4 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, PhD.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Analýza přenosu a měření signálu digitální televize DVB-S/S2 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a-jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Tomáši Kratochvílovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)



# OBSAH

<b>Seznam příloh</b>	<b>2</b>
<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>1 Vybraná teorie satelitního přenosu digitálního televizního signálu</b>	<b>4</b>
1.1 Systém DVB-S/S2 .....	4
1.2 Modulátor DVB-S/S2 .....	5
1.3 Předzpracování signálu v systému DVB-S.....	7
1.4 Kanálové kódování v systému DVB-S/S2.....	8
<b>2 Datový tok MPEG-2 TS a jeho měření</b>	<b>9</b>
2.1 Struktura paketu TS .....	10
<b>3 Posouzení kvality obrazu digitálních signálů</b>	<b>11</b>
3.1 Metody měření kvality .....	11
<b>4 Měření parametrů přijatého signálu Na rádiovém rozhraní</b>	<b>14</b>
4.1 Vizualizace příjmu z družice ASTRA 3A .....	19
4.2 Cejchovní křivky STB Humax 2000 .....	21
4.3 Energetická bilance downlinku pro měřený družicový spoj .....	22
<b>5 Praktické srovnání systémů DVB-S a DVB-S2</b>	<b>24</b>
5.1 Rádiové rozhraní – použité modulátory .....	24
5.2 Kanálové kódování – účinnost zabezpečení.....	30
<b>6 Měření parametrů MPEG-2 TS</b>	<b>32</b>
<b>7 Měření Kvality obrazu</b>	<b>35</b>
<b>Závěr</b>	<b>39</b>
<b>Literatura</b>	<b>40</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>41</b>
<b>Přílohy – Tabulky naměřených hodnot</b>	<b>43</b>

# SEZNAM PŘÍLOH

Tab.1: Vlastnosti signálu DVB-S v závislosti na útlumu první satelitní mezifrekvence .....	43
Tab.2: Vlastnosti signálu DVB-S v závislosti na chybě natočení azimutu .....	44
Tab.3: Vlastnosti signálu DVB-S2 v závislosti na útlumu první satelitní mezifrekvence .....	45
Tab.4: Vlastnosti signálu DVB-S2 v závislosti na chybě natočení azimutu .....	45
Tab.5: Rozcestník dalších naměřených hodnot .....	46

# ÚVOD

Diplomová práce je postavena na teoretických základech semestrálního projektu 1 a zahrnuje v sobě i východiska semestrálního projektu 2. Její teoretickou částí je vypracování rešerše níže uvedené literatury jednak z oblasti rádiového přenosu a kanálového kódování signálů digitální satelitní televize, dále pak části zabývající se subjektivním a objektivním hodnocením kvality obrazu.

Vlastní projekt je dělen do čtyř samostatných celků. V prvním bylo prováděno měření na rádiovém rozhraní. Součástí této kapitoly je i výpočet energetické bilance downlinku. Druhá část se zabývá srovnáním modulačních technik a kanálového kódování systémů DVB-S a DVB-S2, a to jak v teoretické - modelové rovině, tak srovnáním naměřených parametrů. Měření v dalších částech byly provedeny pouze pro systém DVB-S. V souladu se zadáním byla po 24 hodin měřena chybovost transportního toku MPEG2 TS služby CS link a provedeno vyhodnocení zjištěných chyb. Poslední část se skládá ze statistického zpracování a zhodnocení výsledků souboru měření kvality obrazu, jež byla separátně prováděna pro jednotlivé programy CS linku.

# 1 VYBRANÁ TEORIE SATELITNÍHO PŘENOSU DIGITÁLNÍHO TELEVIZNÍHO SIGNÁLU

Přijem analogového a zejména digitálního satelitního vysílání je dnes vysoce rozšířen díky své jednoduchosti a cenové přístupnosti. Analogové vysílání se již stává minulostí, neboť je již z majoritní části vytlačeno digitálním, a to ve standartu DVB-S, či v poslední době rozšiřujícím se obecnějším formátu DVB-S2.

Všechny komunikační satelity pro tuto přímou družicovou službu obíhají na geostacionární dráze ve výšce cca 35786 km nad rovníkem. Družice na geostacionární dráze má stejnou úhlovou rychlost oběhu kolem společného těžiště soustavy družice-Země jako je úhlová rychlost rotace Země. Perioda obletu Země je tedy jeden siderický den.

Vzhledem k faktu, že dráha pohybu družic není přesně geostacionární vzhledem k nehomogenitě gravitačního pole Země, je třeba pro pozemní segment s anténami majícími malou šířku svazku počítat s rušeným pohybem. [1]

Principiálně mohou být pro šíření digitálního signálu použity stávající satelity šířící analogový signál. Bohužel v Evropě musí být použito jiných frekvenčních pásem z důvodu trvajících zabrání předchozích pásem analogovými signály. [2]

Mezi principiální požadavky na modulaci pro satelitní přenos je jednak rezistence proti šumu, dále pak necitlivost vůči nelinearitám. Vzhledem ke vzdálenosti na jeden rádiový skok je zašumělý signál ze Země na družici přijímán s útlumem vyšším než 200dB. Jako aktivní prvek ve družicích se často používá elektronka s postupnou vlnou TWA. Tato elektronka má ve své převodní charakteristice řadu nelinearit, které nejdou potlačit změnou pracovního bodu vzhledem k nedostatku energie na družici. [1], [2]

## 1.1 Systém DVB-S/S2

[3], [4]

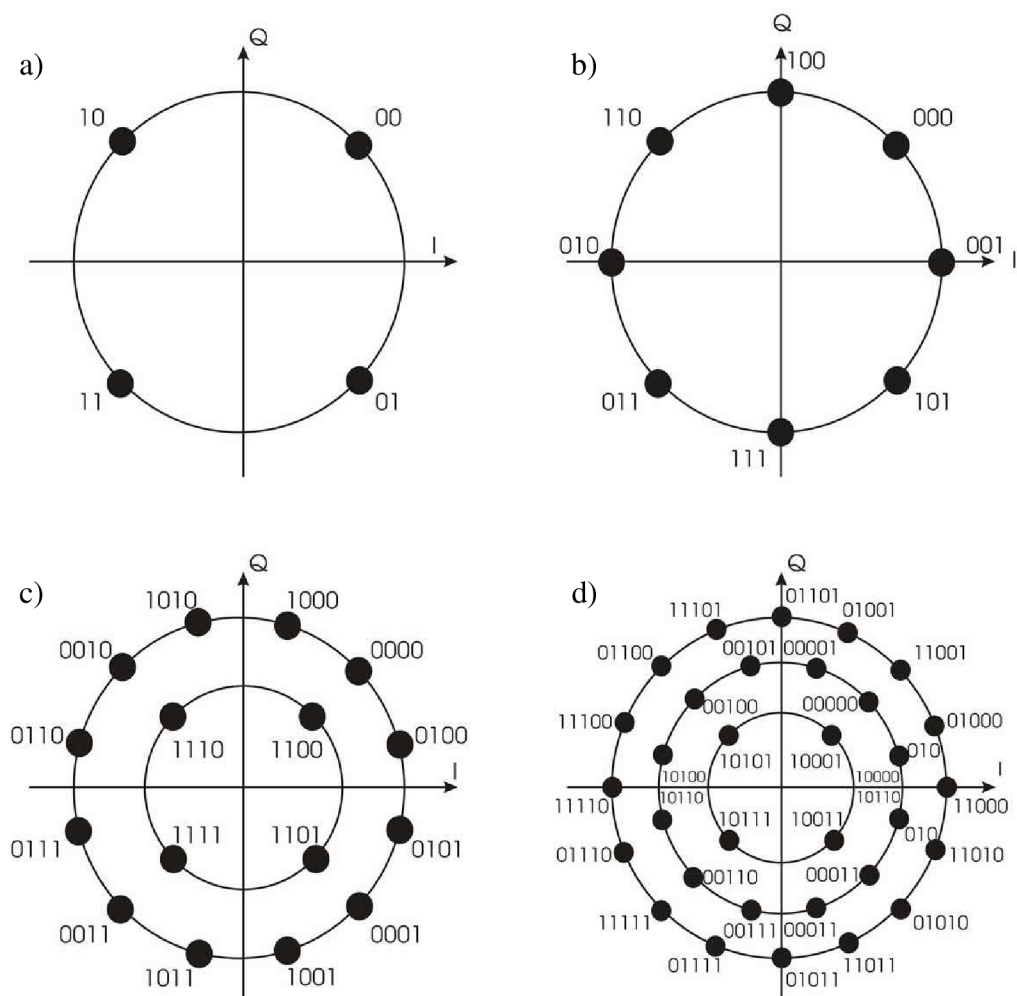
Zatímco u analogové satelitní televize byla pro přenos úplného barevného signálu používána širokopásmová frekvenční modulace, kdy kvůli intermodulaci byly zvukové doprovody odděleny, v systému DVB-S se používá výlučně modulace QPSK a v systému DVB-S2 ještě 8-PSK. Pro přenos signálů především v pevné družicové službě, kde se předpokládá sofistikovanější pozemní segment, se v tomto systému počítá i s použitím modulací 16APSK či 32APSK. (Obr.1)

Šířka satelitního kanálu pro přímou družicovou službu se většinou pohybuje mezi 26 a 36 MHz.

Je samozřejmě nezbytné použít symbolovou rychlost, která produkuje spektrum užší než daný kanál, většinu 27 MS/s. Při modulaci QPSK máme tedy maximální použitelnou bitovou rychlost pro surová, kanálovým kódováním nechráněná, data 55 Mbit/s.

Jak bylo zmíněno výše, MPEG-2 transportní tok musí být před posláním do modulátoru ošetřen opravnými kódy, a to nejprve na úrovni paketů pomocí Reed-Solomonova kódu, dále pak na úrovni bitů konvolučním kódem. Kódový poměr prvního je 188/204, u konvolučního kódu je poměr volitelný, závisející na předpokládaném poměru C/N u koncového uživatele. Dobrým kompromisem je kódový poměr 3/4, který se také často používá. Při zabezpečení

výše uvedenými kanálovými kódy se maximální použitelná komunikační rychlost v jednom kanálu snižuje na 38,01 Mbit/s.



Obr.1: Konstelační diagramy digitálních modulací používaných pro DVB-S/S2

- a) QPSK      b) 8PSK  
c) 16APSK    d) 32APSK

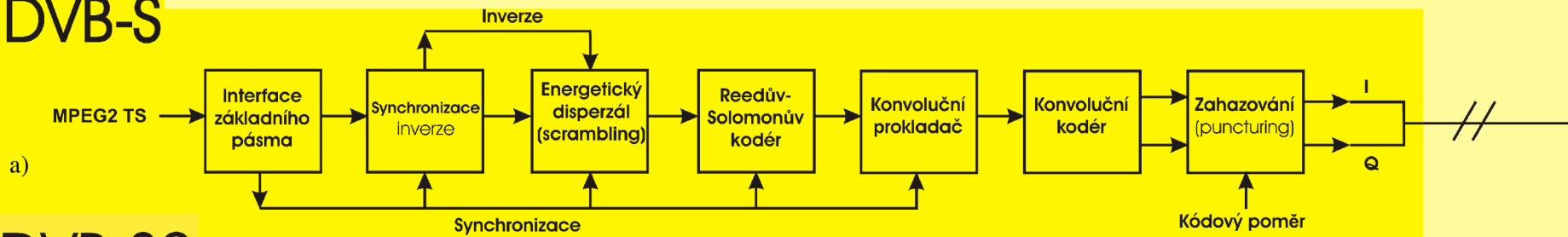
## 1.2 Modulátor DVB-S/S2

[5], [6]

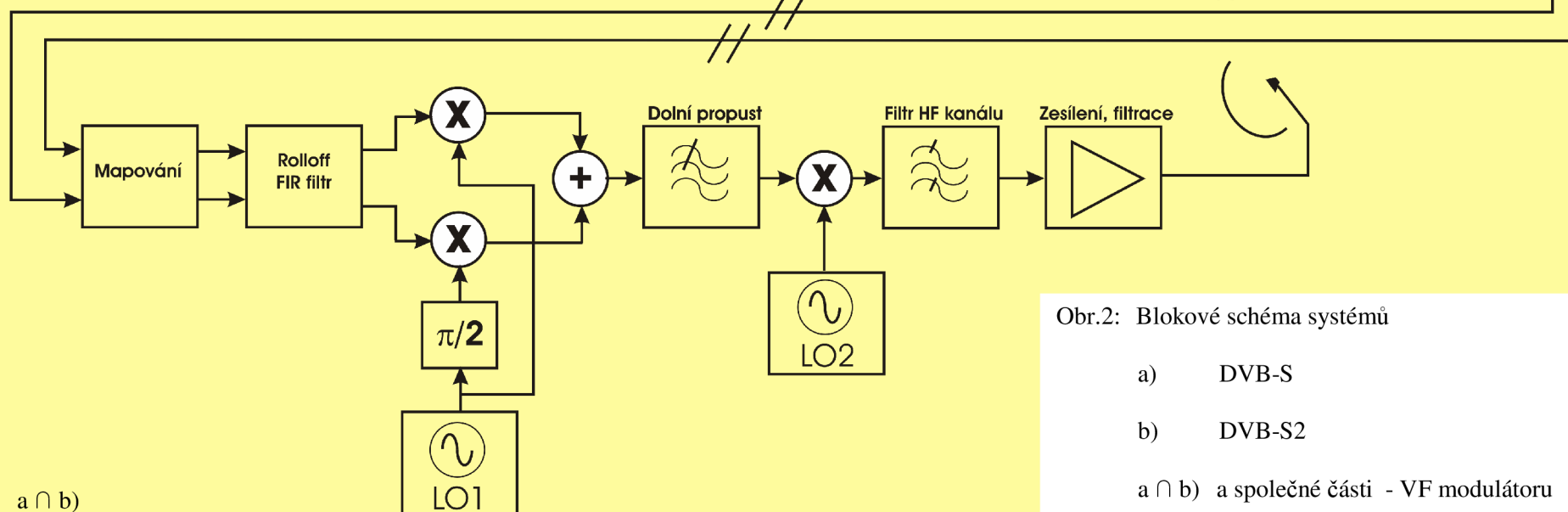
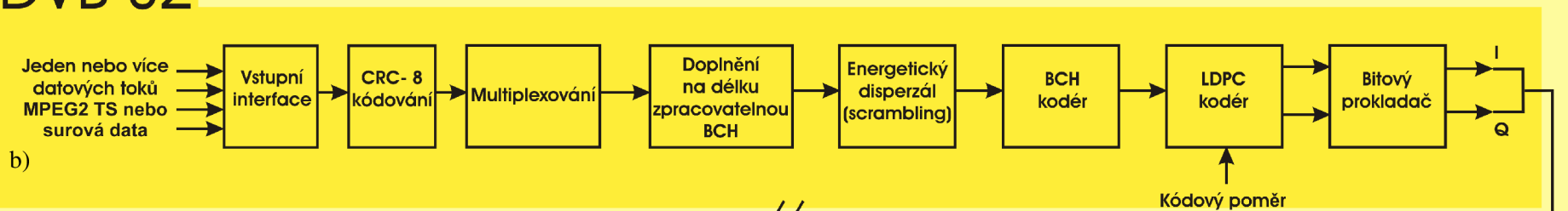
Schéma systémů DVB-S i S2 je na obrázku (Obr.2). Zde bude popsána společná část, která je obsažena v obou systémech tj. VF modulátor.

Zatímco v systému DVB-S vstupují do mapovacího obvodu již dva stejně velké datové toky z konvolučního kodéru a mapování je tedy pouze otázkou převodu těchto do Grayova kódu, v systému DVB-S2 se jeden datový tok z LDPC kodéru mapuje podle použité modulace do dvoubitových či tříbitových symbolů. Po mapování následuje digitální filtrace filtrem pro omezení mezisymbolových interferencí, který zároveň omezuje spektrum modulačního signálu. K tomuto účelu je použit filtr s charakteristikou square root raised cosine (v obrázku značený jako rolloff filtr). V systému DVB-S je jeho rolloff faktor pevně dán  $\beta = 0,35$ , zatímco v systému DVB-S2 může nabývat hodnot 0,20, 0,25 nebo 0,35. Po filtraci je signál namodulován příslušnou digitální modulací z výše zmíněných, přeměšován na danou mikrovlnnou nosnou a po výkonovém zesílení odeslán na vysílací anténu. Takto je signál v příslušném kanále v pásmu 11GHz až 19 GHz vyslán na družici.

# DVB-S



# DVB-S2



Obr.2: Blokové schéma systémů

- a) DVB-S
- b) DVB-S2
- a) ∩ b) a společné části - VF modulátoru

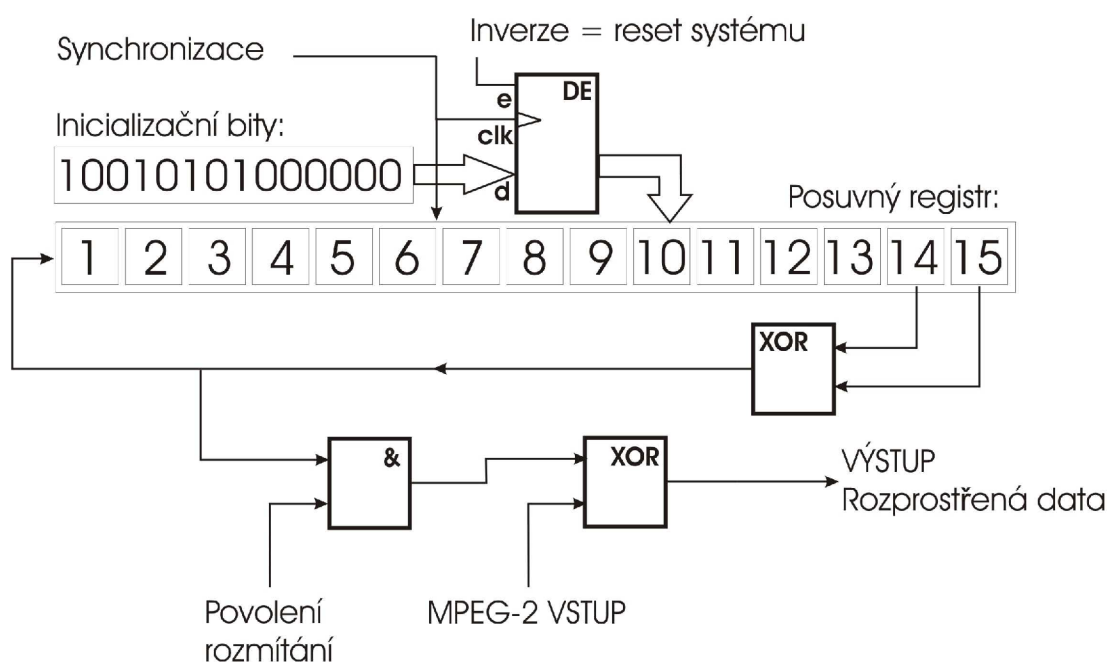
### 1.3 Předzpracování signálu v systému DVB-S

[2]

Nejprve je ve vstupním interface provedena synchronizace hodin na MPEG-2 transportní tok. Ten se skládá s konstantních paketů délky 188 bajtů, kde první 4 tvoří hlavička a zbývajících 184 zbývá na data. K synchronizaci se používá první bajt hlavičky, který má konstantní hodnotu 47 hexadecimálně a opakuje se v každém paketu, tedy ze 188 bajtovou periodou. K zasynchronizování dochází po cca. 5 paketech. V dalším bloku je vytvářen stavový signál, který nabývá logické jedničky každých 8 bajtů. Je-li tento signál v aktivní úrovni, je v hlavičce datového toku v dalším bloku nahrazen synchronizační bajt bajtem invertovaným, tedy s hodnotou B8 hexadecimálně.

Tato inverze představuje dodatečnou časovou značku, určující okamžik resetu generátoru pseudonáhodné posloupnosti v bloku disperzálu.

Stává se, že je třeba přenášet bloky dat s konstantními hodnotami po delší dobu, což přináší jednak problémy se synchronizací, hlavně však periodizaci signálu, a tedy soustředění energie spektra do několika spektrálních čar, a tedy jeho dehomogenizaci. K eliminaci těchto vlivů je používán ve většině digitálních systémů energetický disperzálu.



Obr.3: Schéma bloku energetického disperzálu.

V systému DVB-S se blok disperzálu (Obr.3) skládá z posuvného registru taktovaného systémovými hodinami, který je logicky zavazben tak, že plní funkci generátoru PRBS. Všechna data MPEG 2 transportního toku, kromě prvního – synchronizačního bajtu každého rámce, jsou s touto pseudonáhodnou sekvencí sečtena v aritmetice modulo 2 (logická funkce ex-or). Vzhledem k dlouhé periodě PRBS mají výsledná data v daném pásmu spektrální charakter bílého šumu.

Na přijímací straně je obnova dat provedena stejně fungujícím synchronizovaným blokem. Jak již bylo výše zmíněno, každých 8 paketů je generátor PRBS na obou stranách znovu inicializován. Informace o této inicializaci je předána také zmíněnou časovou značkou.

## 1.4 Kanálové kódování v systému DVB-S/S2

[2], [4], [5]

Jako vnější kodér pracující nad celými bajty se v systému DVB-S používá zkrácený Reed-Solomonův kodér. K paketu, který má nadále i po rozprostření délku 188 bajtů, je přidáno 16 bajtů chybového zabezpečení. V takto vzniklém 204 bajtovém rámci je možno na přijímací straně opravit až 8 chyb. V případě vyššího počtu chyb je paket v hlavičce označen demodulátorem jako poškozený. R-S kód je nebinární cyklický kód patřící do skupiny BCH kódů.

Generující polynom použitého kódu má tvar: [5]

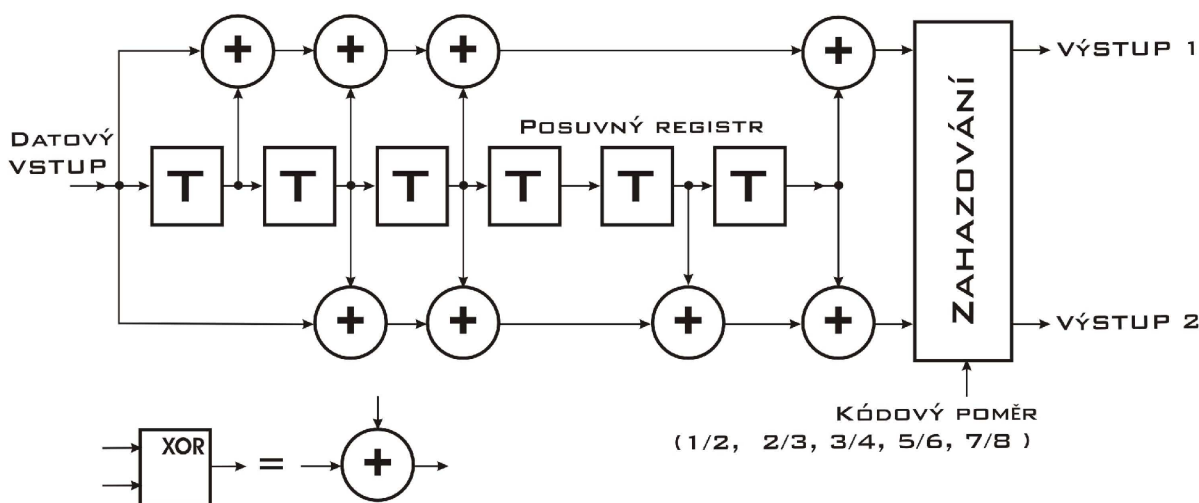
$$g(x) = (x+\lambda^0)(x+\lambda^1)(x+\lambda^2) \dots (x+\lambda^{15}), \text{ kde } \lambda = 02_{\text{HEX}}. \quad (1.1)$$

Obecný BCH (Bose - Chaudhuri - Hocquenghem) kód se používá i jako vnější kanálový kodér u systému DVB-S2. Před vnitřním zabezpečením je v systému DVB-S do signálové cesty vložen Forneyův prokladač, jež se skládá z několika posuvných registrů a dvou vzájemně synchronních

přepínačů. Hloubka prokládání je přes 11 transportních paketů. Takto upravený datový tok postupuje do konvolučního kodéru, jehož schéma je na obrázku. (Obr.4) Tento zvýší ve své logické struktuře datový tok na dvojnásobek. Díky výhodné vlastnosti Viterbiho dekodéru, kterou lze demonstrovat na Trellisově diagramu, lze zahazováním některých vzorků upravit kódový poměr, a tedy i datový tok či maximální počet opravitelných chyb, pomocí zahazování některých vzorků. Ty se v dekodéru doplní náhodnými hodnotami a tvoří tak jakousi přídatnou vstupní chybu.

[2]

V systému DVB-S2 je jako vnější kodér použit LDPC kód. Tento lineární kód má mnohem více možností nastavení kódového poměru, kdy spolu s vhodnou volbou modulace se dosahuje vyšší spektrální účinnosti. Při použití modulace QPSK je datový tok z LDPC kodéru přímo mapován pro modulaci. Jestliže se však použije vyšší modulace, je před mapováním provedeno ještě prokládání na úrovni bitů.



Obr.4: Schéma konvolučního kodéru pro systém DVB-S.

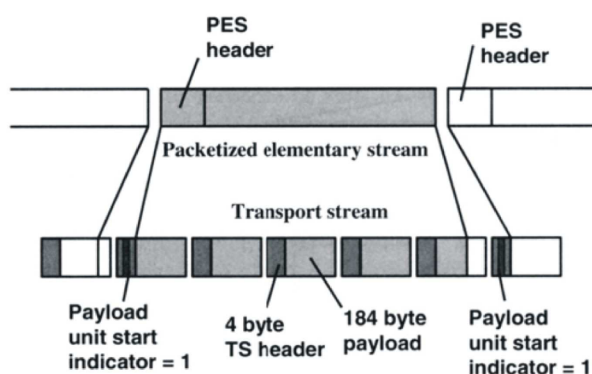


## 2 DATOVÝ TOK MPEG-2 TS A JEHO MĚŘENÍ

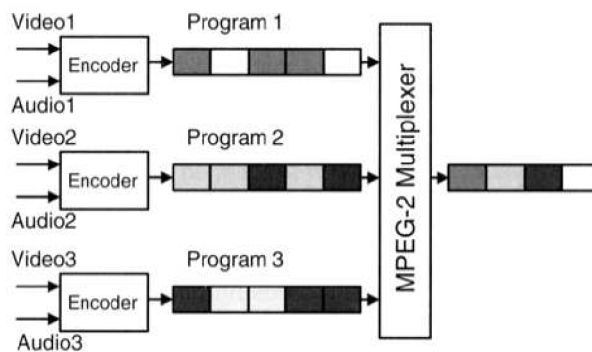
[2]

Komprimované audiosignály, videosignály a doprovodné datové signály tj. ES jsou uspořádány do nezávislých paketových toků. PES pakety mají různou délku podle obsahu, až do 64 kB s 16 bitovou hlavičkou. Pro kanálové zabezpečení, přenos a multiplexaci jsou však takovéto pakety nevhodné. Rozdělí se proto na pakety transportního toku s konstantní délkou 188B a 4B hlavičkou.

(Obr. 5) Každý paket TS obsahuje část informace z právě jednoho paketu PES. Pokud je třeba je zbytek posledního TS paketu pro jeden PES paket vyplněn vatou.



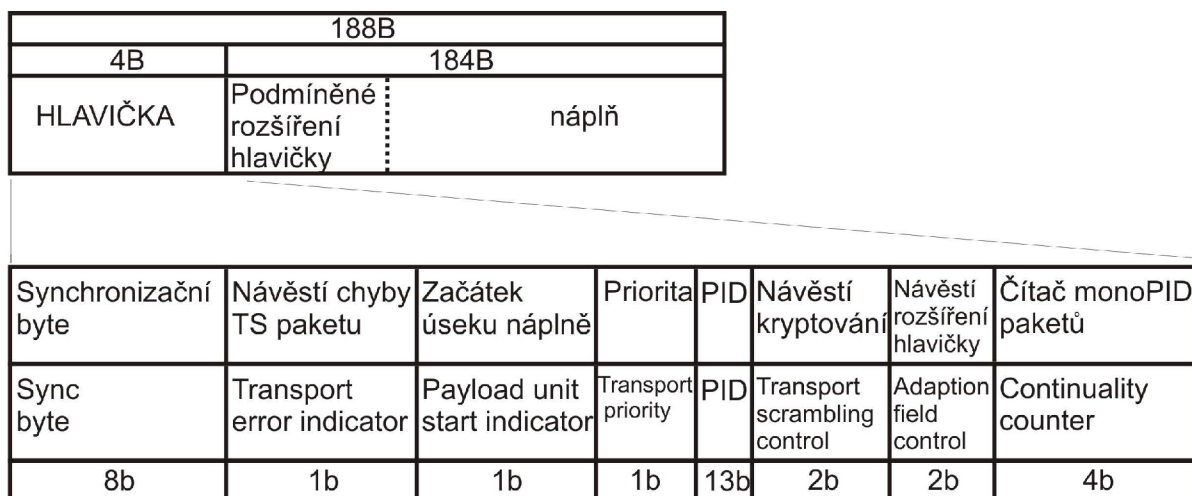
Obr. 5: Rozdělení paketů PES do paketů TS. (převzato z [2])



Obr. 6: Multiplexování paketů do transportního toku. (převzato z [2])

Na úrovni transportního toku pak dochází k multiplexaci jednak dat jednotlivých programů, dále pak programů. Tyto mohou mít buď konstantní datové toky, pak se jedná o statické multiplexování, nebo se v čase podle přenášeného obsahu měnit, vždy však s konstantní celkovou přenosovou rychlostí kompletního transportního toku.

## 2.1 Struktura paketu TS



Obr. 7: Paket MPEG2-TS a struktura jeho hlavičky.

[2]

Hlavička TS paketu začíná již výše zmiňovaným bytem s hodnotou 47 případně 8B hexadecimálně.

Tento je následován jednobitovým návěstím chyby TS paketu. Toto je nastaveno, pokud během přenosu dojde k chybám, které FEC kódování nedokáže odstranit. Takovýto paket se pak dále neinterpretuje. Dalším návěstím v hlavičce je začátek úseku náplně. Toto je nastaveno kóděrem, pokud daný TS paket obsahuje začátek hlavičky jakéhokoli PES paketu, či začátek tabulky či jiného bloku servisních informací datového toku. Posledním jednobitovým indikátorem v hlavičce je priorita. Tento příznak indikuje, který z paketů se stejným PID má při přenosu přednost. PID identifikátor paketu je 13 bitové číslo identifikující pakety jednotlivých ES, tabulek či servisních informací. Návěstí kryptování je indikátor, který nabývá hodnoty 00 binárně, pokud signál transportního toku není kryptován. Význam zbylých 3 možných hodnot je na uživateli TS toku, nicméně i v případě scramblingu, bývají tabulky případně hlavičky paketů nedotčené.

Posledním dvoubitovým návěstím lze indikovat případné rozšíření hlavičky TS paketu na úkor vlastního obsahu. V hlavičce je dále umístěno pořadí (1.-15. paket) jednoho PID, sloužící k rychlému rozhodnutí o chybě na přenosové cestě při ztrátě či záměně pořadí paketů.

[2]

Vlastní pakety MPEG2-TS musí kromě užitečné informace obsahovat i servisní informace o celém transportním toku případně o časování. Mezi tyto patří zejména servisní tabulky.

PAT (program map table) je jak již z názvu vyplývá tabulka, která obsahuje údaje o počtu programu v TS a PID identifikátory PMT tabulek jednotlivých programů. PMT (program map table) pak obsahuje PID paketů jednotlivých elementárních toků (video, audio, data).

V případě, že TS obsahuje scamblované programy, je přítomna tabulka CAT (conditional access table) obsahující odkazy na pakety potřebné k dekódování.

Tabulka SDT (Service Descriptor Table) obsahuje další informace o vysílaných programech v TS, BAT (Bouquet Association Table) naopak obsahuje informace o programech v dalších fyzických kanálech.

### 3 POSOUZENÍ KVALITY OBRAZU DIGITÁLNÍCH SIGNÁLŮ

[4]

Kvalita obrazu TV signálu digitální televize je zhoršována jinými druhy zkreslení než je tomu u televize analogové. Míra zašumění přenosového kanálu není vlivem opravných kódů pozorovatelná v obrazu ani zvuku do doby, kdy překročí míra chybovosti možnosti těchto. Také lineární a nelineární zkreslení nemá v digitální televizi přímý vliv na kvalitu výstupní informace.

[2], [7]

Hlavními dvěma zdroji rušení v digitální televizi jsou jednak MPEG-2 kodér a multiplexer a dále pak přenosový kanál z modulátoru do přijímače. MPEG-2 kodér více či méně zhoršuje kvalitu. Příliš velký kompresní poměr způsobuje bloky v obraze nebo snižující se ostrost obrazu. Téměř všechny používané kompresní algoritmy pracují s blokovou strukturou, většinou 8x8 pixelů. Tyto bloky jsou individuálně komprimované. V případě algoritmu MPEG-2 jsou použity makrobloky 16x16 pixelů, které tvoří základ kódování jednotlivých snímků. V případě zvyšujícího se kompresního poměru začínají být nespojitosti v jasu i barvě na hranicích bloků viditelné, začíná se objevovat periodická struktura hranic bloků. V digitální televizi také na rozdíl od analogové závisí míra zkreslení na obsahu vysílané videosekvence. Jednoduché sekvence bez detailů s nízkým obrazovým pohybem, jako například animované filmy či materiály převedené z klasického celulóidu, lze zakódovat bez větších problémů, naopak sportovní přenosy potřebují pro bezchybné zakódování vyšší datový tok.

#### 3.1 Metody měření kvality

[2], [7]

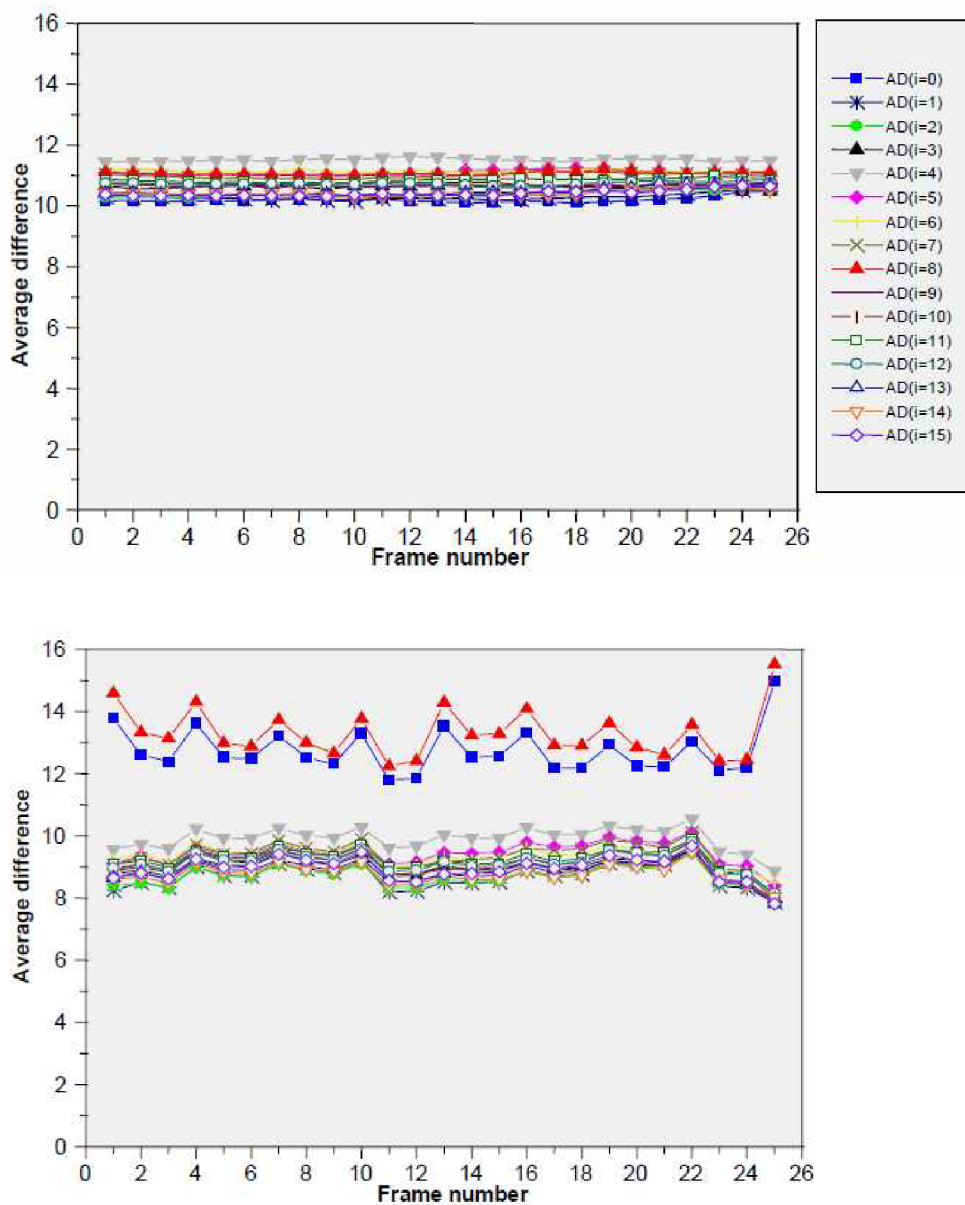
Expertní skupina při ITU vytvořila normu ITU-R BT.500 pro posuzování kvality obrazu. Principiálně existují dvě metody subjektivního posouzení kvality obrazu testujícími osobami, a to DSCQS a SSCQE (Double Stimulus Continual Quality Scale, Single Stimulus Continual Quality Evaluation). Tyto metody se v podstatě liší pouze v nutnosti použití referenčního signálu. Při prvním zmiňovaném způsobu skupina lidí, představující vzorek souboru diváků při definovaných technických podmínkách, posuzuje kvalitu jednak originální a jednak komprimací a přenosem zhoršené sekvence. Při subjektivní analýze je kvalita obou sekvencí diváky hodnocena na stupnici 0 ÷ 100, a to v časovém vývoji se vzorkovací frekvencí 2Hz. Výhodou této metody je jednoduché srovnání těchto dvou sekvencí při objektivní analýze, problémem je nepřítomnost originálního signálu při měřeních v technické praxi. Na trhu však existují zařízení, které toto testování dovolují.

Druhá zmíněná metoda nepotřebuje referenční signál a stává se tedy široce použitelnou pro praxi. Testující osoby hodnotí pouze jednu v čase se vyvíjející sekvenci.

[7]

V technické praxi je nutno zavést takové objektivní prostředky pro hodnocení kvality obrazu, jenž co nejlépe aproximují subjektivní hodnocení. Zde zmíněný způsob testování byl vyvinut společností Rhode&Schwarz ve spolupráci s univerzitou v Braunschweigu. Jak již bylo zmíněno, většina algoritmů založených na DCT vnáší nepřímo do obrazu blokovou strukturu. Při testovací proceduře je tedy zkoumán rozdíl mezi hodnotami sousedících pixelů, a to jak pro makrobloky jasového signálu, tak i bloky obou chrominančních signálů, aby bylo kvantifikováno do jaké míry má tato struktura negativní vliv na kvalitu obrazu. Vlastní procedura začíná určením rozdílu v hodnotě sousedních pixelů v řadě makrobloku Y. Toto se provede pro všechny řady makrobloku. Diference dvojic pixelů se stejnými indexy se sečtou přes řady, čímž získáme informaci o středním rozdílu hodnot pixelů v horizontálním rastru jednoho makrobloku, která může nabývat hodnot 0 až 15. Totéž provedeme pro ostatní

makrobloky a také pro horizontální rastr a pro bloky chrominančních signálů . Výsledky se průměrují přes makrobloky. Výsledná statistika je zobrazena v grafu (Obr. 8).



Obr.8: Diference pixelů v průměrném makrobloku v sekvenci s

- a) dobrou (6Mbit/s) kvalitou obrazu.
  - b) horší (2Mbit/s) kvalitou obrazu.
- (převzato z [7])

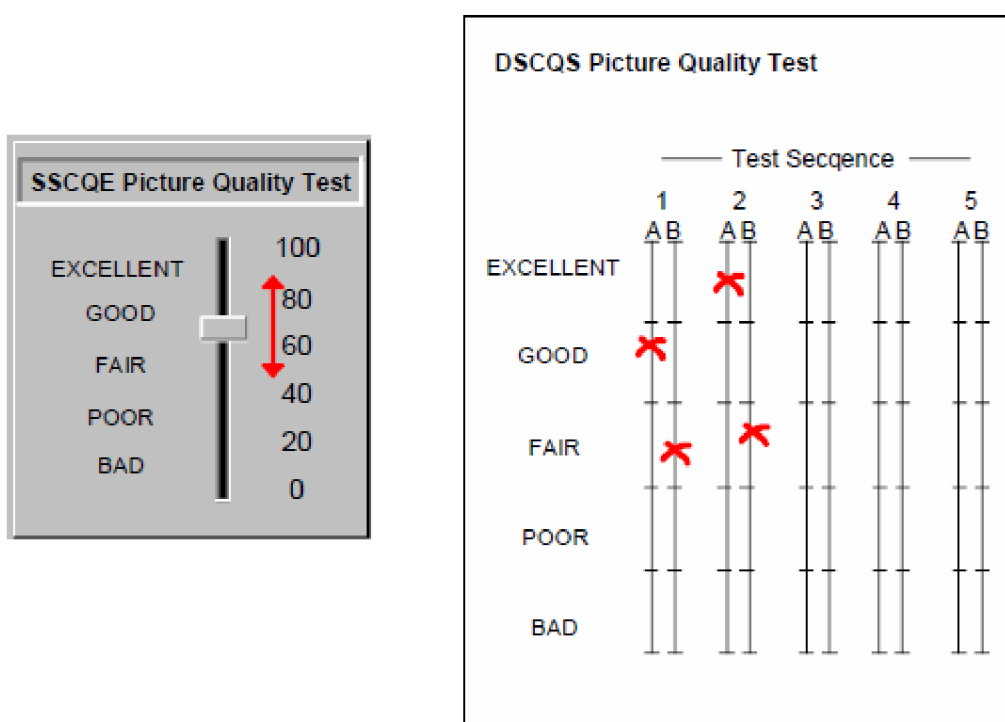
Z grafu je patrné, že rozptyl diferencí hodnot průměrného makrobloku kvalitnějšího signálu je nižší než u signálu s nižší kvalitou. Z pořadí diferencí lze také vysledovat, že hranice vznikající blokové struktury se podle předpokladů nachází mezi 16. a 1. (AD0), ale také mezi 7. a 8. (AD8) pixelem řady.

[4], [7]

Výše popsáný test rušení blokovým vzorem je základem pro určení kvality obrazu DVQL-U (digital video quality level - unweighted) v systému Rhode&Schwarz. Tento systém určení kvality založený pouze na kvantifikaci rušivé blokové struktury však nemá dostatečnou korelaci výsledků se subjektivními prostředky posouzení kvality. Ke zlepšení této je zaveden

test DVQL-W (digital video quality level - weighted). Jak již z názvu vyplývá, jedná se o nastavbu nad test DVQL-U, jehož výsledky jsou v postprocesu váhovány dalšími proměnnými popisujícími hodnocenou videosekvenci. Těmito jsou prostorová aktivita SA (spatial activity) a časová aktivita TA (temporal activity). Váhování kvality obrazu vychází ze skutečnosti, že prostorová aktivita ve snímku i časová aktivita v sekvenci pro lidský zrak maskují blokové fragmenty. Prostorová aktivita určuje nakolik jsou ve snímcích obsaženy jemné detaily. Hodnota zmíněné veličiny roste se zvyšujícím se obsahem vyšších prostorových kmitočtů. Pro monochromatickou plochu tedy bude mít hodnotu 0.

Časovou aktivitou lze rozumět souhrnné měření rozdílů v následujících snímcích. Pro časovou řadu konstantních snímků má tedy hodnotu 0. Váhování je procesem následujícím po prvním testu kvality. Výstupem z něj je kvalita obrazu DVQL-W nabývající hodnot 0 až 100 %. Dále je možné si analyzátořem kvality nechat zobrazit hodnoty DVQL-U, SA, nebo TA. Stupnice přístroje kopíruje stupnici subjektivní metody SSCQE včetně dělení na pětistupňovou škálu kvality.(Obr.9)

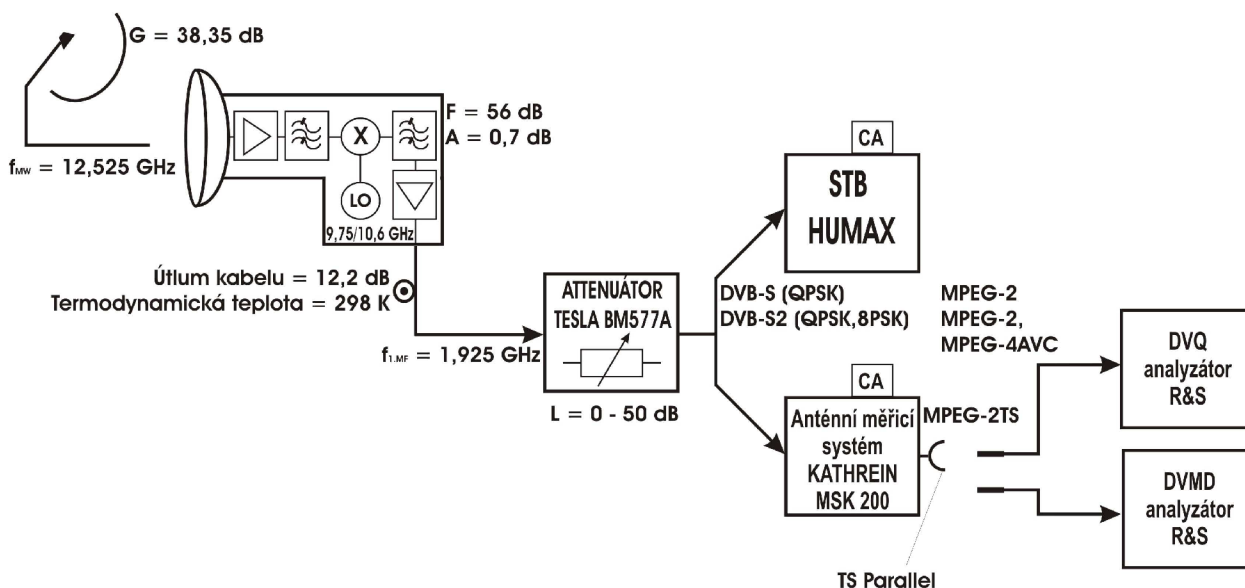


Obr.9: Stupnice kvality obrazu pro subjektivní metody DSCQS a SSCQS používaná také v DVQ. (převzato z [7])

## 4 MĚŘENÍ PARAMETRŮ PŘIJATÉHO SIGNÁLU NA RÁDIOVÉM ROZHRANNÍ

Na pracovišti, jehož schéma je patrné z obrázku (Obr.10) a složení s tabulky (Tab.1) byla 9. 4. 2009 od 9:30 uskutečněna zde popsaná měření signálu standardu DVB-S a 17.9.2009 od 14 hodin měření signálu ve standardu DVB-S2.

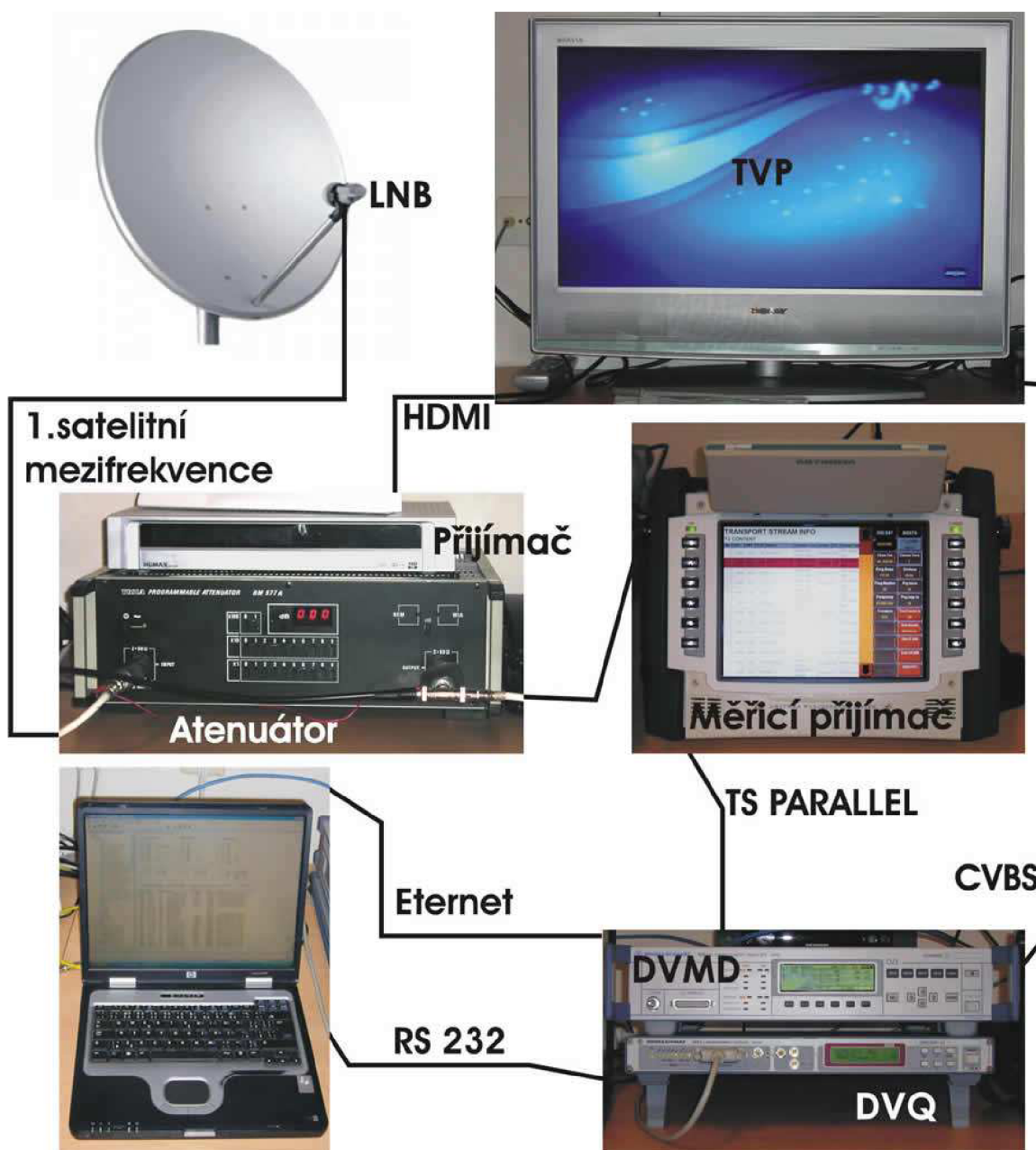
Byla provedena měření většiny důležitých parametrů, jež lze na přijímací straně posoudit, a to jednak v závislosti na útlumu na první mezifrekvenci satelitního signálu, a jednak na chybě natočení antény.



Obr.10: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření signálu digitální satelitní televize DVB-S/S2.

Přístroj	Typ	V.Č.
Offsetová anténa, polarmount + LNB	Mascom + Strong L915	
Attenuátor	Tesla BM 577A	013656
STB pro DVB-S /S2	Humax 2000	
Anténní měřicí systém	KATHREIN MSK 200	
Anylyzátor kvality digitálního videa	DVQ Rhode&Schwartz	2079.6003.03
Analýzátor MPEG2 TS	DVMD Rhode&Schwartz	
Notebook	HP compaq nx5000	CNU4280BD7

Tab.1: Použité přístroje a vybavení.



Obr.11: Fotografie reálného pracoviště.

Měření bylo prováděno při následujících podmínkách a s těmito parametry:

Systém	DVB-S	DVB-S2
Družice	ASTRA 3A/	ASTRA 1L
Pozice	23,5°E	19,2°E
Platforma	CS-Link	Anixe HD
Kanál	12,525 GHz	11,302 GHz
Modulace	QPSK	8PSK
CR	3/4	2/3
Symbolová rychlost	27,500 MS/s	22,000 MS/s

Tab.2: Parametry příjmu digitální satelitní televize.

Nejprve byla měřena závislost přijímaného výkonu na chybě azimutu natočení antény. (Obr.12) Z této závislosti lze s konečnou mírou přesnosti určit šířku hlavního laloku antény. Tato má hodnotu  $\Theta = 2,25^\circ$ . Odpovídající efektivní průměr apertury parabolické ofsetové antény pro tuto činí: [1]

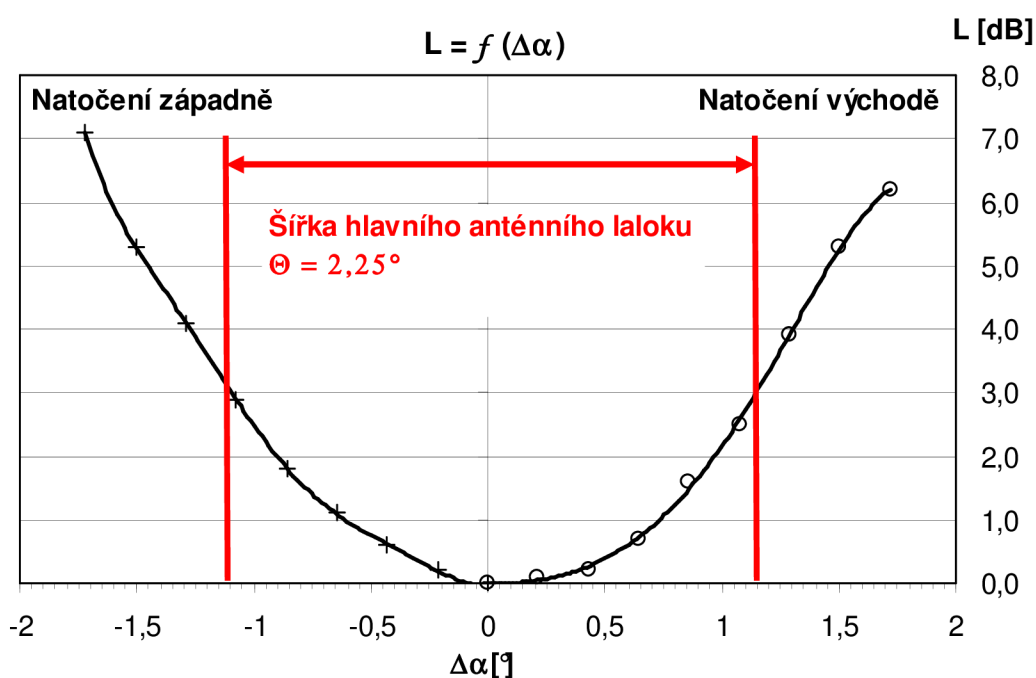
$$D_{ef} = 58,5 \frac{\lambda}{\Theta_{3dB}} = 58,5 \frac{c}{f \cdot \Theta_{3dB}} = 58,5 \frac{299 \cdot 10^6}{12,525 \cdot 10^9 \cdot 2,25} = 74,5 \text{ cm} \quad (4.1)$$

Skutečný průměr paraboly je  $D = 85 \text{ cm}$ . Tuto podstatnou odchylku lze vysvětlit použitím primárního ozařovače v bloku LNB, který neozářuje paraboloid rovnoměrně a z důvodů minimalizace šumu pozadí neozáří vnější okraj paraboloidu. Tuto skutečnost respektuje účinnost antény  $\eta$ . [1]

$$\eta = \frac{S_{ef}}{S} = \frac{D_{ef}^2}{D^2} = \frac{0,622^2}{0,85^2} = 0,54 \quad (4.2)$$

Zisk antény pak činí:

$$G [dB] = 10 \log \eta \left( \frac{\pi d f}{c} \right)^2 = 10 \log 0,54 \left( \frac{\pi \cdot 0,85 \cdot 12,525 \cdot 10^9}{c} \right)^2 = 38,2 \text{ dB} \quad (4.3)$$



Obr.12: Graf závislosti útlumu signálu první mezifrekvence na chybě azimutu.

Tabulka dále uvádí parametry antény pro dvě frekvence měření šířky hlavního laloku.



f	$\Theta_{3dB}$	$\eta$	G
[GHz]	[°]	[-]	[dB]
12,525	2,25	0,54	38,2
11,302	2,40	0,58	37,7

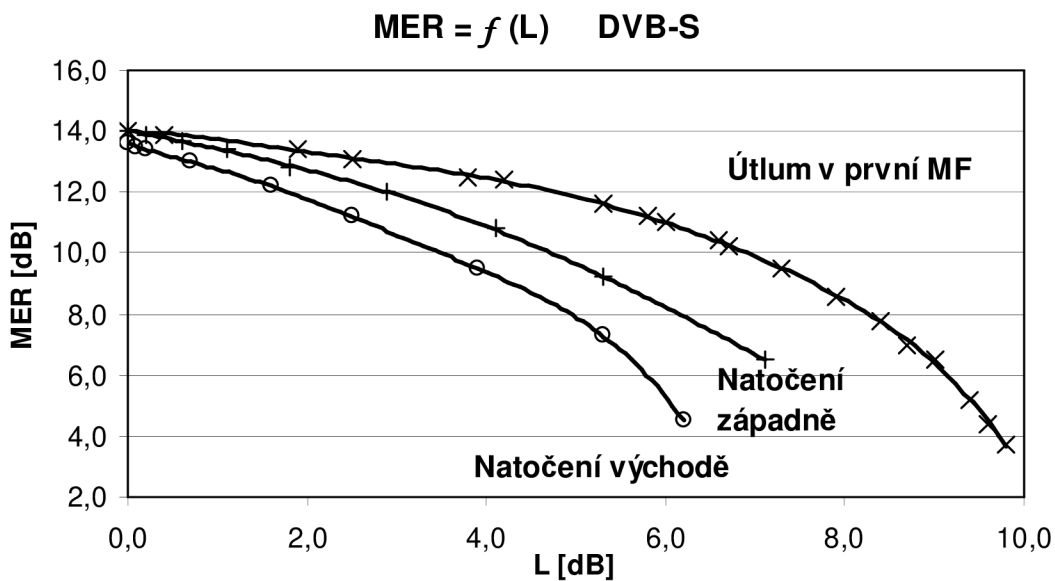
Tab.3: Zisky antény pro dva měřené kmitočty.

Dalším měřením ve vysokofrekvenční oblasti jsou závislosti modulační chybovosti na útlumu způsobeném různými faktory. (Obr.13,14) Fakt, že MER bude s rostoucím útlumem klesat nejpomaleji pokud se bude jednat o útlum způsobený atenuátorem v 1. mezifrekvenci, lze vzhledem k energetické bilanci (Obr.18/tab.) předpokládat. Jelikož se článek nachází až za zesilovačem v LNB s vysokým zesílením (cca.56 dB), tak i šumové číslo, jenž je pouze o málo větší než nastavený útlum atenuátoru, se projeví na konci přenosového řetězce nižším zhoršením jakostního čísla (G/T) celého systému, než by bylo toto zhoršení, kdyby byl článek se stejným útlumem mezi anténou a zesilovačem LNA.

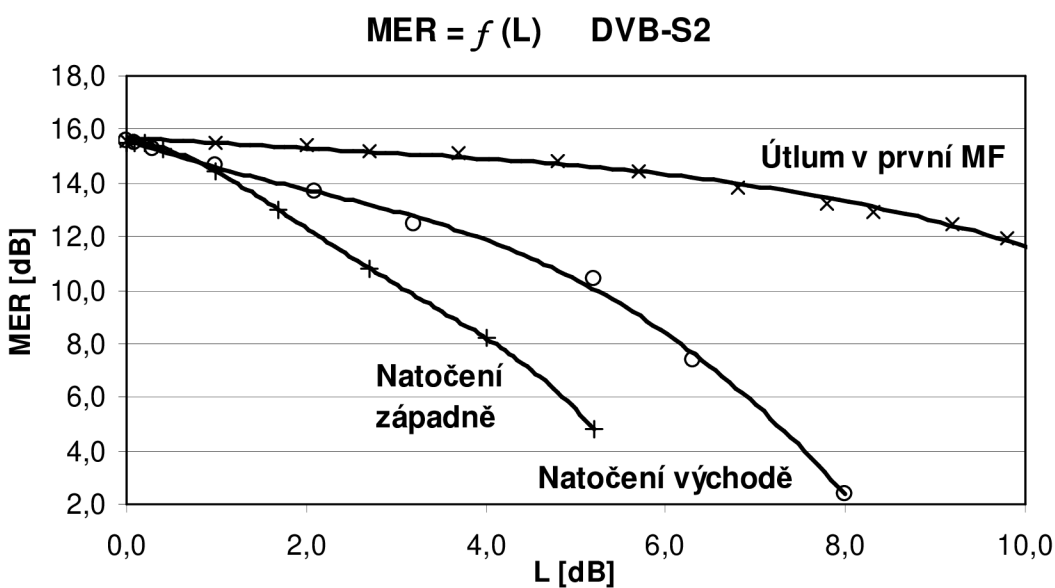
Z grafu pozorovatelný fakt, že se zvětšujícím se útlumem klesá MER rychleji při natáčení offsetové antény v azimutálním směru než při postupu popsaném výše, je zcela předpokladatelný. I když anténa míří do relativně studené oblohy, tak je šum pro stejný útlum větší, protože i tepelný šum oblohy spolu s tepelným šumem od Země je značně zesílen zesilovačem LNA. Větším problémem je však zjištění důvodu rozdílného poklesu MER se zvyšujícím se útlumem pro různý směr natáčení antény.

Část rozdílu těchto křivek lze přičíst rozdílu šumového příspěvku od teplé Země, kdy s natáčením azimutu východně od polohy pro příjem z ASTRA 3A klesá vlivem deklinace polarmountu elevace a obráceně. Maximální rozdíl elevací pro dané rozmezí azimutů ( $23,5^\circ \pm 2^\circ$ ) je v Brně však asi pouze  $0,5^\circ$ . Rozdíl v zachyceném šumu od Země je tedy nedostatečný k vysvětlení rozdílu.

Pokud bylo možné vysvětlit rozdíl v množství šumu při azimutálním natáčení antény v různých směrech u DVB-S pouze částečně, DVB-S2 signál z družice ASTRA 1L se choval zcela obráceně. Tedy při natočení východně (a tedy s nižší elevací) byl výkon šumu menší než při opačném natočení (tedy s vyšší elevací). Důvod tohoto stavu se nepodařilo jednoduše vysvětlit.



Obr.13: Graf závislosti MER (poměr efektivní hodnoty signálu k hodnotě šumu) na útlumu způsobeném danými vlivy. (V grafu jsou hodnoty jednotlivých průběhů posunuty o konstantní rozdíl pro průběh aby bylo docíleno potlačení vnějších vlivů a tedy aby MER(L=0dB) byl konstantní.)



Obr.14: Graf závislosti MER (DVB-S2)(poměr efektivní hodnoty signálu k hodnotě šumu) na útlumu způsobeném danými vlivy.

## 4.1 Vizualizace příjmu z družice ASTRA 3A

Na obrázku (Obr.15/a) je znázorněna 3D vizualizace příjmu signálu z družice ASTRA 3A. Tato je zachycena v měřítku dodržujícím vzdálenosti i úhly. Červený bod je poloha Brna na Zemi, zelený poloha družice. Světle zelený kužel aproximuje hlavní svazek antény pro downlink. Elipsa tvořená průnikem tohoto s plochou povrchu Země je pak přibližnou aproximací footprintu. Naopak červený kužel znázorňuje hlavní svazek přijímací antény.

Tento model jistě trpí vzhledem ke své jednoduchosti značným zkreslením. Aby například tvar footprintu odpovídal skutečnosti (Obr.18), bylo by nutné počítat s přesnou vyzařovací charakteristikou družice, vhodným geoidem umístěným v prostoru, dále s vlivem různé difrakce v atmosféře pro obě strany footprintu a mnohými dalšími vlivy. Model však poskytuje základní přehledné přiblížení prostorové situace.

Aby bylo možné správně model popsat. Je použita jeho drátová varianta (Obr.15/b). Zde je uvedena legenda symbolů použitých k jejímu popisu:

$\rho$	Rovina nultého poledníku	
$R$	Poloměr Země	6378 km
$r$	Výška GEO dráhy	35 786 km
$\lambda_1$	Zeměpisná délka přijímací antény	16° 34' E
$\lambda_2$	Zeměpisná délka družice ASTRA 3A	23° 30' E
$\lambda_3$	Zeměpisná délka středu footprintu	8° E
$\varphi_1$	Zeměpisná šířka přijímací antény	49° 13' N
$\Theta_1$	Šířka hlavního svazku přijímací antény	2,25°
$\Theta_2$	Šířka hlavního svazku antény družice	2,8°

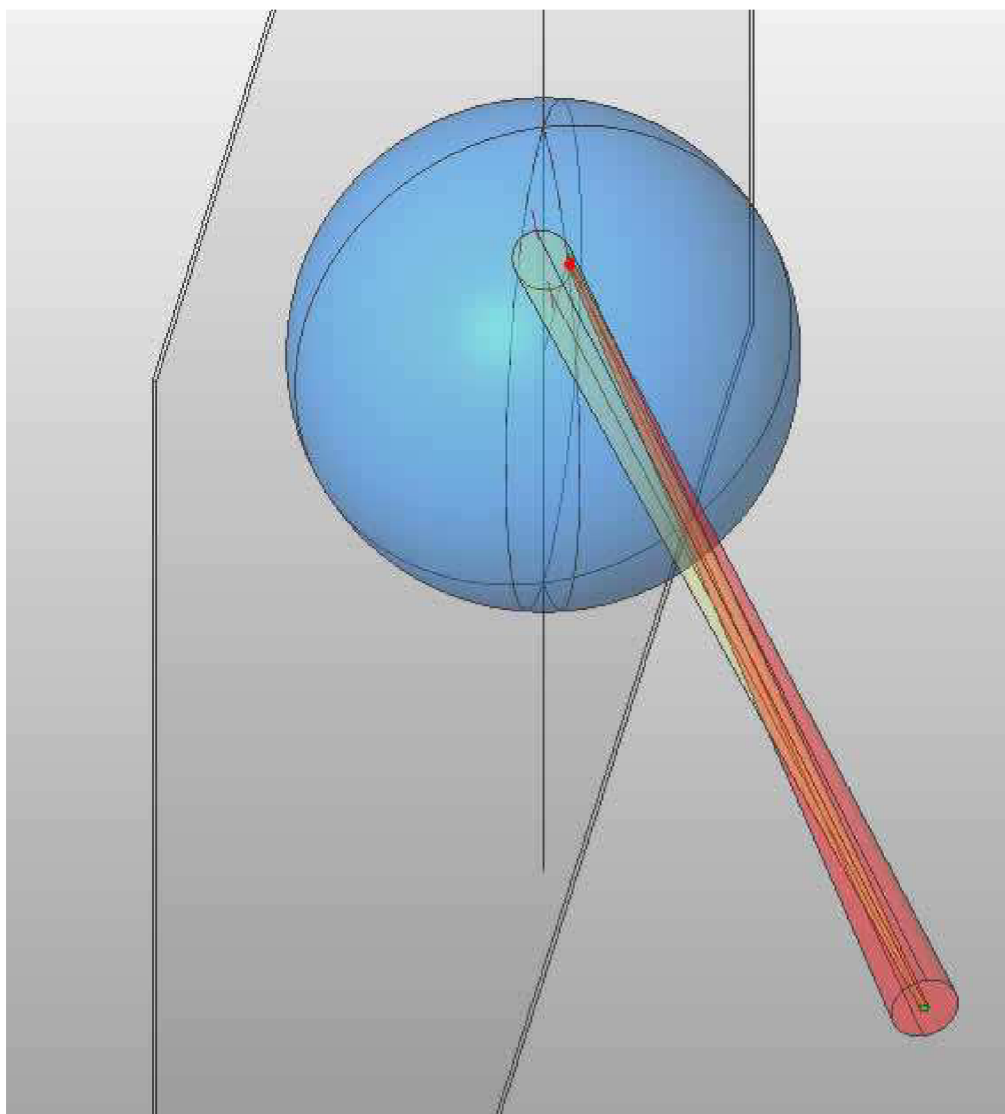
Jak je naznačeno na obrázku (Obr.18), střed footprintu (fialový) má souřadnice cca 50° N, 8° E. Jeho minimální příčný rozměr (pro pokles o 3 dB) je cca 1900 km. Pokud bychom počítali šířku hlavního svazku antény družice z rozměrů footprintu, dosáhne její hodnota (pro vzdálenost mezi anténami 38 590 km) 2,8°. Tato je také využita v modelu.

Další možností je výpočet pomocí parametrů družice [12].

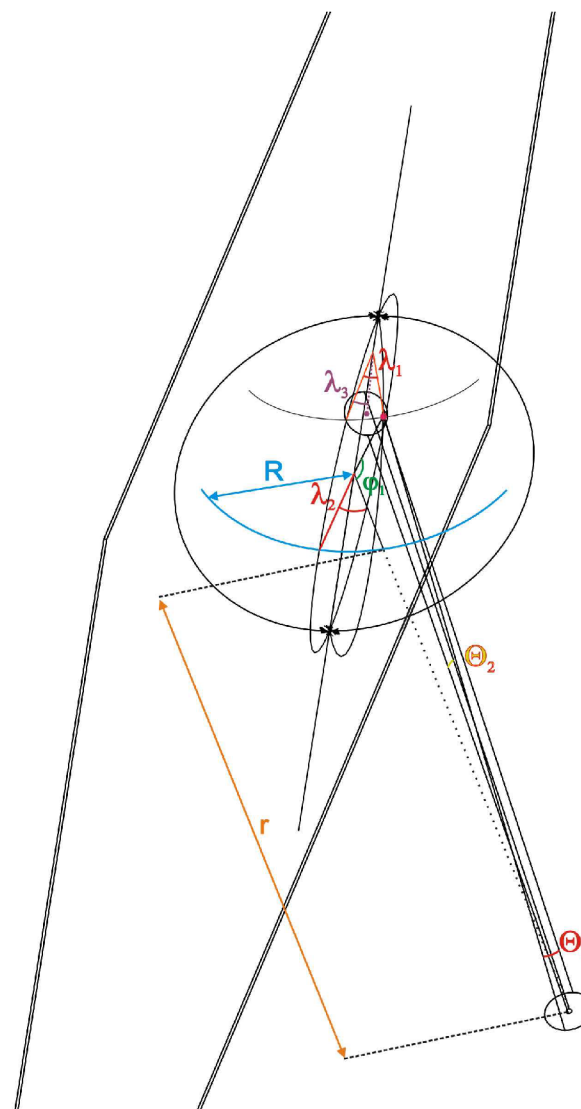
$$\begin{aligned} \text{EIRP} &= 52 \text{ dBW} \\ P_{\text{OUT TWTA}} &= 30 \text{ W} \end{aligned}$$

$$[5] \quad \theta = \sqrt{\frac{\eta \cdot P_{\text{OUT}}}{\frac{\text{EIRP}}{10^{10}}}} \cdot \pi \cdot 70 = 2,5^\circ \quad (4.1)$$

Za  $\eta$  bylo dosazeno 0,7. Je vidět, že v obou případech jsou výsledky obdobné, což ovšem nezaručuje jejich přesnost.



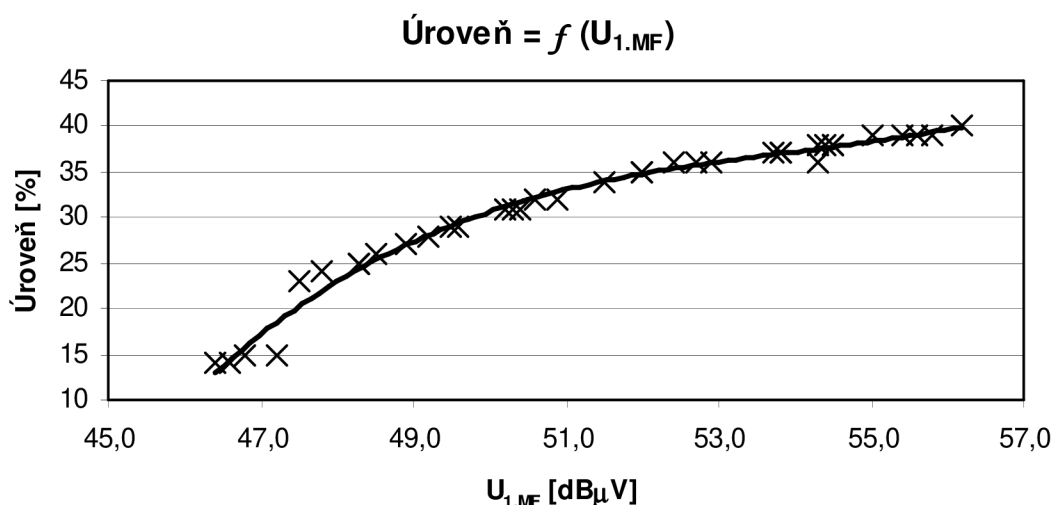
Obr.15: a) Vizualizace příjmu satelitní televize v Brně z družice Astra 3A na pozici 23,5° východně.



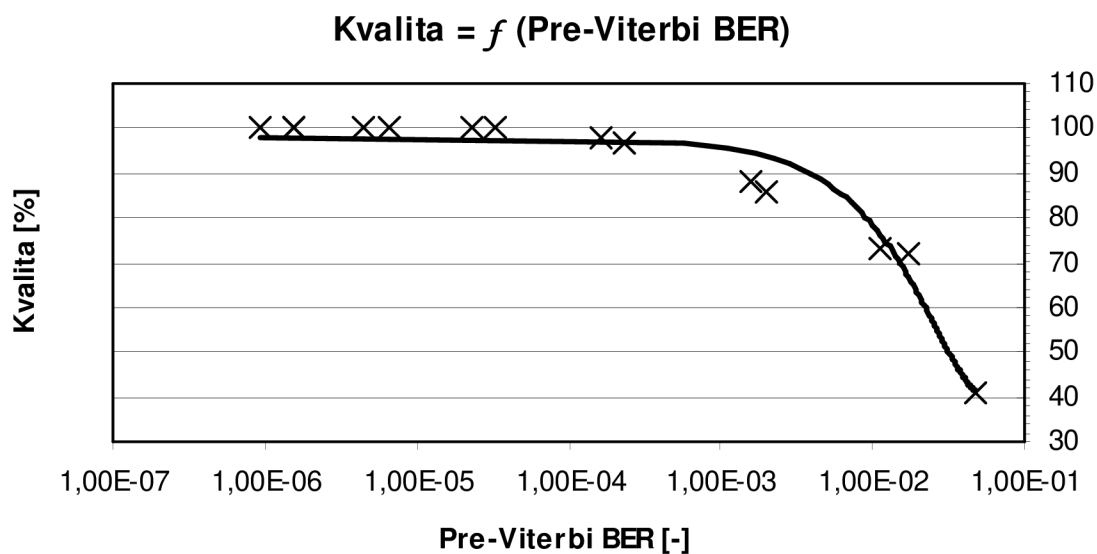
b) Kótovaná drátová varianta vizualizace.

## 4.2 Cejchovní křivky STB Humax 2000

Vnitřní jednotka digitálního satelitního přijímače HUMAX 2000 (dále STB) umožňuje jako většina podobných zařízení měření úrovně a kvality signálu. Hodnoty těchto veličin jsou uváděny v procentech. V případě úrovně se jedná o měření na vstupu první satelitní mezifrekvence, u kvality pak počet zásahů FEC kodérů. Hodnoty jsou uvedeny v tabulkách (Tab.1, 2/příloha), cejchovní křivky pak vyneseny v grafech (Obr.16,17). Účel těchto měřidel zdá se však být u satelitního příjmu poněkud nejasný. Teoreticky by se dalo předpokládat, že například ukazatel úrovně by bylo možné použít k dosměrování satelitní antény. Tento předpoklad však naráží na následující. Aby STB dokázal hodnoty úrovně zobrazit, musí být již zasynchronizovaný na transportní tok vysílaný z transpondéru oné družice. I potom musí být ono došněrování, vzhledem k vysoké časové konstantě měřidla a jeho prokazatelné hysterezi, nezapomenutelným zážitkem.



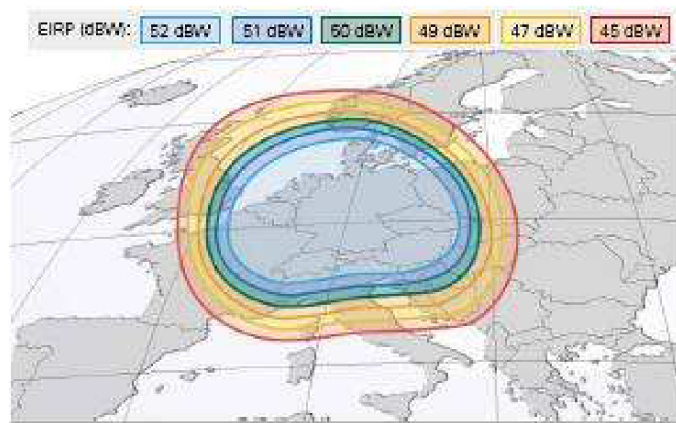
Obr.16: Kalibrační (cejchovní) křivka měřiče úrovně integrovaného v STB Humax.  
(Přestože tento fakt není z grafu patrný, měření úrovně signálu první mezifrekvence vykazuje kromě značné nelinearity i hysterezi).



Obr.17: Kalibrační (cejchovní) křivka měřiče kvality integrovaného v STB Humax 2000.

### 4.3 Energetická bilance downlinku pro měřený družicový spoj

Aby bylo možné posoudit relevanci naměřených hodnot, byla sestavena pomocí známých parametrů přijímacího zařízení, výkonu transpondéru družice, footprintu (Obr.18) charakteristiky antény na družici atd. následující energetická bilance měřeného družicového spoje. (Obr.19)



Obr.18: Footprint antény družice Astra 3A.

Z energetické bilance je patrný nesoulad jak mezi naměřenou a vypočítanou hodnotou úrovně signálu na vstupu měřicího přijímače tak především mezi hodnotami odstupů C/N. První z jmenovaných rozdílů má zanedbatelnou hodnotu a lze jej vysvětlit různými vlivy. A to například nezapočítáním ztrát na hydrometeorech, ztrát způsobených rezonancí molekul vody či kyslíku, případně polarizačních ztrát či jiných.

Větším problémem je vysvětlení rozdílu naměřených a vypočtených hodnot odstupů C/N.

Teoretické parametry																	Měřeno		
Družice			Přenosová cesta		Anténa				LNB		Napáječ			Atenuátor + filtry		Signál na vstupu přijímače		U <sub>IN</sub>	MER
EIRP	f	B	T <sub>SKY</sub>	T <sub>GROUND</sub>	D	η	α	θ	F	A	l	L <sub>FRX</sub>	T <sub>FRX</sub>	L <sub>A</sub>	U	C/N	U <sub>IN</sub>	MER	
dBW	GHz	MHz	K	K	cm		°	°	dB	dB	m	dB/m	K	dB	dBμV	dB	dBμV	dB	
52	12,525	36	10	45	85	0,54	0,11	2°15'	0,7	56	40	0,35	295	9,2	55,7	20,46	56,2	14,0	
			Odečteno z grafu [1] 66/8.4		Zisk z katalogu		Zisk z měřené hodnoty šířky hlavního laloku		T <sub>LNB</sub>		L <sub>FRX</sub>		T <sub>AT</sub>				54,5	13,6	
			Určeno dle [11]		MASCOC pro 12,75 GHz		dB		K		dB		K				55,4	13,9	
					38,25		39,53		295		14		298						

LON	r [km]	LON	LAT
23,5°	38 590	16°34'	49°13'

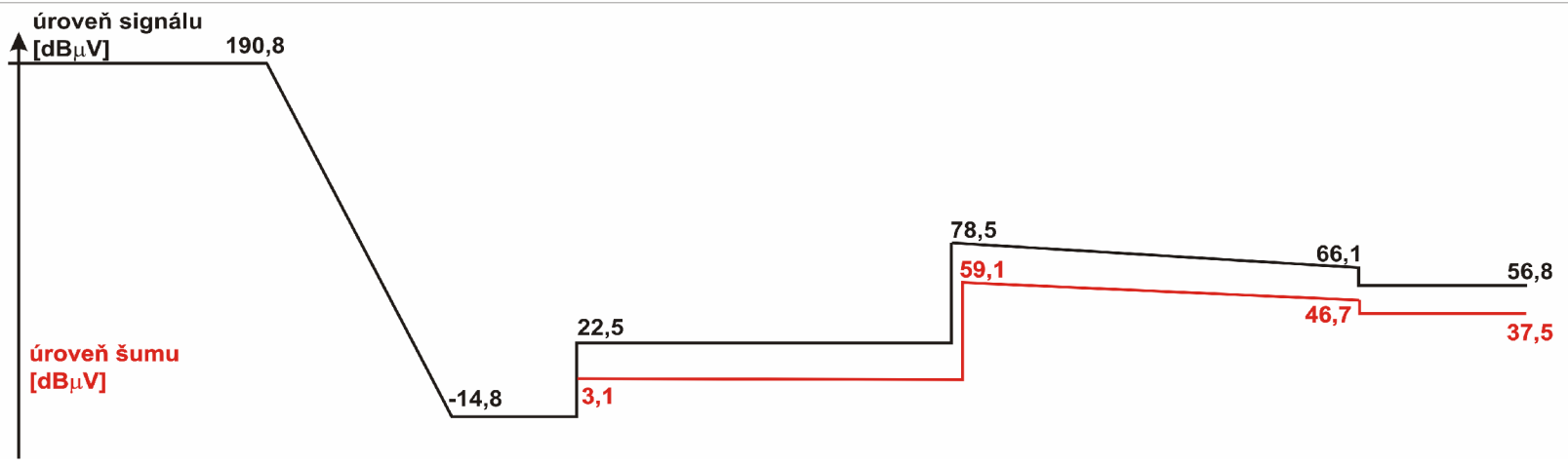
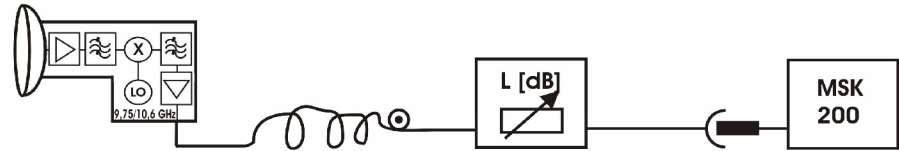
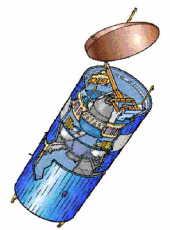
$L = 20\log(4 \pi r f / c)$   
 $L [dB] = 206,1$   
 [1]

$G[dB] = 10\log(\eta (\pi g f / c)^2)$   
 $G[dB] = 38,25$   
 [1]

$U[dB\mu V] = EIRP[dBW] + 30 + G + 108,75 + A - L - L_{FRX} - L_A$   
 $U[dB\mu V] = 52 + 30 + 38,2 + 108,75 + 56 - 206,1 - 14 - 9,2$   
 $U[dB\mu V] = 55,65$   
 [1]

$$T_0 = \frac{T_A \cdot A_{LNB} + T_{LNB} (F - 1) + T_{FRX}}{L_{FRX} / L_A} + T_{AT}$$

$T_0 = 151\ 816\ K$   
 $N[dB\mu V] = 10\log(k \cdot B \cdot T_0 \cdot 1000) + 108,75 = 36,65\ dB\mu V$   
 $C/N [dB] = 20,46\ dB$   
 [1]



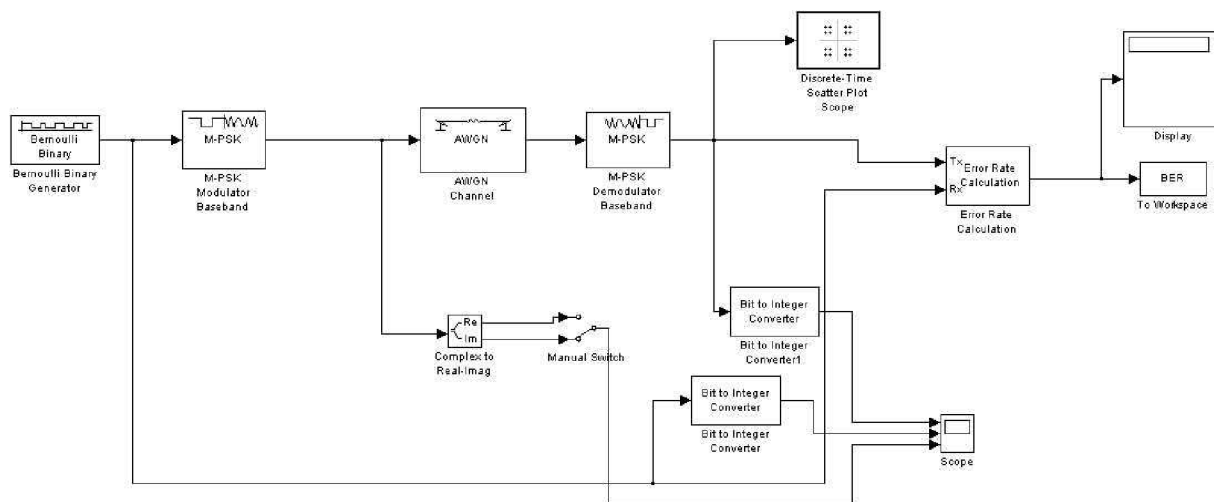
Obr. 19: Energetická bilance měřeného družicového spoje .

# 5 PRAKTICKÉ SROVNÁNÍ SYSTÉMŮ DVB-S A DVB-S2

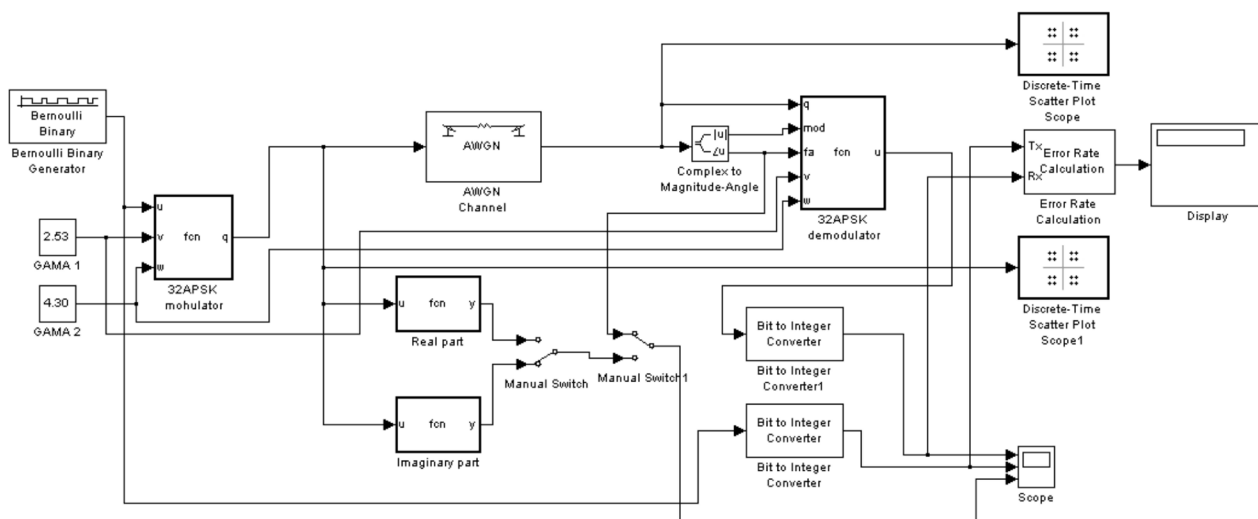
## 5.1 Rádiové rozhraní – použité modulátory

Jak již bylo výše zmíněno, standard DVB-S2 umožňuje kromě QPSK použití i modulátorů 8PSK a pro pevnou družicovou službu i modulátorů 16APSK a 32APSK. Modulace 16APSK je IEEE pojmenovaná jako 16QAM typ II. Vyšší typy modulací mají zhoršenou odolnost proti kanálovému šumu a tedy při použití stejného kanálu a stejného pozemního segmentu (stejně jakostní číslo G/T) vzniká vlivem šumů, nelinearit, absorpce, úniků atd. vyšší chybovost. Ta je snižována účinnějším kanálovým kódováním. [6]

Pro simulaci vlivu kanálového šumu na chybovost přijatého signálu byly vytvořeny jednoduché modely v Simulinku. (Obr. 20, 21) [8]



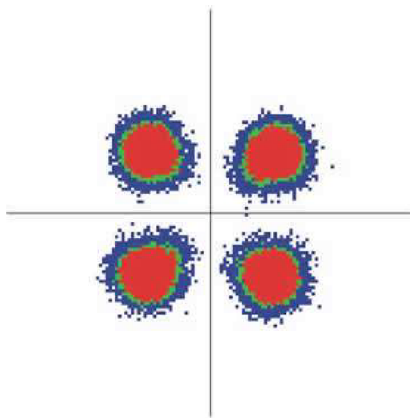
Obr.20: Model pro určení závislosti chybovosti na S/N v AWGN kanále a konstelační analýzy pro modulace QPSK a 8PSK.



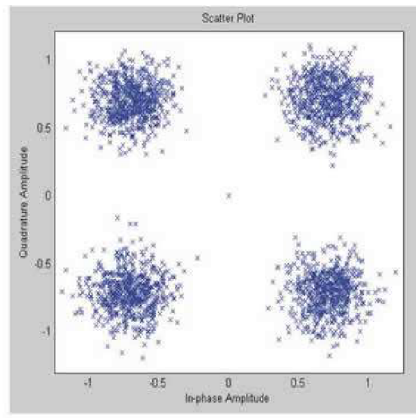
Obr.21: Model pro určení závislosti chybovosti na S/N v AWGN kanále a konstelační analýzy pro modulace 16APSK a 32APSK.



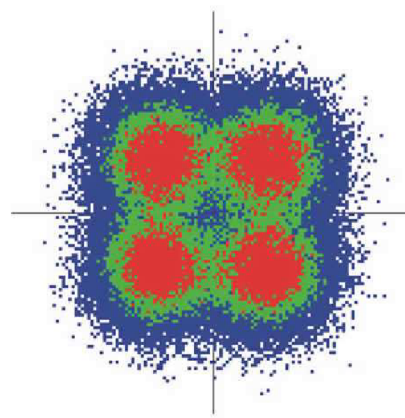
V prvním z nich jsou použity knihovní prvky knihovny Communication blockset / Digital baseband modulations pro modulátory MPSK. Modulátory 16 a 32 APSK však tato knihovna neobsahuje, proto ve druhém modelu byly naprogramovány jejich funkce dle příslušné normy. Rovněž byly vytvořeny příslušné demodulátory s tvrdým rozhodováním. V příslušné normě jsou dále definovány poměry energií symbolů na dvou (16APSK) či třech (32APSK) hladinách (kružnicích) konstelačního diagramu. Tyto jsou označeny  $\gamma$ , případně  $\gamma_1$  a  $\gamma_2$  a jejich hodnota závisí na použitém kódovém poměru LDPC kódu. Pro tuto simulaci, kde je testován pouze modulátor bez připojeného kodéru byly zvoleny hodnoty  $\gamma$  pro nejnižší kódové zabezpečení (CR = 9/10).



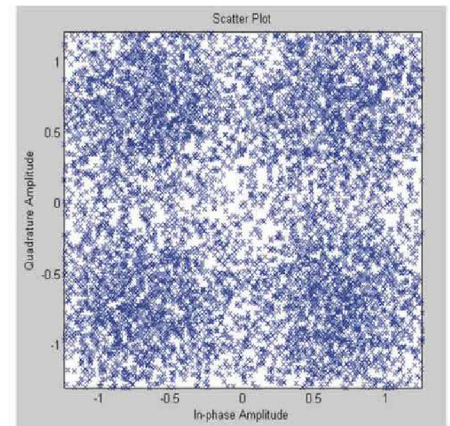
**MER = 13,8 dB    BER = 4,6 E-7**



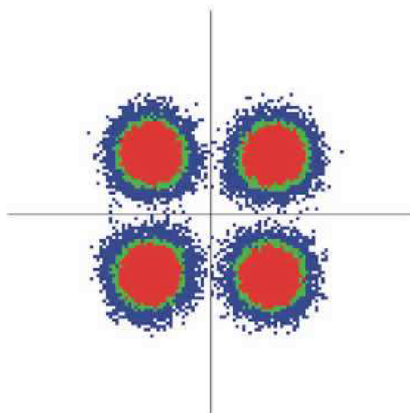
**SNR = 13,8 dB**



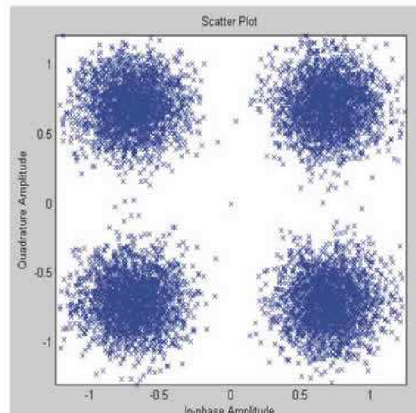
**MER = 4,7 dB    BER = 4,2 E-2**



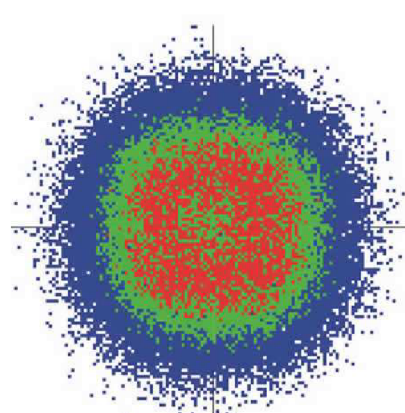
**SNR = 4,7 dB    BER = 6,4 E-2**



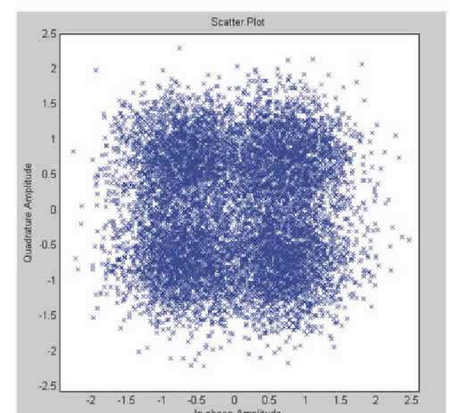
**MER = 11,9 dB    BER = 4,4 E-5**



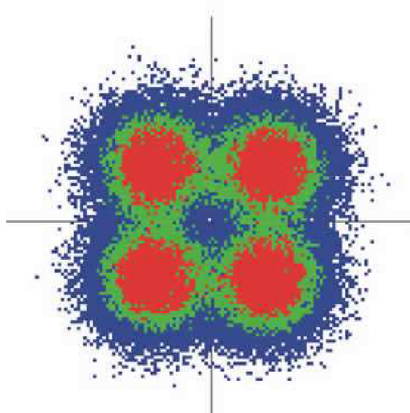
**SNR = 11,9 dB    BER = 1,5 E-4**



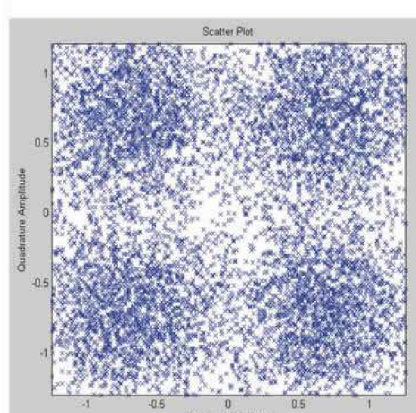
**MER = 3,9 dB**



**SNR = 3,9 dB    BER = 8,5 E-2**



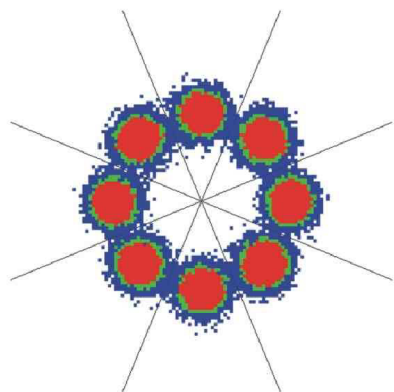
**MER = 5,6 dB    BER = 2,7 E-2**



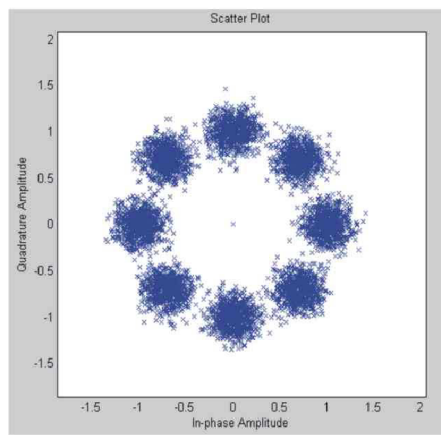
**SNR = 5,6 dB    BER = 4,2 E-2**

Obr.22: Konstelční diagramy QPSK

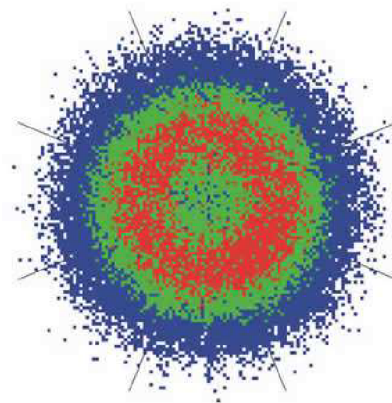
Vlevo: změřené pro různé hodnoty modulační chyby MER.  
 Vpravo: simulované pomocí simulinkového modelu uvedeného výše.



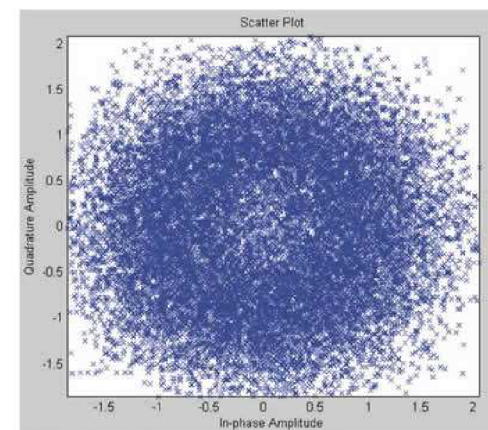
**MER = 15,6 dB    BER = 9,9 E-4**



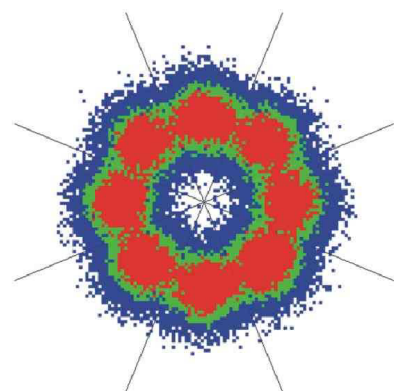
**SNR = 15,6 dB    BER = 1,3 E-3**



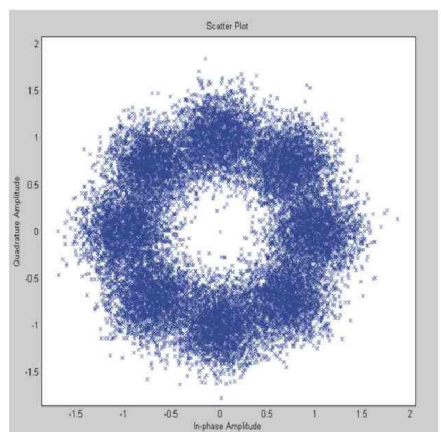
**MER = 3,7 dB**



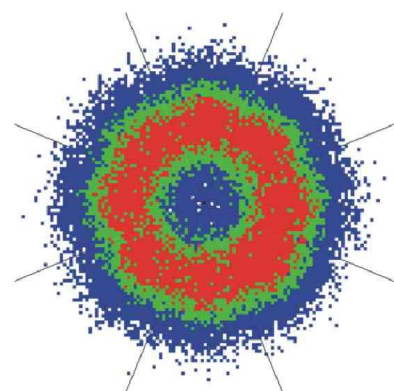
**SNR = 3,7 dB    BER = 0,23**



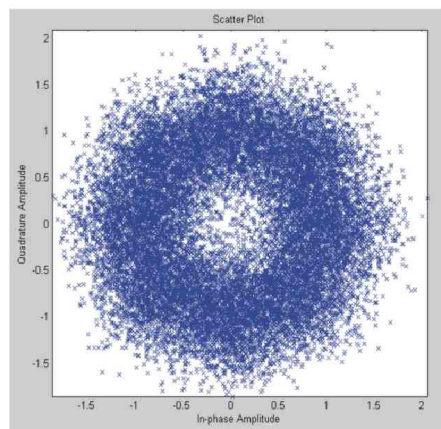
**MER = 9,6 dB    BER = 3,4 E-2**



**SNR = 10 dB    BER = 4,9 E-2**



**MER = 6,8 dB    BER = 8,2 E-2**



**SNR = 6,8 dB    BER = 1,3 E-1**

Obr.23: Konstelační diagramy 8PSK

Vlevo: změřené pro různé hodnoty modulační chyby MER.  
Vpravo: simulované pomocí simulinkového modelu uvedeného výše.

Kromě konstelační analýzy byly měřeny závislosti modulační chyby MER na bitové chybovosti modulací používaných ve zkoumaných standardech pro pozemní družicovou službu (broadcasting) tedy QPSK a 8PSK. U těchto byly naměřené hodnoty waterfall křivek porovnány s teoretickými hodnotami. U všech modulací pak byly tyto závislosti zjištěny cyklickým spouštěním Simulinkových modelů.

Pro pravděpodobnost chyby symbolu MPSK modulace platí:[9]

$$P_s = 2Q\left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}} \sin \frac{\pi}{M}\right), \quad (5.1)$$

kde E je energie jednoho symbolu  $N_0$  pak energie AWGN šumu na jeden Hz šířky pásma. Pro pravděpodobnost chyby bitu (bitovou chybovost) MPSK: [9]

$$P_b \approx \frac{P_s}{\log_2 M} \quad (5.2)$$

Tedy pokud položíme  $B_N \approx B$  platí:

$$N = N_0 \cdot B \quad (5.3)$$

A pro energii signálu:

$$S = E \cdot B \quad (5.3)$$

Tedy pro modulaci QAM:

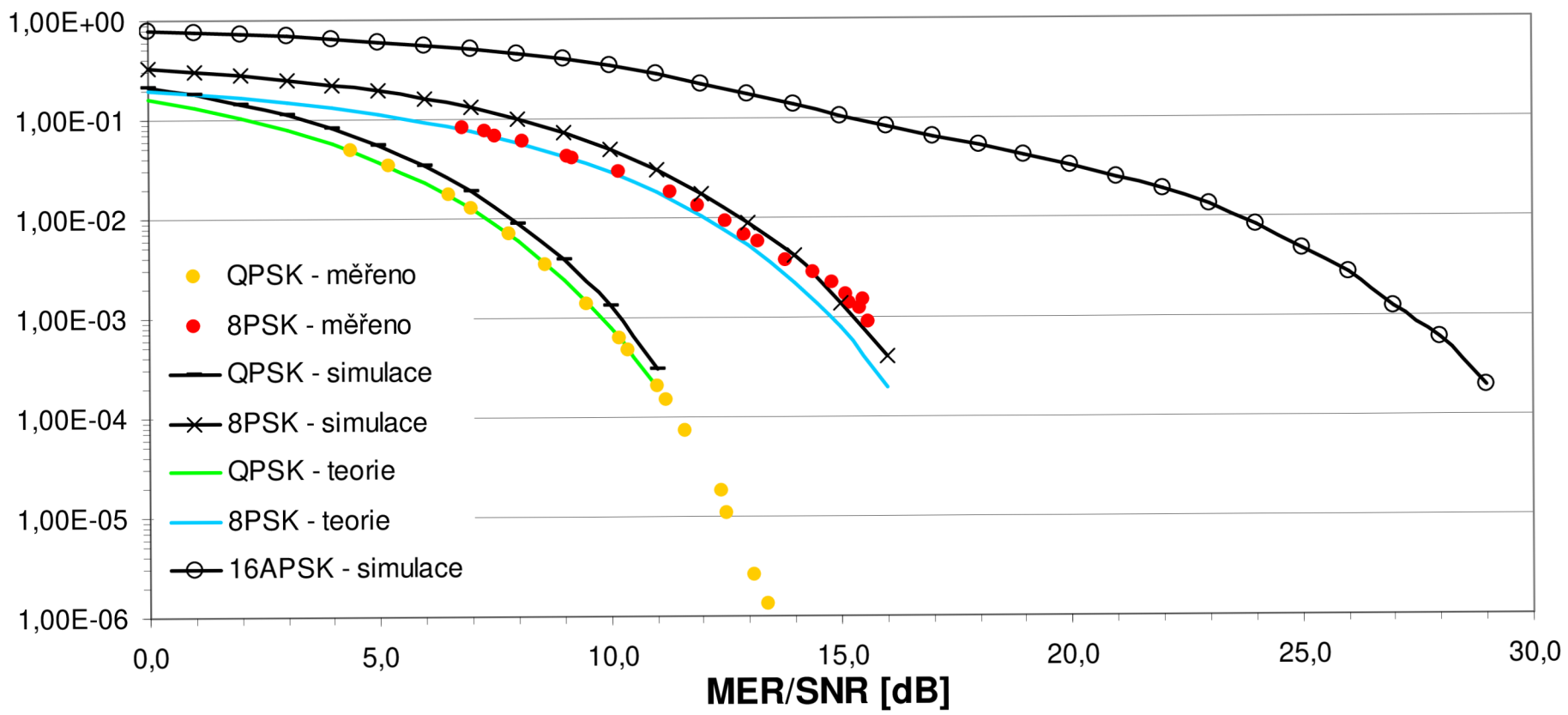
$$P_s = \frac{2Q\left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}} \sin \frac{\pi}{4}\right)}{\log_2 4} = \frac{2Q\left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}} \frac{\sqrt{2}}{2}\right)}{2} = Q\left(\sqrt{\frac{E}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{10^{\frac{S}{N}[\text{dB}]/10}}\right) \quad (5.4)$$

A pro modulaci 8PSK:

$$P_s = \frac{2Q\left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}} \sin \frac{\pi}{8}\right)}{\log_2 8} = \frac{2Q\left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}} 0,38268\right)}{3} = \frac{2}{3} Q\left(\sqrt{2 \cdot 10^{\frac{S}{N}[\text{dB}]/10}} 0,38268\right) \quad (5.5)$$

**BER [-]**

**BER = f (MER) / BER = f (SNR)**



Obr.24: Závislost bitové chybovosti na modulační chybě měřená pro použité modulace QPSK a 8PSK.  
Závislost bitové chybovosti na poměru výkonu signálu k šumu pro používané modulace simulovaná v simulinku.  
Závislost bitové chybovosti na poměru výkonu signálu k šumu pro používané modulace teoretická.

## 5.2 Kanálové kódování – účinnost zabezpečení

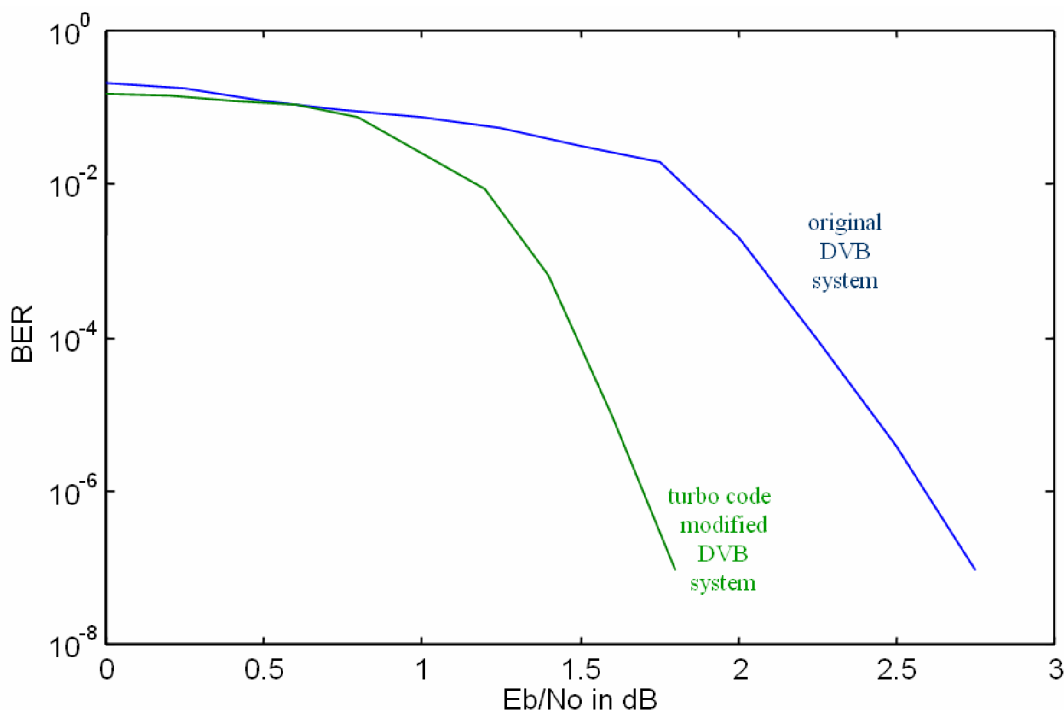
[5], [6]

Jak již bylo výše zmíněno, standard DVB-S používá pro kanálové kódování jako vnější Reed-Solomonův kód (RS(204,188)), což je blokový cyklický kód. Do této skupiny patří i vnější kód BCH, použitý ve standardu S2. Rozdíl ve standardech je též v prokládání. Na rozdíl od Forneyova blokového prokladače použitého ve starším systému mezi vnějším a vnitřním kóděrem, u novějšího standardu je použit bitový prokladač jako poslední člen kanálového kódování.

Nejvyšším přínosem nového standardu je však použití LDPC kódu, který, jak již bylo dříve také uvedeno, dokáže zpracovat signál s vyšší chybovostí s vysokou účinností a umožňuje tedy při použití stejné přenosové cesty a stejného pozemního segmentu užití vyšší modulační. K doložení tohoto tvrzení poslouží následující tabulka. (Tab.4) Rozptyl zde uvedených hodnot je částečně dán různým kódovým poměrem použitého konvolučního/LDPC kódu.

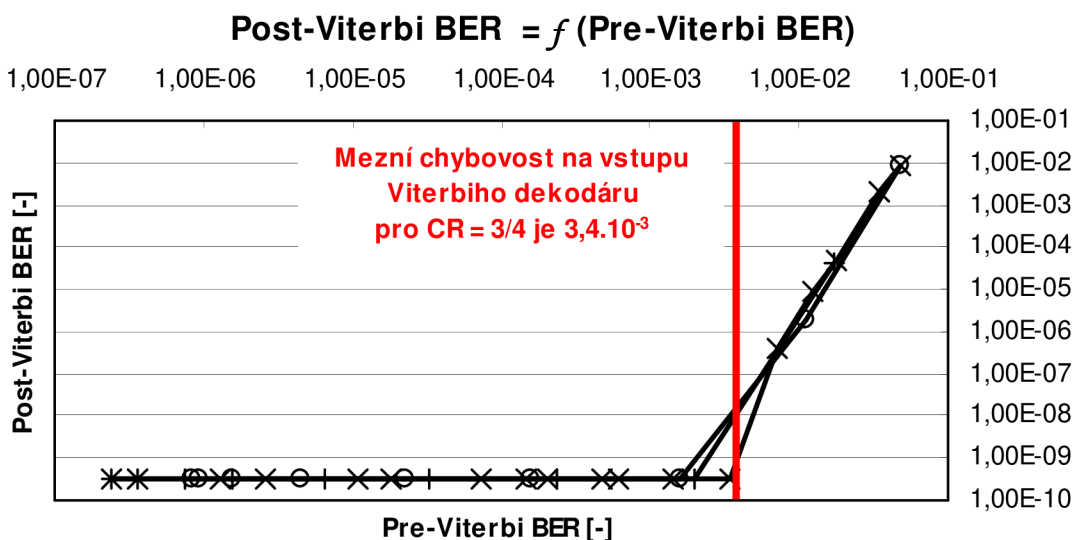
Použitá modulační	Systém kanál. kód	Minimální hodnota C/N [dB]
QPSK	DVB-S	3 ÷ 7,5
	DVB-S2	-2,4 ÷ 6,5
8PSK	DVB-S2	5,5 ÷ 11
16APSK	DVB-S2	9 ÷ 13,1
32APSK	DVB-S2	12,7 ÷ 15,6

Tab.4: Srovnání minimálních hodnot C/N nutných nutných pro provoz systémů DVBS/S2 [2]



Obr.25: Graf závislosti bitové chybovosti na výstupu dekodérů RS + Viterbiho LDPC na  $E_b/N_0$  vstupního signálu. (převzato z [10])

Dalším dokladem je graf srovnání účinnosti kanálového kódování v systémech první a druhé generace. (Obr.25) Tento vznikl jako výsledek modelu [10], jenž předpokládá pouze AWGN kanál s ideální fázovou synchronizací nosné i symbolovým časováním, s použitím modulace QPSK s RC filtrem s rolloff faktorem 0,35. Z grafu je patrné, že rozdíl ve vstupní hodnotě  $E_b/N_0$  je pro hladinu chybovosti BER nižší než  $10^{-7}$  větší než 1 dB. Dalšího zlepšení se dosahuje použitím vnějšího kódu BCH.



Obr.26: Graf závislosti bitové chybovosti na výstupu Viterbiho dekodéru na chybovosti jeho vstupu pro 3 nezávislá měření.

V grafu účinnosti kanálového dekódování DVB-S (Obr.26) je možné vyčíst mezní chybovost vstupních dat, při níž narůstá výstupní chybovost nad hodnotu QEF, tedy nad hodnotu, kdy se ještě chyby pozorovatelně neprojeví v přijímaném signálu. Tato mez má pro daný dekodér hodnotu  $3,4 \cdot 10^{-3}$ , což je o více než řád méně, než teoretická hodnota  $3 \cdot 10^{-2}$  uvedená v [6]. Citlivost měřicího přijímače je nižší než u běžných přijímačů. Toto je dáno faktem, že se jedná o servisní přijímač pro TKR. Je tedy na místě, aby signál z těchto rozvodů měl vhodné vlastnosti i pro přijímač s minimální citlivostí. To je také důvod, proč se nepodařilo změřit obdobnou charakteristiku pro systém DVB-S2.

Při měření charakteristiky  $\text{Post-LDPC/BCH BER} = f(\text{Pre-LDPC/BCH BER})$  nastala při zvyšování BER vstupního signálu ztráta synchronizace dříve transportního toku, než došlo k nárůstu chybovosti výstupu nad QEF.

## 6 MĚŘENÍ PARAMETRŮ MPEG-2 TS

Od úterý 8.12.2009 16:30 do středy 9.12. 16:45 bylo prováděno měření chybovosti TS toku platformy CS link vysílající z družice ASTRA 3A na transpondéru 12,525 GHz v systému DVB-S. Další parametry vysílání jsou uvedeny v kapitole 4 Měření parametrů přijatého signálu.

[4]

Histogram (Obr.27) udává čísla chyb jednotlivých priorit, vyskytnuvších se po dobu měření. Názvy a specifikace jsou pak uvedeny v legendě (Tab.5). V počtu výrazně dominují dvě chyby a to s čísly 150 (1. priorita) a 221 (2. priorita). V prvním případě se jedná o chybu PID error, která nastává pokud je časový interval mezi příchodem dvou paketů jednoho elementárního toku (tedy paketů se stejným PID) větší než 5 s. Druhá chyba (PCR error) je nedodržení časového intervalu mezi časovými značkami pro MPEG2 dekodér PCR. Chyba je vyhodnocena pokud interval mezi dvěma pakety s PCR hodnotou překročí 40 ms. Jak z počtu zmíněných chyb, tak hlavně z jejich rovnoměrného rozdělení (Obr.28) lze usoudit, že se v těchto dvou případech jedná o chyby systémové, způsobené faktem, že vysílání MPEG2 TS transportní tok nedodržuje normu, podle které je přístroj nastaven. V prvním případě (chyba 150) je dokonce ve směrnici ETR 290 povoleno použití "uživatelské hodnoty" distance. Z tohoto pohledu se tedy nejedná o chyby a je možné je ze statistiky eliminovat.

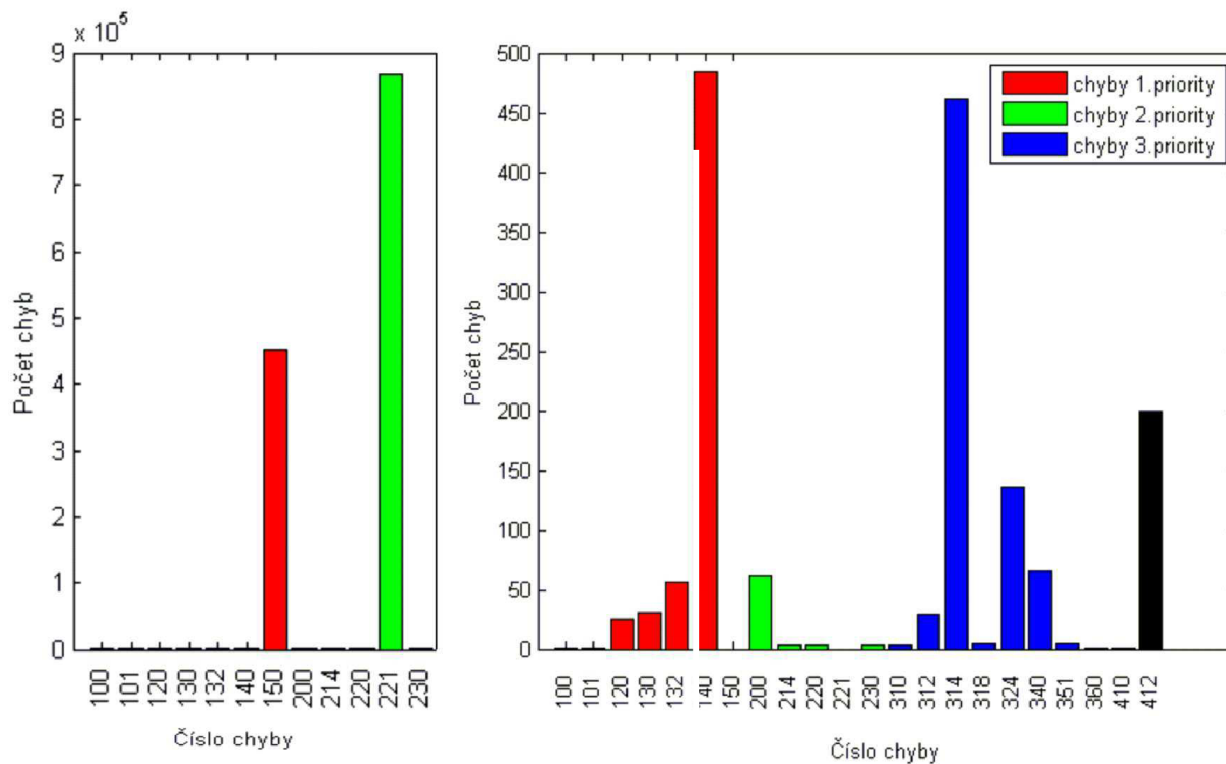
V takto změněných výsledcích převažují dvě částečně související chyby 140 a 314. První PMT error upper distance je indikovaná pokud perioda příjmu části (sekce) tabulky PMT obsahující údaje o PIDs paketů elementárních toků překročí 0,5 s. Druhá SI repetition error pak indikuje stav, kdy není celá tabulka PMT přijata každých 0,5 s. Určení příčin těchto chyb je obtížné. Nicméně vzhledem k faktu, že tabulky PAT, PMT i CAT mají stejnou opakovací periodu, zdá se být vzhledem ke způsobu přenosu nepravděpodobné, že například případný plochý únik vzniklý třeba hydrometeory by způsobil absenci pouze jedné z tabulek. Z tohoto důvodu se lze domnívat, že velká část těchto chyb není způsobena přenosem. Zbývá tedy možnost vzniku chyb na multiplexeru nebo na přijímači. Druhou variantu by mohlo vyloučit srovnávací měření přijímače při příjmu referenční sekvence se stejnými parametry jako přijímaná. Toto však nebylo provedeno.

Další dva typy chyb první priority (132 a 130 – Continuity count error ) jsou chyby určené jednak ztrátou paketu, jednak jeho příchodem mimo pořadí (chyba pořadí příjmu paketů). Příčiny těchto chyb mohou být opět mnohé. V prvním případě se může jednat o paket, který byl při přenosu natolik poškozen, že jej nebylo možné dekódovat. Ve druhém případě se k této možnosti připojí ještě náhodné zachycení odraženého nebo atmosférickým kanálem zpožděného signálu. Tato teorie však hraničí se spekulací. Poslední relevantní chyba první kategorie je 120 – PAT error. O příčinách těchto chyb, jež jsou indikovány při nedodržení periody příjmu tabulky PAT délky 0,5 s, však již autor odmítá spekulovat.

Mezi chybami první kategorie jsou ještě dvě chyby označují počátek a konec časového bloku se ztrátou synchronizace. Ta však byla indikována pouze při začátku měření než k synchronizaci došlo. Z tohoto hlediska se tedy rovněž jedná o systémové chyby a do hodnocení je není nutno zahrnovat.

Z chyb druhé priority bude ještě vzhledem k četnosti zmíněna chyba 200 (Transport error). Jak již z názvu vyplývá, chyba je indikovaná pokud je v hlavičce daného indikátoru nastaven transport error indicator na 1. Tato indikace značí, že paket byl při přenosu natolik poškozen, že samoopravné kódy již toto poškození nedokázaly eliminovat. U této chyby lze tedy tvrdit, že byla způsobena chybovostí přenosového kanálu.

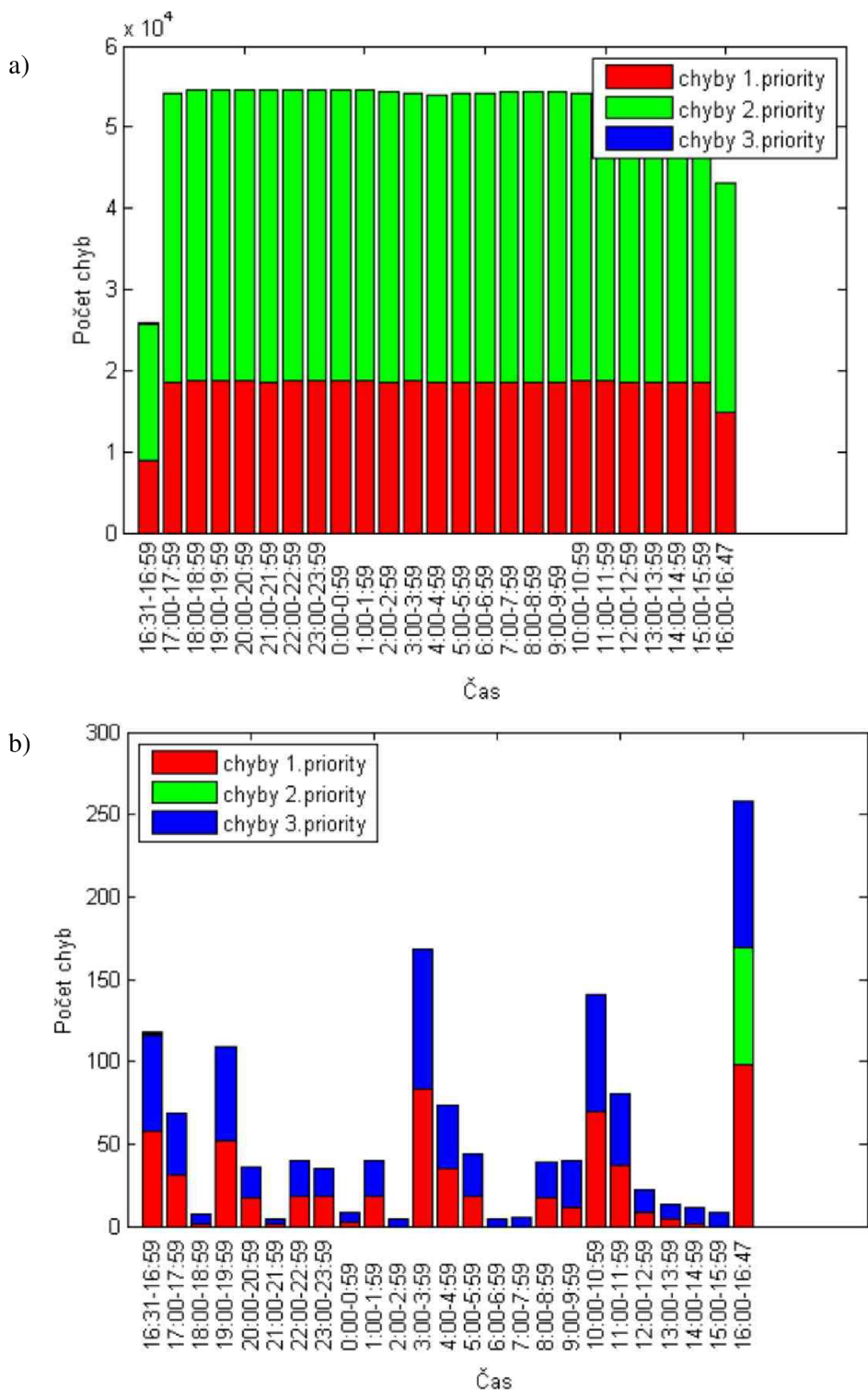




Obr.27: Histogram celkového počtu výskytů jednotlivých chyb v uvedeném 24-hodinovém měření.

	číslo chyby	počet	název chyby	specifikace
1	100	1	TS_sync_loss	Loss
1	101	1	TS_sync_loss	OK
1	120	25	PAT_error	Upper_distance
1	130	31	Continuity_count_error	Pack_order
1	132	56	Continuity_count_error	Lose_packet
1	140	484	PMT_error	Upper_distance
1	150	451373	PID_error	
2	200	61	Transport_error	
2	214	3	CRC_error	EIT
2	220	3	PCR_error	Discontinuity
2	221	867565	PCR_error	PCR_U
2	230	4	PCR_accuancy_error	
3	310	3	SI_repetition_error	PAT_U
3	312	29	SI_repetition_error	CAT_U
3	314	462	SI_repetition_error	PMT_U
3	318	5	SI_repetition_error	SDT_U
3	324	136	SI_repetition_error	RST_L
3	340	65	unreferenced_PID	
3	351	5	SDT_error	SDT_U
3	360	1	EIT_error	Tab_id
4	410	1		
4	412	2		

Tab.5: Legenda k histogramu Obr.24.



Obr.28: Histogramy výskytů chyb jednotlivých priorit v čase pro uvedené měření.

- a) Celkový počet chyb dané priority.
- b) Počet chyb dané priority bez "systémových" chyb
 

chyb	150	-	PID error
a	221	-	PCRu error.

Graf (Obr.28/b) naznačuje, že chyby jsou rozloženy v průběhu dne celkem rovnoměrně, nicméně rozptýl výskytu chyb v jednotlivých hodinách je značný, což by nasvědčovalo změnám příjmových podmínek.

## 7 MĚŘENÍ KVALITY OBRAZU

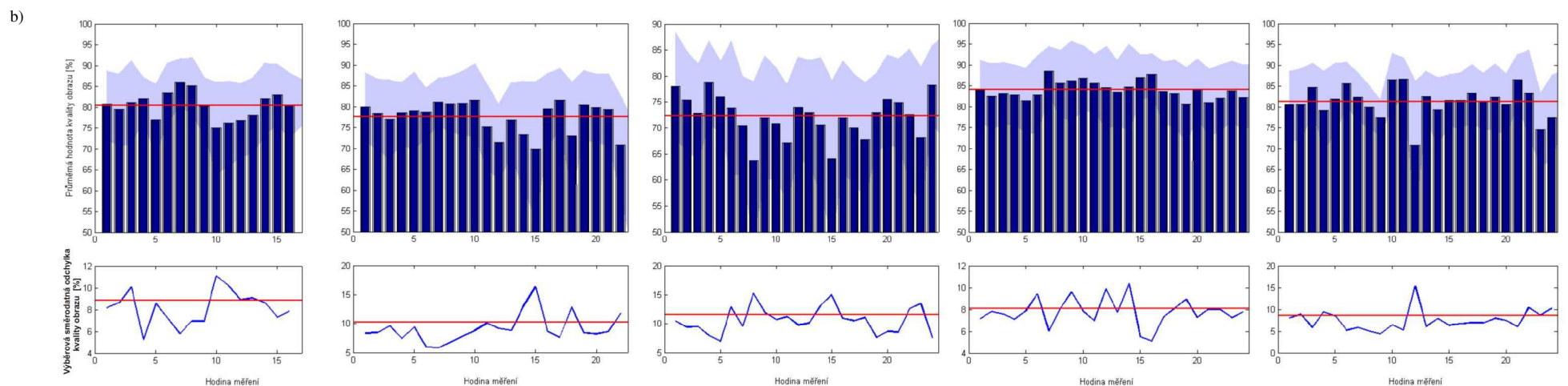
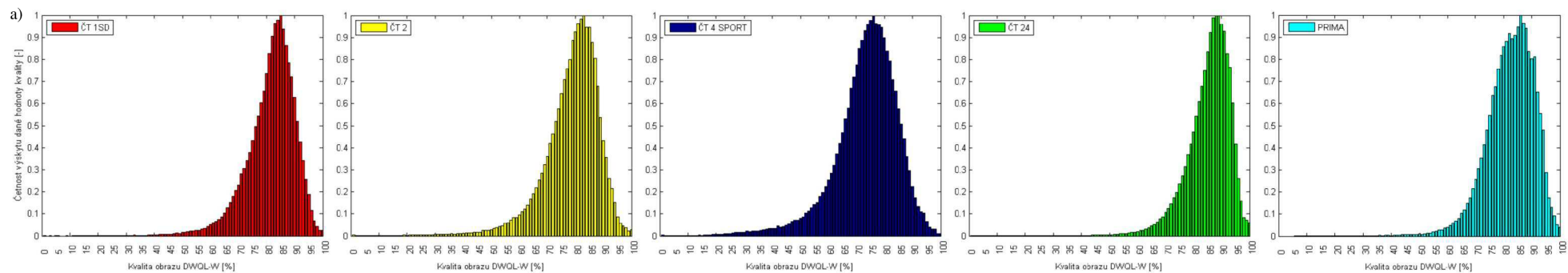
Pro měření kvality obrazu byla použita metoda DVQ popsaná v kapitole 3 této práce a toto probíhalo na pracovišti, jehož schéma je na obrázku (Obr. 10, 11) a jehož nastavení bylo výše rovněž popsáno. Ve 24-hodinových cyklech byly měřeny následující programy MPEG2 TS toku služby CS-link z družice ASTRA 3A. (parametry nastavení příjmu popsány na straně 12)

ČT1	od	středy	9.12.2009	16:30
ČT2	od	čtvrtku	21.1.2010	17:18
ČT4	od	středy	20.1.2010	14:38
ČT24	od	úterka	19.1.2010	14:00
PRIMA	od	čtvrtku	10.12.2009	17:45

V případě ideálních podmínek probíhá měření s frekvencí 2,5 měření/s. Pokud dojde vlivem momentálně zhoršených příjmových podmínek (rychlý únik) k zamrznutí obrazu či jiné závažné chybě TS toku, přijímač o tom informuje návěstím a po jistou dobu extrapoluje hodnoty obrazu z již přijatých. To je důvod, proč je čas po který není na DVQ analyzátoru platná hodnota nižší, než čas trvání těchto chyb. Pokud nastane chyba synchronizace TS toku, či přijímač přejde ze stavu maskování momentální chyby do stavu chybového hlášení, pak logicky měření není prováděno. V takovém případě byly chybějící hodnoty při zpracování lineárně interpolovány z předchozí a následující, aby byla pro statistické zpracování zachována časová ekvidistance měření. Dále byla vytvořena statistika těchto chyb. Tato je shrnuta v tabulce. (Tab.8) Je patrné, že i pro nejhorší případ, tedy program ČT2, bylo měření pozastaveno pouze na dobu 71 s, která tvoří méně než desetinu procenta měřeného času a chyba interpolací měřených hodnot je tedy ve statistickém zpracování výsledků zanedbatelná.

Z histogramů četností výskytů dané kvality obrazu ve 24 hodinovém měření (Obr.29/a) lze vyčíst, že nejčastější hodnota kvality obrazu je pro naměřené průběhy mezi 65 a 85, tedy s hodnocením jako dobrý (good) (ČT4) či excelentní (excellent) (ČT1, ČT2, ČT24 a PRIMA). Samotná hodnota modusu však není plně vypovídající. Lepší informaci o kvalitě obrazu snad poskytuje "pseudokvantilová" analýza shrnutá v tabulce. (Tab.9) Vzhledem ke zřejmému zápornému koeficientu šikmosti rozdělení je průměrná hodnota kvality obrazu vždy nižší než modus. (Tab.6) Z grafů je patrný také rozdíl rozptylů naměřených hodnot. Tento druhý centrální moment je aproximován pomocí výběrové směrodatné odchylky ve zmíněné tabulce a pro jednotlivé hodiny v grafu (Obr.29/b dole) modrou křivkou a pro celodenní měření tamtéž červenou linií.

V rámci statistického vyhodnocení naměřených hodnot je ve sloupcovém grafu (Obr.29/b nahoře) vynesena jednak hodinový vývoj průměrných hodnot kvality obrazu, červenou linií pak opět celodenní průměr. Světle modré pole na pozadí vyznačuje oblast průměrné hodnoty  $\pm$  výběrová směrodatná odchylka. V této oblasti se nacházejí hodnoty v dané hodině s pravděpodobností vyšší než 66%. Pro jednotlivé průběhy je tato obsažena v posledním řádku tabulky. (Tab.6)



DWQ-W denní statistika		ČT1	ČT2	ČT4	ČT24	PRIMA
Průměr	%	80,4	77,6	72,3	84,1	81,3
Modus	%	84	82	75	88	85
Výběrová směrodatná odchylka	%	8,8	10,2	11,5	8,1	8,6
hodnot v poli < DVQL > ± σ	%	70,5	66,5	68,4	69,0	67,0

Průměrná denní hodnota		ČT1	ČT2	ČT4	ČT24	PRIMA
DWQ - W	%	80,4	77,6	72,3	84,3	81,3
SA	%	43,9	41,57	55,2	52,3	35,7
TA	%	20,9	25,87	34,8	13,1	24,6
Data rate	Mbit/s	5,0	5,8	6,8	4,1	4,4

Obr.29: a) Histogramy četností výskytu jednotlivých hodnot kvality obrazu DWQL-W 24-hodinového měření pro jednotlivé programy měřeného TS toku

b) Hodinové a jednodenní statistiky kvality obrazu

Tab.6: Statistika hodnot denního měření kvality obrazu

Tab.7: Jednodenní statistika měření hodnot koeficientů SA TA a datového toku

Program	Neprovedených měření celkem			Ztráta synchronizace TS		Zamrznutí obrazu		Jiná závažná chyba TS	
	počet	z celkového počtu	čas nečinnosti	počet	z celkového počtu	počet	z celkového počtu	počet	z celkového počtu
	[-]	[%]	[s]	[-]	[%]	[-]	[%]	[-]	[%]
ČT1	32	0,002	12,8	2	0,001	72	0,05	218	0,15
ČT2	178	0,08	71,2	0	0	131	0,06	190	0,09
ČT4	15	0,008	6,0	4	0,002	327	0,18	17	0,009
ČT24	6	0,003	2,4	0	0	24	0,01	7	0,003
PRIMA	77	0,036	30,8	15	0,007	990	0,46	773	0,36

Tab.8: Počty chybných měření a důležité chyby v přijímaném signálu po čas měření.

kvalita obrazu	picture quality		ČT1	ČT2	ČT4	ČT24	PRIMA
vynikající	excellent	$P(DVQL \epsilon < 80; 100) =$	62,1 %	49,0 %	26,3 %	78,3 %	62,4 %
dobrá a lepší	$\geq$ good	$P(DVQL \epsilon < 60; 100) =$	97,5 %	95,1 %	88,9 %	98,9 %	98,4 %

Tab.9: Procento času po který byla kvalita obrazu daného programu - vynikající.  
- lepší než dobrá včetně.

	DVQ-W	SA	TA	Data rate
DVQ-W	1	-0,35	-0,28	-0,47
SA		1	-0,24	0,43
TA			1	0,32
Data rate				1

Tab.10: Koefficienty vzájemné korelace relevantních veličin počítané ze všech naměřených dat.

Pro další srovnání byly záměrně vybrány výsledky měření dvou programů s velmi protichůdnými parametry ovlivňujícími kvalitu obrazu. Program ČT 4 s vysokou hodnotou TA a SA, které sice do jisté míry maskují blokové fragmenty DCT, nicméně kladou nároky na zvýšení podílu datového toku ve statistickém multiplexu všech programů ČT, vedle vyšší sledovanosti „hlavního“ programu ČT1 multiplexovaného na vysokou kvalitu obrazu. Z naměřených výsledků by se také dala hádat jistá závislost jednak mezi modulem a rozptylem jednak mezi datovým tokem a kvalitou obrazu.

Pro potvrzení těchto korelací byla provedena analýza, jejíž výsledky jsou uvedeny v tabulce. (Tab.10) Koeficienty vzájemné korelace byly počítány ze všech naměřených dat. I když dosahují pouze nízkých hodnot, lze mluvit o volné závislosti kvality obrazu na datovém toku. Tato se proti očekávání v oblasti měření snižuje s rostoucím datovým tokem. Také si lze povšimnout, že veličiny SA a TA, jež mají být z definice nezávislé, vykazují nenulový koeficient vzájemné korelace.

# ZÁVĚR

Diplomová práce vychází i z řešení předchozích semestrálních projektů. Teoretická část shrnuje velice stručně potřebné minimum pro pochopení výsledku měření a simulací a popisuje jednak samotný přenos signálu satelitní cestou, ale i metody měření parametrů tohoto, zejména pak dostupné informace o metrice DVQ.

Ve vlastní práci jsou zmíněny, ať již přímo nebo nepřímo, všechny části přenosového a přijímacího řetězce kromě zdrojového kódování. V souladu se zadáním byla provedena měření jak na rádiovém rozhraní, tak po demodulaci, po kanálovém dekódování a po zdrojovém dekódování. V celé práci, tam kde je to účelné, je prováděno srovnávání systémů DVB-S / S2.

Měření na rádiovém rozhraní potvrdilo teoretické předpoklady. Tedy, že ve stejném kanále (MER = 14 dB) vzniká v systému DVB-S2 díky použité vyšší modulaci výrazně vyšší kanálová chybovost  $3,7 \cdot 10^{-3}$  oproti  $2,38 \cdot 10^{-7}$ . Tato je však opravena účinnějším protichybovým zabezpečením na hodnotu chybovosti QEF (BER <  $3,1 \cdot 10^{-10}$ ), tedy stejnou jako u první generace. Naměřenými hodnotami lze také doložit vyšší účinnost zabezpečení postaveného na turbokódu. Zatímco v systému DVB-S klesne výstupní chybovost pod hranici QEF již při kanálové chybovosti  $7,1 \cdot 10^{-3}$ , v systému druhé generace se tak nestane ani při hodnotě  $8,2 \cdot 10^{-2}$ . Jistě by bylo možné dokázat i fakt, že pro modulaci QAM tento systém funguje i při poměru MER nižším než 0. Toto však naráží na dva zásadní problémy, kterými jsou jednak fakt, že v době měření nebyl na dostupných družicích nalezen signál DVB - S2 / QPSK, dále pak neschopnost použitého přijímače se na signál s takovouto chybovostí zasynchronizovat.

Při měření chybovosti transportního toku MPEG2 TS byla nejčastější relevantní chyba první priority nedodržení periody příjmu PMT tabulky. Tato chyba nastala ve 484 případech a vzhledem k faktu, že části této tabulky mají být přijímány s periodou 0,5 s, byl transportní tok touto chybou postižen cca 4 minuty v celém dni, s vysokou pravděpodobností však kratší dobu. Je nutno poznamenat, že krátkodobá nemožnost přijetí této tabulky nemusí být z hlediska uživatele vůbec postřehnutelná.

Kvalita obrazu byla i v nejhorším naměřeném případě (program ČT4 Sport) po více než 85 % času lepší než dobrá včetně. U programu s nejvyšší kvalitou obrazu (PRIMA) měla tuto kvalitu po více než 98 % měřeného času.

Oproti zadání nebyl vyhodnocován vliv parametrů signálu na výskyt konkrétních chyb v TS toku ani na kvalitu obrazu. Tato měření by dle autora měla smysl pouze v případě referenčního měření při použití místně generovaného signálu s jedním definovaným, kvantifikovaným a časově invariantním defektem. Naměřené hodnoty (například kvality obrazu) by byly v nepochybné kauzální souvislosti s parametry a celé měření by bylo lehce reprodukovatelné. I v podmínkách měření signálu z neznámého zdroje s neznámým poškozením přenosovou trasou, případně přijímačem, by bylo možné provést například paralelní měření chybovosti transportního toku a kvality obrazu. I v takovémto případě by však bylo obtížné najít mezi výsledky těchto měření jasnou souvislost.

I přes tento drobný nesoulad však práce ve stručném minimu splňuje všechny úkoly zadání.

# LITERATURA

- [1] KASAL, M. *Směrové a družicové spoje*. 2.vydání Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. 107 s. ISBN 80-214-2496-6
- [2] FISHER, W. *Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A practical Engineering Guide*. 2nd ed. Berlin: Springer, 2008. 586 s. ISBN 978-3-540-76357-4
- [3] VÍT, V. *Televizní Technika – přenosové barevné soustavy*. 1.vydání Praha: BEN – technická literatura, 1997. 719 s. ISBN 80-86056-04-X
- [4] KRATOCHVÍL, T. *Digitální televizní systémy. Přednášky*. v Brně 2007. 268 s.
- [5] DVB-S. EN 300 421 V1.1.2 (08/97). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services. ETSI, 1997.
- [6] DVB-S2. EN 302 307 V1.1.2 (06/06). Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications. ETSI, 2006.
- [7] DIGITAL VIDEO QUALITY ANALYZER DVQ Operating manual. ROHDE & SCHWARZ GmbH & Co. KG Mühldorfstr. 15, München 1999. 328s. D-81671
- [8] MARCHAND, P. *Graphics and GUIs with MATLAB*. 3rd ed. USA: CRC Press, 2003. 518 s. ISBN 1-58488-320-0
- [9] XIONG, F. *Digital Modulation Techniques*. I. title, London, Boston: Antech house, 2000. 653 s. ISBN 0-89006-970-0
- [10] Valenti, M. Inserting Turbo Code Technology into the DVB Satellite Broadcasting System. West Virginia University Morgantown, WV 26506-6109 USA [cit. 18. května 2010]. Dostupné na [www](http://www.csee.wvu.edu/~mvalenti/documents/milcom00.ppt): [www.csee.wvu.edu/~mvalenti/documents/milcom00.ppt](http://www.csee.wvu.edu/~mvalenti/documents/milcom00.ppt)
- [11] KASAL, M. Přírodní efekty při satelitní komunikaci. Učební text Moderní digitální rádiové komunikace DRE2 [online]. UREL FEKT VUT Brno – [cit. 18. května 2010]. Dostupné na [www](http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/studium/doc/dre2/satelit.pdf): [http://www.urel.feec.vutbr.cz/web\\_documents/studium/doc/dre2/satelit.pdf](http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/studium/doc/dre2/satelit.pdf)
- [12] Astra 3A parametry. SES ASTRA Betzdorf Luxemburg 2010. [cit. 18. května 2010]. Dostupné na [www](http://www.ses-astra.com/resources/pdf/en-shared/satellite_factsheets/0_3A_Footprint_FactSheet.pdf): [http://www.ses-astra.com/resources/pdf/en-shared/satellite\\_factsheets/0\\_3A\\_Footprint\\_FactSheet.pdf](http://www.ses-astra.com/resources/pdf/en-shared/satellite_factsheets/0_3A_Footprint_FactSheet.pdf)



# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

$\beta$	Roll-off factor
EIRP	Equivalent isotropic radiated power
Y	Luma component
16/32 APSK	Amplitude phase shift keying
8PSK	Phase shift keying
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem
C/N, CNR	Carrier to noise ratio
CA	Conditional access
CAT	Condition access table
CR	Code rate
CRC	Cyclic redundancy check
CVBS	Composite Video, Blanking and Synchronization
DCT	Discrete cosine transform
DVB-S	Digital video broadcasting by satellite
DVB-S2	Digital video broadcasting by satellite second generation
DVMD	Digital video measurement decoder
DVQL-W	Digital video quality level - weighted
DWQL-U	Digital video quality level – unweighted
ES	Elementary stream
FEC	Forward error correction
GEO	Geostationary Orbit
G/T	Gate to temperature
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
ITU	International Telecommunication Union
LDPC	Low-density parity-check code
LNB	Low noise block
LO	Local oscillator
MPEG-2	Motion picture experts group standard 2
PAT	Program access table
PCR	Program Clock Reference
PMT	Program map table
PRBS	Pseudorandom binary sequence

QEF	Quasi error free
QPSK	Quadrature phase shift keying
SA	Spatial activity
SNR	Signal to noise ratio
STB	Set-top-box
TA	Temporal activity
TKR	Televizní kabelový rozvod
TS	Transport stream
XOR	Exclusive or

# PŘÍLOHY – TABULKY NAMĚŘENÝCH HODNOT

Tab.1: Vlastnosti signálu DVB-S v závislosti na útlumu první satelitní mezifrekvence.

			Pre-Viterbi	Post-Viterbi	Úroveň	Kvalita
$L_{AT}$	$U_{IN}$	MER	BER	BER		
[dB]	[dB $\mu$ V]	[dB]	[-]	[-]	[%]	[%]
0	56,2	14,0	2,38E-07	< 3,1E-10	40	100
1	55,8	13,9	3,58E-07	< 3,1E-10	39	100
2	54,3	13,4	1,30E-06	< 3,1E-10	38	100
3	53,7	13,1	2,60E-06	< 3,1E-10	37	100
4	52,4	12,5	1,10E-05	< 3,1E-10	36	100
5	52,0	12,4	1,80E-05	< 3,1E-10	35	100
6	50,9	11,6	7,33E-05	< 3,1E-10	32	100
7	50,4	11,2	1,48E-04	< 3,1E-10	31	100
8	50,2	11,0	2,05E-04	< 3,1E-10	31	100
9	49,6	10,4	4,70E-04	< 3,1E-10	29	100
10	49,5	10,2	6,20E-04	< 3,1E-10	29	100
11	48,9	9,5	1,40E-03	< 3,1E-10	27	100
12	48,3	8,6	3,40E-03	< 3,1E-10	25	100
13	47,8	7,8	7,10E-03	4,00E-07	24	100
14	47,5	7,0	1,26E-02	9,00E-06	23	100
15	47,2	6,5	1,76E-02	5,00E-05	15	100
16	46,8	5,2	3,40E-02	2,00E-03	15	100
17	46,6	4,4	4,87E-02	8,50E-03	14	100
18	46,4	3,7			14	100

Tab.2: Vlastnosti signálu DVB-S v závislosti na chybě natočení azimutu  $\Delta\alpha$

				Pre-Viterbi	Post-Viterbi	Úroveň	Kvalita
		$U_{IN}$	MER	BER	BER		
		[dB $\mu$ V]	[dB]	[-]	[-]		
Přímo	23,5°	54,5	13,6	8,34E-07	< 3,1E-10	38	100
Východně	$\Delta\alpha$ [°]						
1	0,215	54,4	13,5	9,20E-07	< 3,1E-10	38	100
2	0,43	54,3	13,4	1,55E-06	< 3,1E-10	36	100
3	0,645	53,8	13,0	4,50E-06	< 3,1E-10	37	100
4	0,86	52,9	12,2	2,30E-05	< 3,1E-10	36	100
5	1,075	52,0	11,2	1,60E-04	< 3,1E-10	35	98
6	1,29	50,6	9,5	1,59E-03	< 3,1E-10	32	88
7	1,505	49,2	7,3	1,10E-02	1,90E-06	28	73
8	1,72	48,3	4,5	4,81E-02	9,00E-03	25	41
Přímo	23,5°	55,6	14,0	2,40E-07	< 3,1E-10	39	100
Zapadně	$\Delta\alpha$ [°]						
1	-0,215	55,4	13,9	3,58E-07	< 3,1E-10	39	100
2	-0,43	55,0	13,7	7,50E-07	< 3,1E-10	39	100
3	-0,645	54,5	13,4	1,55E-06	< 3,1E-10	38	100
4	-0,86	53,8	12,8	6,56E-06	< 3,1E-10	37	100
5	-1,075	52,7	12,0	3,30E-05	< 3,1E-10	36	100
6	-1,29	51,5	10,8	2,36E-04	< 3,1E-10	34	97
7	-1,505	50,3	9,2	1,99E-03	< 3,1E-10	31	86
8	-1,72	48,5	6,5	1,71E-02	4,40E-05	26	72

Tab.3: Vlastnosti signálu DVB-S2 v závislosti na útlumu první satelitní mezifrekvence

$L_{AT}$	$U_{IN}$	MER	Pre-LDPC	Post-LDPC
			BER	BER
[dB]	[dB $\mu$ V]	[dB]	[-]	[-]
0	59,0	15,6	8,81E-04	< 3,1E-10
1	58,0	15,5	1,50E-03	< 3,1E-10
2	57,0	15,4	1,24E-03	< 3,1E-10
3	56,3	15,2	1,38E-03	< 3,1E-10
4	55,3	15,1	1,68E-03	< 3,1E-10
5	54,2	14,8	2,20E-03	< 3,1E-10
6	53,3	14,4	2,80E-03	< 3,1E-10
7	52,2	13,8	3,70E-03	< 3,1E-10
8	51,2	13,2	5,70E-03	< 3,1E-10
9	50,7	12,9	6,80E-03	< 3,1E-10
10	49,8	12,5	9,10E-03	< 3,1E-10
11	49,2	11,9	1,32E-02	< 3,1E-10
12	48,6	11,3	1,79E-02	< 3,1E-10
13	47,5	10,2	2,90E-02	< 3,1E-10
14	47,1	9,2	4,04E-02	< 3,1E-10
15	46,9	9,1	4,20E-02	< 3,1E-10
16	46,4	8,1	5,90E-02	< 3,1E-10
17	46,1	7,5	6,80E-02	< 3,1E-10
18	45,9	7,3	7,50E-02	< 3,1E-10
19	45,8	6,8	8,20E-02	< 3,1E-10
20	44,9	3,5		

Tab.4: Vlastnosti signálu DVB-S2 v závislosti na chybě natočení azimutu  $\Delta\alpha$

DVBS2		$U_{IN}$	MER	Pre-LDPC	Post-LDPC
				BER	BER
		[dB $\mu$ V]	[dB]	[-]	[-]
Přímo	23,5°	58,4	15,6	8,34E-07	< 3,1E-10
Východně	$\Delta\alpha$ [°]				
1	0,215	58,3	15,5	9,20E-07	< 3,1E-10
2	0,43	58,1	15,3	1,55E-06	< 3,1E-10
3	0,645	57,4	14,7	4,50E-06	< 3,1E-10
4	0,86	56,3	13,7	2,30E-05	< 3,1E-10
5	1,075	55,2	12,5	1,60E-04	< 3,1E-10
6	1,29	53,2	10,4	1,59E-03	< 3,1E-10
7	1,505	52,1	7,4	1,10E-02	< 3,1E-10
8	1,72	50,4	2,4		
Přímo	23,5°	58,4	15,5	2,40E-07	< 3,1E-10
Zapadně	$\Delta\alpha$ [°]				
1	-0,215	58,3	15,5	3,58E-07	< 3,1E-10
2	-0,43	58,2	15,5	7,50E-07	< 3,1E-10
3	-0,645	58,0	15,3	1,55E-06	< 3,1E-10
4	-0,86	57,4	14,4	6,56E-06	< 3,1E-10
5	-1,075	56,7	13,0	3,30E-05	< 3,1E-10
6	-1,29	55,7	10,8	2,36E-04	< 3,1E-10
7	-1,505	54,4	8,2	1,99E-03	< 3,1E-10
8	-1,72	53,2	4,8		

### Tab.5: Rozcestník dalších naměřených hodnot

Vzhledem k počtu hodnot (stovky tisíc) jsou tyto uvedeny pouze v elektronické podobě na příloženém CD.

Soubor měřených hodnot 24-hodinového měření chybovosti MPEG2-TS:

...\\Naměřené hodnoty\ Měření MPEG2-TS\ RepLog.csv

Soubor měřených hodnot 24-hodinového měření DVQ pro jednotlivé programy:

...\\Naměřené hodnoty\ Měření DVQ\ merenict1\ ct1.csv  
...\\Naměřené hodnoty\ Měření DVQ\ merenict2\ ct2.csv  
...\\Naměřené hodnoty\ Měření DVQ\ merenict4\ ct4.csv  
...\\Naměřené hodnoty\ Měření DVQ\ merenict24\ ct24.csv  
...\\Naměřené hodnoty\ Měření DVQ\ mereniPRIMA\ prima.csv